Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 6 (1960)

Artikel: Güte und Sicherheitsmassstab der Stahlbetonkonstruktionen

Autor: Waitzmann, Karel / Špetla, Zdenk

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-6992

IV b 2

Güte und Sicherheitsmaßstab der Stahlbetonkonstruktionen

Quality and the Safety Criterion for Reinforced Concrete Structures

Qualité et coefficient de sûreté des constructions en béton armé

KAREL WAITZMANN
Dr. Ing. Dr. sc., Privatdozent, Praha

ZDENĚK ŠPETLA
Dipl. Ing., Praha

Die mathematisch-statistische, auf der Wahrscheinlichkeitstheorie gegründete Methode spielt in den bautechnischen Problemen der letzten Zeit eine bedeutende Rolle. Sie trägt zur Verbesserung der Qualität von Baustoffen und der Sicherheit von Baukonstruktionen bei. Nach den auf mathematisch-statistischem Wege behandelten verschiedenen Prüfungsergebnissen wird die Qualität des Betons verbessert, die Wirtschaftlichkeit der Baukonstruktionen festgestellt und zugleich wird die Möglichkeit gegeben, entweder die wirtschaftlich zulässigen Spannungen oder die Grenzspannungen der einzelnen Bauelemente und sogar der ganzen Baukonstruktionen zu bestimmen.

Bei der Analyse der Häufigkeitskurven von verschiedenen Festigkeitswerten wurde festgestellt, daß diese die Form einer asymmetrischen Verteilung haben, obwohl bisher in der Praxis überwiegend als Ersatzkurve die Gaussche Normalverteilung angewendet wurde.

In der Tschechoslowakei wurde in der letzten Zeit den asymmetrischen Häufigkeitskurven der Würfelfestigkeit große Aufmerksamkeit gewidmet und durch die ausführliche Analyse dieser Kurven wurde klargemacht, daß sie durch eine einfache asymmetrische Verteilung — die Pearsonsche Häufigkeitskurve des III. Types — ersetzt werden können[1]).

Zur laufenden Überwachung der Betonqualität der durchgeführten Stahlbetonkonstruktionen wird die zerstörungsfreie, in der Tschechoslowakei entwickelte Prüfmethode[2]) (Kugeldruckhärteprüfung mit dem adaptierten Poldi-

---

[1]) VORLÍČEK: Emploi de la statistique pour l'établissement de la résistance du béton à la compression — Acta technica 1958/Nr. 2.

[2]) WAITZMANN: The hardness test as a means for determining mechanical properties of building materials.

Hammer) angewendet und die Prüfungsergebnisse werden statistisch ausgewertet.

Durch die statistische Auswertung von Prüfungsergebnissen der Festigkeit wird die mittlere Festigkeit der Konstruktionen, Variationskoeffizient und Asymmetrie berechnet. Diese statistischen Kennwerte dienen zur Feststellung des Minimalwertes der untersuchten Festigkeit mit der angestrebten Wahrscheinlichkeit P_k — zum Beispiel $P_k = 0{,}001$; dies bedeutet, daß in den untersuchten Konstruktionen eine bestimmte Zahl — in diesem Falle 0,1% — kleinere Festigkeiten als der festgestellte Minimalwert vorkommen kann. Das zerstörungsfreie Prüfverfahren bewährt sich, denn die Genauigkeit $\pm 3\%$ ist vorhanden, und das Alter des Betons beeinflußt die Prüfungsergebnisse nicht.

Von den bisher untersuchten Baukonstruktionen wurden bei 22 Bauten die statistischen Kennwerte der Würfelfestigkeitsergebnisse berechnet. Es wurde dabei die Feststellung gemacht, daß die Kriterien, die den Variationskoeffizient zur Beurteilung der durchgeführten Stahlbetonkonstruktion anwenden, nicht genügen, denn es gibt Stahlbetonkonstruktionen, die über 20 Jahre im schweren Betriebe sind und doch nach dem bekannten Kriterium des Bureau of Reclamation zu den Bauten von schlechter Qualität gehören würden. Es gibt dagegen solche Stahlbetonkonstruktionen, die entweder abgebrochen oder verstärkt werden müßten, obwohl sie nach demselben Kriterium zu den Bauten von guter Qualität gehören würden.

In Fig. 1 sind die mittleren Würfelfestigkeiten der untersuchten Stahlbetonkonstruktionen angeführt. Der Minimalwert der Würfelfestigkeit wurde nach der Formel

$$\kappa_b^{ms} = m_{\kappa_b}(1 - t\, v_{\kappa_b}) \tag{1}$$

berechnet.

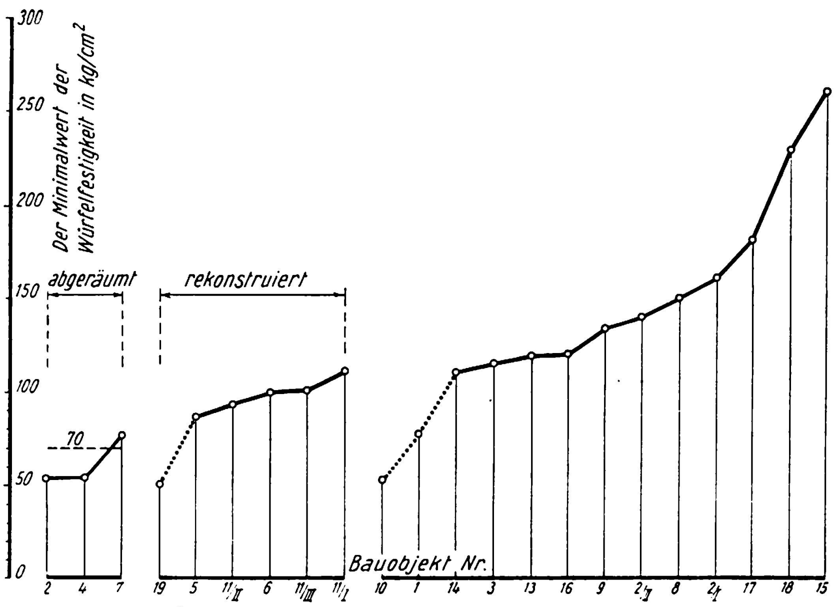

Fig. 1.

Hier bedeutet: m_{κ_b} und v_{κ_b} die statistischen Kennwerte von einzelnen Häufigkeitswerten der Würfelfestigkeitsergebnisse.

In Fig. 1 sind deutlich diejenigen Bauten bezeichnet, die abgebrochen oder rekonstruiert wurden.

Der Würfelfestigkeitsminimalwert kann also nicht als einziges Kriterium der Qualität der ausgeführten Stahlbetonkonstruktionen angesehen werden. Deshalb wurde ein anderes Kriterium für die Beurteilung der Sicherheit und Wirtschaftlichkeit der untersuchten Baukonstruktionen gesucht. Im folgenden wird gezeigt, daß die Beurteilung des Sicherheitsbeiwertes der einzelnen Bauelemente ein passendes Kriterium ist. Dabei wurden auch andere mit der Bemessung von Bauelementen zusammenhängende Erkenntnisse gemacht.

Die Beurteilung der Stahlbetonkonstruktionen nach der Bruchlasten-Berechnungsmethode liegt im Nachweis eines vorgeschriebenen Sicherheitsbeiwertes s gegen das Erreichen der Tragfähigkeit des kritischen Querschnittes. Im Grunde genommen handelt es sich dabei darum, daß bei der Bemessung von Konstruktionselementen darauf geachtet wird, daß der Minimalwert der Tragfähigkeit des kritischen Querschnittes gleich oder größer als die Resultierende der ungünstigsten Belastungskombination wird. Diese Forderung wird mathematisch durch die folgende allgemeingültige Formel ausgedrückt:

$$\max S \leqq \min U. \tag{2}$$

Hierbei sind:

$\max S$: Resultierende der ungünstigsten Belastungskombination.
$\min U$: Minimalwert der Tragfähigkeit des kritischen Querschnittes.

Es ist notwendig die Fälle zuzulassen, wo die Bedingung (2) nicht erfüllt wird. Die Anzahl von solchen Fällen muß aber so gering sein, daß sie praktisch unbedeutend und deshalb übersehen werden können.

Die beiden Werte, $\max S$ und $\min U$, können mit genügender Genauigkeit erst dann bestimmt werden, wenn bekannt ist, wie und im welchen Umfange sich die Faktoren ändern, die sie beeinflussen. Max S kann aus den Maximalwerten der Belastung, die sich bei der untersuchten Belastungsart ergeben, festgestellt werden. Der Maximalwert der einzelnen Belastungsart wird als Summe der Normlast und des sogenannten «Überlastbeiwertes» n_1 berechnet.

Min U des kritischen Querschnittes wird aus den Minimalwerten der zugehörigen Beton- und Stahlfestigkeiten berechnet, die bei diesen Baustoffen vorkommen können. Der Minimalwert der untersuchten Festigkeit wird als Summe des Normfestigkeitswertes und des sogenannten «Homogenitätsbeiwertes» $j_{min}^{\kappa_b \ldots d}$ (für Beton), beziehungsweise $j_{min}^{\sigma_a}$ (für Stahl) berechnet.

Zur Beurteilung, ob die Bedingung (2) bei den einzelnen Elementen der durchgeführten Stahlbetonkonstruktion erfüllt wurde, werden also nicht nur die durch den Homogenitätsbeiwert $j_{min}^{\kappa_b}$ festgestellten Betonqualitätsschwankungen genügend sein. Beim Vernachlässigen der Nebeneinflüsse, wie etwa die Ungenauigkeit der Bemessungsvoraussetzungen bei der Tragfähigkeitsberechnung des untersuchten kritischen Querschnittes, ist es notwendig, noch die beiden anderen Beiwerte — den Überlastbeiwert n und den Homogenitätsbeiwert des angewandten Betonstahles $j_{min}^{\sigma_a}$ zu bestimmen.

Zur Bestimmung der Beiwerte n_1, $j_{min}^{\kappa_{b...d}}$ und $j_{min}^{\sigma_a}$ wird dieselbe mathematisch-statistische Methode angewendet, wobei es sich, wie schon gesagt wurde, um das Ersetzen der empirischen Häufigkeitskurve der untersuchten Größen durch die theoretische Häufigkeitskurve handelt.

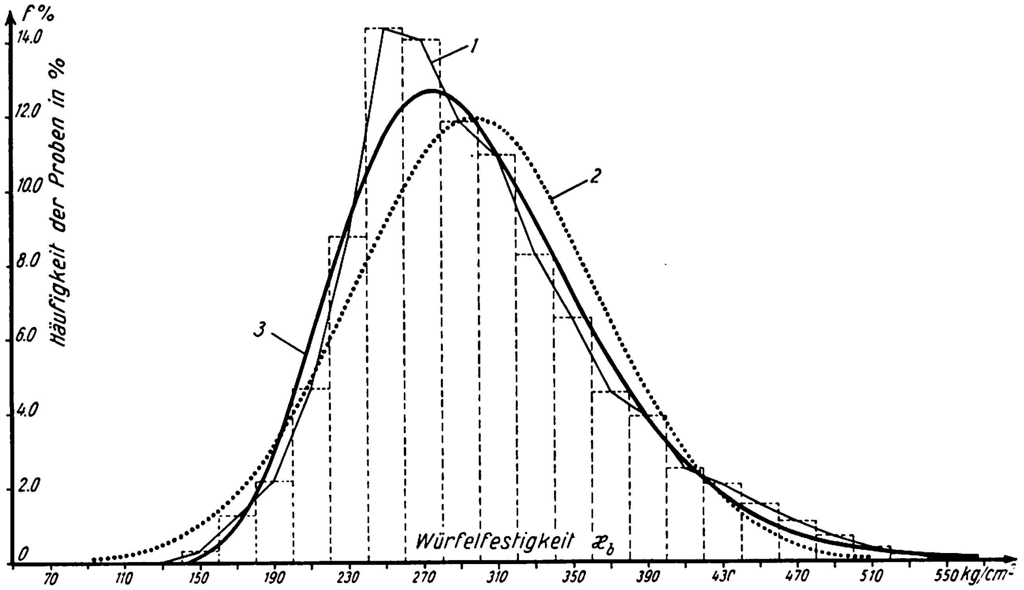

Fig. 2. Empirische und theoretische Häufigkeitskurven der Würfelfestigkeit κ_b der Betonwürfel 20 × 20 × 20 cm Betonmarke «250».

Fig. 2 zeigt eine charakteristische empirische Häufigkeitskurve (Anzahl der Proben 640 — Beton P.C. «250»). Aus ihrer Form geht der asymmetrische Charakter hervor. Die theoretische Häufigkeitskurve, die der Gausschen Normalverteilung entspricht und die die empirische Kurve ersetzen sollte, folgt nicht ihrem Verlauf, besonders im Bereich der kleinen Festigkeitsergebnisse, die für die Beurteilung der Sicherheit der untersuchten Bauelemente maßgebend sind. Dagegen ersetzt die Pearsonsche Häufigkeitskurve des III. Types die empirische Kurve mit genügender Genauigkeit. Die Gleichung der theoretischen Ersatzkurve nimmt in der einfachsten Form folgende Gestalt an:

$$f_{(t)} = \frac{z^{z^2} - e^{-z^2}}{\Gamma_{(z^2)}} (z+t)^{z^2-1} e^{-zt}, \tag{3}$$

wobei $z = a/2$ ist und a die Asymmetrie der Verteilung der untersuchten Häufigkeitskurve bedeutet. Ihre Gleichung wird:

$$a = \frac{1}{n s^3} \sum_{i=1}^{n} (x_i - m)^3, \tag{4}$$

wobei

x_i die einzelnen Prüfungsergebnisse der untersuchten Größe,
s die mittlere quadratische Abweichung und
n die Anzahl der Proben

bedeutet.

Bei der mathematisch-statistischen Auswertung der Häufigkeitskurven von Beton- und Stahlfestigkeitswerten sind zur Bestimmung der theoretischen Verteilung folgende statistische Kennwerte festzustellen:

m der mittlere Festigkeitswert
v der Variationskoeffizient und
a die Asymmetrie.

Die Beton- und Stahl-Homogenitätsbeiwerte können aus den folgenden Ausdrücken berechnet werden:

a) für Beton:

$$j_{min}^{\kappa_{b \ldots d}} = \frac{m_{\kappa_{b \ldots d}}}{\kappa_{b \ldots d}} (1 - t\, v_{\kappa_{b \ldots d}}) = \frac{m_{\kappa_{b \ldots d}}}{\kappa_{b \ldots d}} g. \tag{5}$$

b) für Stahl:

$$j_{min}^{\sigma_a} = \frac{m_{\sigma_a}}{\sigma_a} (1 - t\, v_{\sigma_a}) = \frac{m_{\sigma_a}}{\sigma_a} g, \tag{6}$$

wobei t ein veränderlicher Wert ist, der von der angegebenen Wahrscheinlichkeit P_k und der Asymmetrie a abhängt und aus der Pearsonschen Häufigkeitskurve des dritten Types berechnet wird. Die Berechnung des Beiwertes g kann durch das Zusammenstellen der graphischen Tabellen beschleunigt werden.

Das Ersetzen der empirischen Häufigkeitskurven der Festigkeitsgrößen durch die Pearsonschen des III. Types entspricht sehr gut der Wirklichkeit, denn:

a) sie erfaßt die Verteilung mit der verschiedenen Asymmetrie;
b) bei der Asymmetrie, die der Null gleicht, geht sie in Normalverteilung über;
c) die Asymmetrie wird unabhängig aus den Prüfungsergebnissen festgestellt; sie bestimmt mit der mittleren Festigkeit und dem Variationskoeffizient eindeutig den Verteilungsverlauf.

Man kann beweisen, daß

a) je größer die vorgeschriebene Wahrscheinlichkeit P_k und je größer der Variationskoeffizient der untersuchten Häufigkeitskurve ist, desto größer auch der Einfluß der Asymmetrie a auf den resultierenden Beiwert g und damit auch auf den Minimalwert der untersuchten Festigkeit wird;
b) beim Variationskoeffizient $v < 5\%$ der Einfluß der Asymmetrie bei der Berechnung des Beiwertes g vernachlässigt werden kann (siehe Fig. 3).

Zur Auswertung der empirischen Häufigkeitskurven von den Belastungsarten wurden bisher noch keine grundsätzlichen Untersuchungen durchgeführt. Es kann aber angenommen werden, daß man auch in diesem Falle die empirischen Häufigkeitskurven durch die asymmetrische Verteilung — Pearsonsche Häufigkeitskurven des III. Types — ersetzen kann.

Im Hochbau kommen am häufigsten die auf zentrischen Druck, auf exzentrischen Druck mit kleinen Exzentrizitäten und auf einfache Biegung beanspruchten Elemente vor.

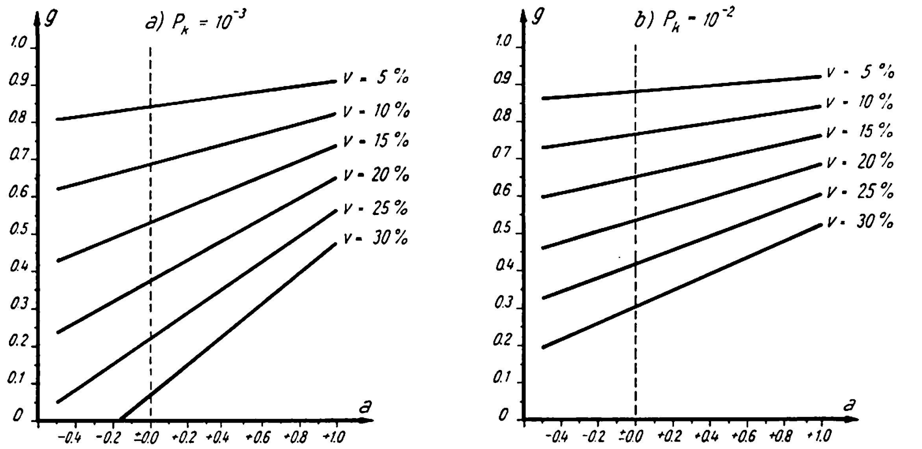

Fig. 3. Zusammenhang zwischen dem Beiwert g, der Asymmetrie a und dem Variationskoeffizienten v bei der Wahrscheinlichkeit. a) $P \cdot 10^{-3}$ b) $P \cdot 10^{-2}$

Der Berechnungsgang, die Bedingung (2) bei diesen Bauelementen der untersuchten Stahlbetonkonstruktion nachweisen zu können, wird im folgenden gezeigt.

Bei den auf zentrischen Druck beanspruchten Elementen kann man nachträglich folgende Berechnungsbeiwerte bestimmen:

a) den Überlastbeiwert (für die linke Seite der Formel (2)) und
b) den Homogenitätsbeiwert der angewandten Betonmarke (für die rechte Seite der Formel (2)).

Den Homogenitätsbeiwert des angewandten Stahles, dessen Querschnitt bei der Beurteilung der Minimaltragfähigkeit der auf zentrischen Druck beanspruchten Bauelemente nicht vernachlässigt werden darf, kann man nicht nachträglich bestimmen. Es genügt aber, für diesen Wert in die Tragfähigkeitsberechnung diejenigen Homogenitätsbeiwerte einzusetzen, die für die angewendeten Stahlsorten festgestellt wurden.

Zum nachträglichen Nachweis des tatsächlich erreichten Sicherheitsbeiwertes der untersuchten Bauelemente werden folgende durchschnittliche Homogenitätsbeiwerte der in der Tschechoslowakei erzeugten Betonstahlsorten $j_{min}^{\sigma_a}$ benützt:

für Betonrundstahl $j_{min}^{\sigma_a} = 0{,}90$,

für Roxorstahl $j_{min}^{\sigma_a} = 0{,}90$.

Die Tragfähigkeit des auf zentrischen Druck beanspruchten Elementes mit Längsbewehrung nach der Bruchlastentheorie wird bei einem Bewehrungsprozentsatz μ von nicht mehr als 3% nach der Formel

$$N_1 = {}^1P_m \vartheta = F_b \kappa_c (1+\alpha) \tag{7}$$

berechnet, wobei

$$\alpha = \frac{\sigma_a}{\kappa_c} \mu \tag{8}$$

bedeutet.

Der Minimalwert der Tragfähigkeit desselben Elementes wird nach der Formel

$$N_{min} = {}^2P \vartheta = \frac{m}{{}^1n_1} (F_b \kappa_c^{ms} + F_a \sigma_a^{ms}) \tag{9}$$

bestimmt.

In der Formel (9) bedeutet:

m den Betriebsbedingungsbeiwert des untersuchten Elementes und — wie schon erwähnt wurde — es wird in diesem Falle gleich 1 sein;

n_1 den durchschnittlichen Überlastbeiwert aus der Belastung von Eigen- und Nutzlast.

Dann nimmt die Berechnungsformel (9) die einfachere Form:

$$N_{min} = \frac{1}{{}^1n_1} F_b \kappa_c^{ms} \left(1 + \frac{F_a \sigma_a^{ms}}{F_b \kappa_c^{ms}}\right) = \frac{1}{{}^1n_1} F_b j_{min}^{\kappa_c} \kappa_c \left(1 + \frac{j_{min}^{\sigma_a}}{j_{min}^{\kappa_c}} \alpha\right) \tag{10}$$

an.

Aus dem Verhältnis von beiden Ergebnissen N_1/N_{min} der Festigkeitsberechnung nach den Bruchlasten und den Grenzbeanspruchungen geht der Sicherheitsbeiwert hervor, für welchen die untersuchten Elemente berechnet werden sollten, um die Bedingung (2) zu erfüllen:

$$\frac{N_1}{N_{min}} = s = \frac{{}^1n_1 (1+\alpha)}{j_{min}^{\kappa_b} \left(1 + \frac{j_{min}^{\sigma_a}}{j_{min}^{\kappa_b}} \alpha\right)}, \tag{11}$$

wobei der Homogenitätsbeiwert der Prismenfestigkeit $j_{min}^{\kappa_c}$ durch den Homogenitätsbeiwert der Würfelfestigkeit $j_{min}^{\kappa_b}$ ersetzt wird, was mit genügender Genauigkeit durchgeführt werden kann.

Den Beiwert α kann man für die einzelnen Betonmarken und Stahlsorten tabellarisch in Abhängigkeit vom Bewehrungsprozentsatz $\mu = F_a/F_b$ und dem Verhältnis σ_a/κ_c zusammenstellen.

Die Gl. (11) gibt zugleich an, für welchen Sicherheitsbeiwert die auf zentrischen Druck beanspruchten Elemente berechnet werden könnten, wenn der

Beton mit dem unveränderlichen Homogenitätsbeiwert $j_{min}^{\kappa b}$ erzeugt würde. Damit hängt die Möglichkeit der verantwortlichen Wahl eines neuen Sicherheitsbeiwertes für auf zentrischen Druck beanspruchte Elemente zusammen.

Den tatsächlich erreichten Minimalwert des Sicherheitsbeiwertes der auf zentrischen Druck beanspruchten, untersuchten Stahlbetonelemente kann man aus folgender Gleichung (12) berechnen:

$$s_{tats}^{ms} = \frac{s^{teor}}{\dfrac{N_1}{N_{min}}} = \frac{s^{teor} j_{min}^{\kappa b}\left(1 + \dfrac{j_{min}^{\sigma a}}{j_{min}^{\kappa b}}\alpha\right)}{{}^1n_1(1+\alpha)}. \tag{12}$$

Die Gleichungen (11) und (12) können auch tabellarisch und graphisch für die einzelnen Betonmarken und Stahlsorten, verschiedene Überlastbeiwerte n_1 und Homogenitätsbeiwerte $j_{min}^{\kappa b}$ ausgedrückt werden. In der graphischen Darstellung (siehe Fig. 4) wird zur besseren Anschaulichkeit ein Beispiel dafür angegeben; es handelt sich um den Roxorstahl, Beton P. C. «250» und Überlastbeiwert ${}^1n_1 = 1{,}3$. Die vollausgezogenen Kurven entsprechen der graphischen Darstellung der Gleichung (11) und die gestrichelten der Gleichung (12).

Die Tragfähigkeit der auf einfache Biegung beanspruchten normalbewehrten Elemente wird durch die Erreichung der Fließgrenze der verwendeten Bewehrung und erst nachträglich durch die Erreichung der Festigkeitsgrenze der gedrückten Betonzone erschöpft. Die Betonqualität in der Druckzone soll

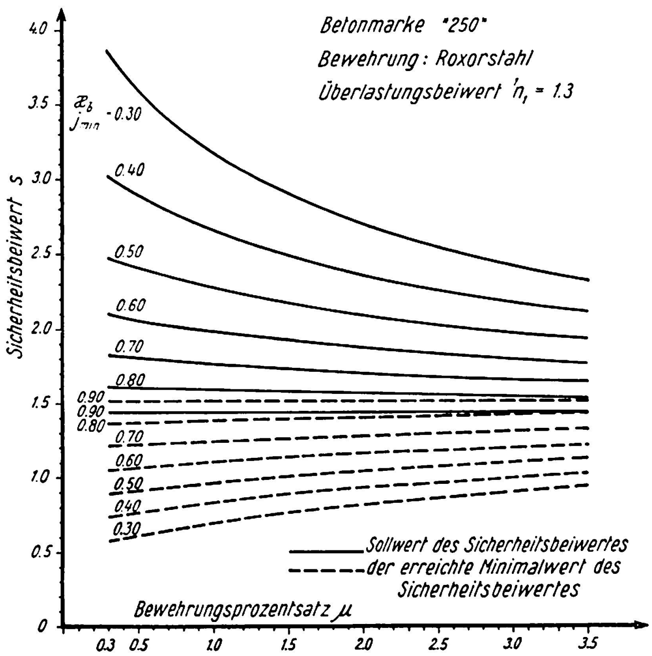

Fig. 4. Zusammenhang zwischen dem Sicherheitsbeiwert s von den auf mittigen Druck beanspruchten Elementen, dem Bewehrungsprozentsatz μ und dem Homogenitätsbeiwert $j_{min}^{\kappa b}$.

bei der Berechnung der Tragfähigkeit von solchen Elementen nach der Bruchlastentheorie nur eine unbedeutende Rolle spielen.

Vorausgesetzt, daß die Möglichkeit der Tragfähigkeitserreichung der auf einfache Biegung beanspruchten Bauelemente durch das Versagen des Betons infolge der Querkräfte ausgeschlossen werden kann, so könnte die Betonqualität in verhältnismäßig großem Umfange schwanken. Bei dem nachträglichen Nachweis des Sicherheitsbeiwertes von auf einfache Biegung beanspruchten Stahlbetonelementen (zum Beispiel Betonfertigteilen) ist es notwendig festzustellen, ob die Elemente normal bewehrt sind und bei wieviel Elementen mit Rücksicht auf die Betonqualitätsschwankung und den Bewehrungsprozentsatz die Gefahr besteht, daß die Tragfähigkeit durch das Versagen der Betondruckzone erreicht werden kann.

Die gültigen Vorschriften geben an, in welchen Grenzen die Querschnittsfläche der Zugbewehrung von den auf Biegung und exzentrischen Druck mit großen Exzentrizitäten beanspruchten Platten und Balken gehalten werden muß. Die größte zulässige Querschnittsfläche der Zugbewehrung, in Prozenten der gesamten Querschnittsfläche ausgedrückt, wird je nach Betonqualität von 2—4% angegeben. Diese Werte entsprechen der folgenden Bedingung für das Feststellen des größten Bewehrungsprozentsatzes:

$$\max \mu\% \leqq 50 \frac{\kappa_b}{\sigma_a}. \tag{13}$$

In dieser Bedingung kommt nicht die Betonqualitätsschwankung zum Ausdruck. Aus diesem Grunde können von den untersuchten Bauelementen einige vorkommen, deren Tragfähigkeit durch das Versagen des Betons in der Druckzone bestimmt wird. Als Kriterium für die auf einfache Biegung beanspruchten Bauelemente soll darum die Formel (13) in der bearbeiteten Form angegeben werden:

$$\max \mu\% \leqq 50 \frac{\kappa_d^{ms}}{\sigma_a^{ms}}, \tag{13a}$$

wobei κ_d^{ms} und σ_a^{ms} die Festigkeitsminimalwerte der angewandten Baustoffe sind.

Da mit genügender Genauigkeit gilt:

$$j_{min}^{\kappa_d} = j_{min}^{\kappa_b},$$

nimmt die Berechnungsformel (13a) die neue Gestalt

$$\max \mu\% \leqq 50 \frac{j_{min}^{\kappa_b}}{j_{min}^{\sigma_a}} \cdot \frac{\kappa_d}{\sigma_a} \tag{14}$$

an.

In der Tabelle 1 sind übersichtlich die Maximalwerte des Bewehrungsprozentzusatzes für die in der Tschechoslowakei am häufigsten angewendeten Betonmarken «135», «170», «250» und «330» und Stahlsorten (Rundstahl

Tabelle 1. Zusammenhang zwischen dem Maximalwert des Bewehrungsprozentsatzes μ, dem Homogenitätswert $j^{\kappa_b}_{min}$ und der Betonmarke

Rundstahl: $\sigma_a = 2300$ kg/cm²; $j^{\sigma_a}_{min} = 0{,}90$

Betonart	max μ in %						
	$j^{\kappa_b}_{min}$						
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
135	0,87	1,20	1,45	1,74	2,03	2,32	2,60
170	1,05	1,40	1,75	2,10	2,45	2,80	3,15
250	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	
330	1,85	2,46	3,08	3,70	4,31		

Roxorstahl: $\sigma_a = 3800$ kg/cm²; $j^{\sigma_a}_{min} = 0{,}90$

Betonart	max μ in %						
	$j^{\kappa_b}_{min}$						
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
135	0,53	0,70	0,88	1,05	1,23	1,40	1,58
170	0,64	0,85	1,06	1,27	1,48	1,69	1,91
250	0,91	1,21	1,51	1,82	2,12	2,46	2,72
330	1,12	1,49	1,86	2,24	2,61	2,98	3,36

und Roxorstahl) in Abhängigkeit von den Homogenitätsbeiwerten $j^{\kappa_b}_{min}$ und $j^{\sigma_a}_{min} = 0{,}90$ angegeben.

Im Falle, daß der Bewehrungsprozentsatz von untersuchten Stahlbetonelementen mit dem festgestellten Homogenitätsbeiwert $j^{\kappa_b}_{min}$ größer wird als derjenige dem Homogenitätsbeiwert $j^{\kappa_b}_{min}$ zugeordnete Bewehrungsbeiwert nach der Tabelle 1, wird es vorkommen, daß die Tragfähigkeit einer bestimmten Zahl von Elementen durch das Versagen des Betons in der Druckzone erreicht wird, ohne daß dabei die vorgeschriebene Sicherheit erreicht wird.

Zum Feststellen dieser wahrscheinlichen Elementenzahl geht man folgenderweise vor:

Aus der in der Form (15) bearbeiteten Formel

$$_1j^{\kappa_b}_{min} \geqq \frac{\mu\, j^{\sigma_a}_{min}\, \sigma_a}{50\, \kappa_d} \tag{15}$$

wird der notwendige Betonhomogenitätsbeiwert $j^{\kappa_b}_{min}$ berechnet, um die durch die Formel (13a) ausgedrückte Bedingung zu erfüllen.

Aus der Gleichung

$$ {}_1\kappa_b^{ms} = {}_1 j_{min}^{\kappa_b}\,\kappa_b \tag{16}$$

berechnet man die entsprechende Minimaldruckfestigkeit des untersuchten Betons.

Aus der Formel

$$ {}_1\kappa_b^{ms} = m_{\kappa_b}(1 - t_1 v_{\kappa_b}), \tag{17}$$

wobei m_{κ_b} und v_{κ_b} die statistischen Kennwerte der Häufigkeitskurve von Druckfestigkeitsergebnissen der untersuchten Bauelemente sind, wird die neue statistische Charakteristik t_1 berechnet. Die dazugehörige bearbeitete Formel nimmt folgende Gestalt an:

$$ t_1 = \frac{m_{\kappa_b} - {}_1\kappa_b^{ms}}{m_{\kappa_b} v_{\kappa_b}}. \tag{17a}$$

Aus dieser Sicherheitscharakteristik t_1 wird für die aus der untersuchten Häufigkeitskurve festgestellte Asymmetrie a_{κ_b} die neue Wahrscheinlichkeit P_k^1 bestimmt (siehe Fig. 5). Sie legt fest, bei wie vielen aus den untersuchten und auf einfache Biegung beanspruchten, normal bewehrten Elementen wahrscheinlich die Tragfähigkeit durch das Versagen des Betons in der Druckzone erreicht wird.

Unter der Voraussetzung, daß bei den oben behandelten Bauelementen die

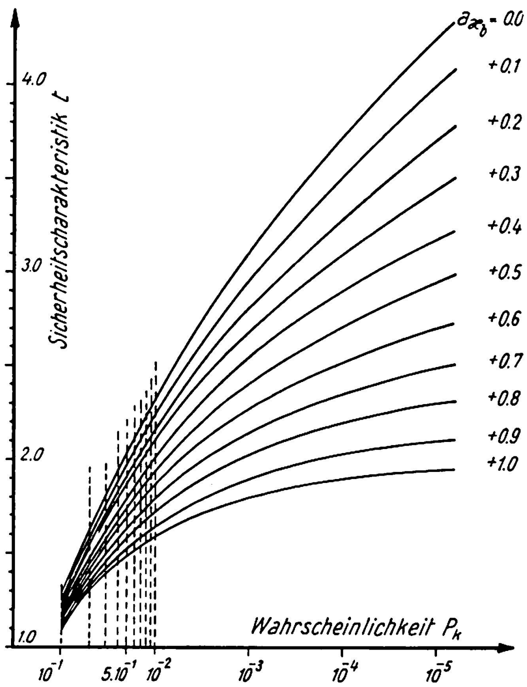

Fig. 5. Zusammenhang zwischen der Sicherheitscharakeristik t, der Wahrscheinlichkeit P_k und der Asymmetrie a_{κ_b} der empirischen Häufigkeitskurve von Würfelfestigkeit der untersuchten Betonmarke.

Bedingung (13a) erfüllt ist, wird der Minimalwert ihres Sicherheitsbeiwertes folgendermaßen nachgewiesen:

Die Tragfähigkeitsberechnung nach der Bruchlastentheorie von auf einfache Biegung beanspruchten, normalbewehrten Stahlbetonelementen des rechteckigen Querschnittes wird aus der bearbeiteten Gleichung

$$M_{Bruch} = F_a \sigma_a h (1 - 0{,}5\, \alpha_1) \tag{18}$$

durchgeführt, wobei

$$\alpha_1 = \frac{\sigma_a}{\kappa_d} \mu \tag{18a}$$

ist.

Der Minimalwert der Tragfähigkeit von demselben, auf Biegung beanspruchten Elemente wird nach der Formel

$$M^{min}_{Bruch} = \frac{m}{{}^1n_1} \left[m_a F_a \sigma^{ms}_a h \left(1 - 0{,}5 \frac{\sigma^{ms}_a}{\kappa^{ms}_d} \mu \right) \right] \tag{19}$$

berechnet.

Die beiden Betriebsbedingungsbeiwerte — des Querschnittes m und des Stahles m_a — werden wieder 1 gleichgesetzt. Dann nimmt die Formel (19) die folgende Form an:

$$M^{min}_{Bruch} = \frac{1}{{}^1n_1} \left[F_a j^{\sigma_a}_{min} \sigma_a h \left(1 - 0{,}5 \frac{j^{\sigma_a}_{min}}{j^{\kappa_b}_{min}} \cdot \frac{\sigma_a}{\kappa_d} \mu \right) \right]. \tag{19a}$$

Aus dem Verhältnis von beiden Ergebnissen $M_{Bruch}/M^{min}_{Bruch}$ der Tragfähigkeitsberechnung nach den Bruchlasten und den Grenzbeanspruchungen geht der Sicherheitsbeiwert hervor, für welchen die untersuchten, auf Biegung beanspruchten Bauelemente berechnet werden sollten, um die Bedingung (2) zu erfüllen! Die resultierende Wahrscheinlichkeit P_k hängt von der im voraus festgesetzten Wahrscheinlichkeit der einzelnen Beiwerte ab.

Den tatsächlich erreichten Minimalwert des Sicherheitsbeiwertes von auf einfache Biegung beanspruchten Stahlbetonelementen wird aus folgender Gleichung berechnet

$$s^{ms}_{tats} = \frac{s^{teor} j^{\sigma_a}_{min} \left(1 - 0{,}5 \frac{j^{\sigma_a}_{min}}{j^{\kappa_b}_{min}} \alpha_1 \right)}{{}^1n_1 (1 - 0{,}5\, \alpha_1)}. \tag{20}$$

Zusammenfassung

Die bekannten Kriterien zur Beurteilung der Qualität ausgeführter Stahlbetonkonstruktionen, und zwar das Kriterium des Variationskoeffizienten des Bureau of Reclamation und das Kriterium der kleinsten wahrscheinlichen Würfeldruckfestigkeit entsprechen nicht der Wirklichkeit, wie durch zerstörungsfreie Prüfungen bei 22 Bauten nachgewiesen wurde, denn das Problem der Qualität und Sicherheit der Baukonstruktionen ist grundsätzlich komplizierter. Die Anwendung der Pearsonschen Häufigkeitskurve des III. Types zeigt sich für die Analyse der empirischen Häufigkeitskurven der Betonfestigkeitswerte als geeignet.

Aus der vorgelegten Abhandlung geht deutlich hervor, daß die Qualität und Sicherheit der Stahlbetonelemente mit Rücksicht auf die Überlastungsmöglichkeit und das Vorkommen der Betonminimalfestigkeitswerte beurteilt werden muß.

Außerdem folgen daraus wertvolle Erkenntnisse: Daß der bestimmten Veränderlichkeit der Betonfestigkeitswerte auch ein veränderlicher Bewehrungsprozentsatz von auf einfache Biegung beanspruchten Stahlbetonelementen entspricht, und erst durch ihre gründliche Analyse ist es möglich, eine gleichmäßige Sicherheit zu erzielen.

Summary

The well-known criteria for judging the quality of reinforced concrete structures — viz., the variation coefficient as envisaged by the Bureau of Reclamation, and the criterion of the lowest probable cube strength — are not in accordance with reality, as has been demonstrated by means of non-destructive tests on 22 structures, because the problem of quality and structural safety is fundamentally a more complex one. The application of the Pearson frequency curve of the third type shows itself to be suitable for the analysis of the empirical frequency curves of the concrete strength values.

It is clearly demonstrated in the present paper that the quality and the safety of reinforced concrete members must be assessed with reference to the possibility of overloading and the occurrence of the minimum concrete strength values.

In addition, some valuable inferences can be drawn from it: to the variability of the concrete strength values that have been ascertained there also corresponds a variable percentage of reinforcement in reinforced concrete members subjected to simple bending, and only by a thorough analysis thereof is it possible to achieve uniform structural safety.

Résumé

Les critères connus pour juger de la qualité des constructions en béton armé: le critère des coefficients variables du Bureau of Reclamation et le critère de la plus petite résistance probable à la compression de cubes ne correspondent pas à la réalité, comme il l'a été démontré par des essais non destructifs sur 22 constructions, car le problème de la qualité et de la sûreté des constructions est d'un principe plus compliqué. L'utilisation de la courbe de répartition du troisième type de Pearson se montre adéquate pour l'analyse des courbes empiriques de répartition des valeurs de la résistance du béton.

Il ressort clairement de ce mémoire que la qualité et la sûreté de l'élément en béton armé doivent être jugées en vue de la possibilité de la surcharge et de l'existence des valeurs de résistance minimum du béton.

De plus, il ressort de précieuses notions: A la variation déterminée des valeurs de résistance du béton correspond aussi un pourcentage variable d'armature de l'élément en béton armé soumis à la flexion, et seule leur analyse permet d'atteindre une sûreté uniforme.