

**Zeitschrift:** Cementbulletin  
**Herausgeber:** Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)  
**Band:** 28-29 (1960-1961)  
**Heft:** 15

**Artikel:** Über die Beeinflussung der Betonfestigkeit  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-153393>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 30.03.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# CEMENTBULLETIN

MÄRZ 1961

JAHRGANG 29

NUMMER 15

---

## Über die Beeinflussung der Betonfestigkeit

**Die Festigkeitsstreuung von Beton, verschiedene Streuungsanteile. Auswirkungen von Zumessungsfehlern. Bedeutung des Streuungsmasses für die Betonkonstruktion und für die Sicherheit der Bauwerke.**

Im Cementbulletin Nr. 22/1957 wurden die Unregelmässigkeiten in den Betondruckfestigkeiten und deren Folgen besprochen. Es wurde gezeigt, wie der Variationskoeffizient einer Gruppe von Resultaten als Mass für die Streuung berechnet werden kann und welchen entscheidenden Einfluss diese Grösse auf die Betonkonstruktion im allgemeinen ausübt.

In der französischen Publikation (Lit. Ang. [1]), die uns schon für das vorangehende Cementbulletin als Unterlage diente, finden sich zahlreiche Prüfergebnisse von Beton, welche sich nach statistischen Methoden auswerten lassen und die einen Aufschluss über die Ursachen der Festigkeitsstreuungen des Betons ergeben.

Besonders interessant ist eine Reihe von 300 Festigkeitsprüfungen, die unter denselben Grundbedingungen vorgenommen worden sind und somit ein sehr zuverlässiges Mass für die grundsätzliche Streuung des Betons ergeben.

## 2 Grundbedingungen:

**Betonzusammensetzung:** 1810 kg Kiessand, 376 kg Portlandcement, 184 kg Wasser pro  $\text{cm}^3$ .

**Probekörper:** Zylinder,  $h = 30 \text{ cm}$ ,  $\phi = 15 \text{ cm}$ .

**Verdichtung:** Je 12 Probekörper miteinander auf Vibriertisch.

Auswirkungen von Differenzen in der Intensität der Vibrierung konnten statistisch nicht nachgewiesen werden.

**Lagerung:** Luft mit 95 % rel. F. bei  $15^\circ \text{ C}$ .

**Termin:** 28 Tage.

**Mischchargen:** 16 Einzelmischungen zu 100 bis 200 l, die je 11 bis 24 Probekörper ergaben.

### Zusammenstellung der Resultate

N = Anzahl der zu Grunde liegenden Einzelbestimmungen

$\bar{X}$  = Mittlere Druckfestigkeit

V = Variationskoeffizient (= Streuungsmass [s. CB 22/1957])

L = Bereich um den Mittelwert, innerhalb welchen, bei den gegebenen Streuungsverhältnissen, 99 % aller Einzelbestimmungen fallen.

	N	$\bar{X}$ kg/cm <sup>2</sup>	V %	L %	
Aus den 300 Resultaten direkt bestimmt:	300	431	8.8	$\pm 22$	
Aus je 11 bis 24 Resultaten	Min.:	11	362	2.6	$\pm 7$
pro Einzelmischung	Max.:	24	475	7.3	$\pm 19$
	Durchschnitt:	(300)	424	4.9	$\pm 12$

Aus diesen Ergebnissen lassen sich die folgenden Schlussfolgerungen ziehen:

a) Die **Gesamtstreuung** der 300 Einzelbestimmungen beträgt  $V = 8,8 \%$ . Darin sind alle Streuungsursachen von der Zumesung der Betonbestandteile bis zur Feststellung der Bruchbelastung des Probekörpers enthalten. Die Gesamtstreuung ist deshalb etwas grösser als der Streuungsanteil, der für den Konstruktionsbeton effektiv massgebend ist.

### b) Streuungsanteil aus der Behandlung und Prüfung der Probekörper

Der Variationskoeffizient der Druckfestigkeit von Probekörpern, die aus derselben Mischcharge stammen, beträgt hier im Durchschnitt  $4,9 \%$  und enthält zwei verschiedenartige Anteile:

- die Streuung aus der Ungleichmässigkeit der Durchmischung
- die Streuung aus der Behandlung und Prüfung der Probekörper.

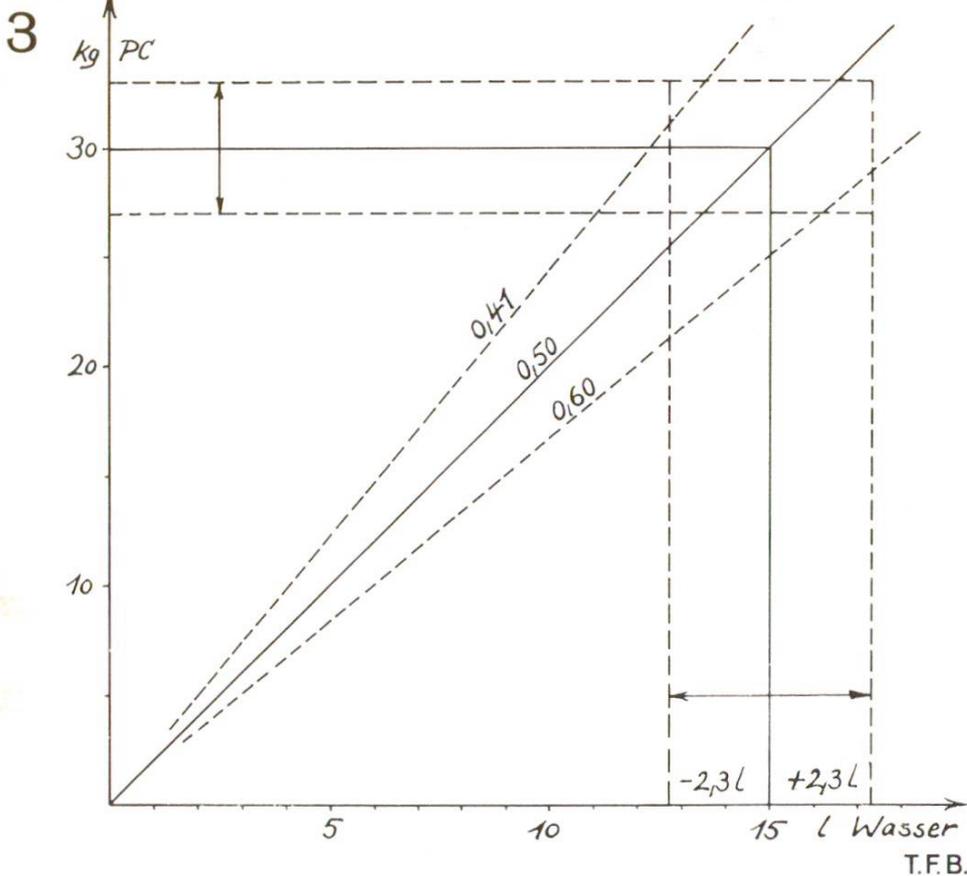


Abb. 1 Streuungsbereiche der Cement- und Wasserzugabe und des daraus folgenden Wasser-Cement-Verhältnisses bei 100 Mischungen zu 100 Liter. Zumessung durch Abwägung beziehungsweise Wasseruhr ohne besondere Kontrollen. Variationskoeffizient der 28-Tage-Druckfestigkeit zirka 15 %

Reduziert man das Streuungsmass von  $V = 4,9\%$  um den erstgenannten Anteil (geschätzt  $2\%$  der mittleren Druckfestigkeit), so erhält man mit  $V = 4,4\%$  ein Mass für die Streuungen, die auf die Verfahren der Messung der Druckfestigkeit zurückzuführen sind.

### c) Streuungsanteile aus der Herstellung der Betonmischung

Durch spezielle Rechnung kann die Gesamtstreuung ( $8,8\%$ ) um den Streuungsanteil aus den Prüfverfahren ( $4,4\%$ ) reduziert werden. Damit erhält man den Streuungsanteil aus der Herstellung der Betonmischung. Die Rechnung ergibt hierfür  $V = 7,7\%$ , d.h. dass  $99\%$  der Versuchsergebnisse nicht mehr als  $\pm 20\%$  vom Mittelwert abweichen.

Durch Analyse der Betonmischungen nach dem Mischvorgang wurden die Schwankungen in der Zumessung der Betonbestandteile näher ermittelt (23 Einzelmischungen, 54 Analysen). Die festgestellten Streuungen sind derart, dass bei 100 Mischungen der Cement- und Wassergehalt um  $\pm 12\%$  von ihrem mittleren Gehalt abweichen, der Anteil der Zuschläge um  $\pm 3,5\%$ .

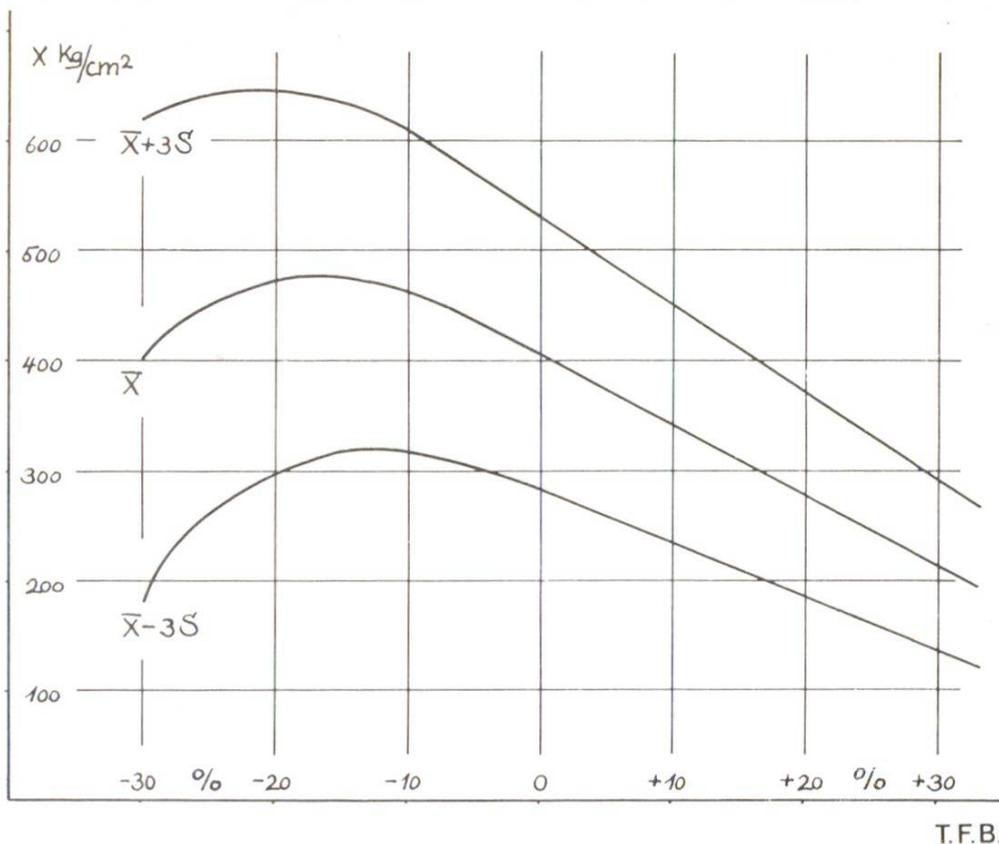


Abb. 2 Änderungen der mittleren Betondruckfestigkeit als Folge von Fehlern in der Wasserzugabe ( $\pm$  % Wasser). Streuungsband durch die dreifache mittlere quadratische Abweichung ( $\pm 3S$ ) angegeben. In diesem Bereich liegen 99,7 % aller Ergebnisse (nach Vironnaud [1])

Daraus erkennt man, dass es insbesondere die Schwankungen in der Zumessung des Cementes und des Wassers sind, welche die Unregelmässigkeiten der Betonqualität verursachen.

Die Kenntnisse der grundsätzlichen Streuungen, die aus dem Herstellungsverfahren des Betons entstehen, dienen als Basis für die folgenden Betrachtungen über die Frage, wie sich Zumessungsfehler auswirken.

Die Beeinflussung der Druckfestigkeit des Versuchsbetons durch Änderungen im Wasser-Cementverhältnis gehen aus Abb. 2 hervor. Einer Abnahme des Wasser-Cementverhältnisses um 0,05 folgt eine Zunahme der Druckfestigkeit von ungefähr 65  $\text{kg/cm}^2$ . Dieser Effekt ist allgemein bekannt. Man erkennt aber im weiteren, dass die Streuung der Druckfestigkeit mit abnehmendem Wasser-Cement-Verhältnis ansteigt. Unterhalb  $W/C = 4,2$  nimmt die Streuung dermassen zu, dass die Gefahr von abfallenden Resultaten besteht. Dies ist auf die schlechte Verarbeitbarkeit und deshalb auf den relativ grossen Hohlraumgehalt trocken eingebrachter Betonmischungen zurückzuführen (Lit.-Ang. [4]).

Abb. 3 gibt eine Darstellung der Veränderungen der Druckfestigkeit des Versuchsbetons infolge Fehlern in der Zumessung

5 des Cementes. Die Mischungsfehler insgesamt ergeben, wie oben gezeigt, eine Streuung von  $V = 7,7\%$  oder  $\pm 20\%$  bei 100 Versuchen. Bei einer mittleren Druckfestigkeit des Versuchsbetons von  $431 \text{ kg/cm}^2$  macht diese Streuung  $\pm 86 \text{ kg/cm}^2$  aus. Diese Veränderlichkeit der Druckfestigkeit entspricht Fehlern in der Cementzugabe von  $\pm 18\%$  oder der Wasserzugabe von  $\pm 14\%$ . Bei einer 200-I-Mischung des Versuchsbetons mit  $75 \text{ kg}$  Cement und  $37 \text{ l}$  Wasser macht dies  $\pm 13 \text{ kg}$  Cement und  $\pm 5 \text{ l}$  Wasser aus. Naturgemäss sind die Zumessungsfehler der Betonmaterialien immer zusammenwirkend, aber die Rechnung zeigt, dass der Wasserzugabe am meisten Beachtung geschenkt werden muss.

Will man die Gesamtstreuung der Betonfestigkeit herabsetzen, so sollte nach folgender Dringlichkeitsliste vorgegangen werden:

1. bessere Kontrolle und Messgenauigkeit der Wasserzugabe
2. bessere Kontrolle und Messgenauigkeit der Cementzugabe
3. bessere und genauere Abmessungseinrichtungen für den Zuschlag.

Die Anforderungen an die Zumessungsgenauigkeit, um einen Beton mit der Gesamtstreuung  $V = 10\%$  zu erhalten, sind die folgenden:

$$\text{pro Mischcharge von } 100 \text{ l} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Wasser} \quad \pm 0,5 \text{ l} \\ \text{Cement} \quad \pm 0,8 \text{ kg} \\ \text{Zuschlag} \quad \pm 2,0 \text{ kg} \end{array} \right.$$

Bei dem hier gezeigten Beispiel handelt es sich um einen Versuchsbeton von hoher Gleichmässigkeit. Die Herstellung der Mischungen erfolgte unter besten Bedingungen und mit speziellen Vorrichtungen, wie sie auf den Baustellen normalerweise nicht vorhanden sind. Das Streuungsmass der Betondruckfestigkeit von  $V = 7,7\%$  ist als sehr niedrig anzusehen.

Aus der Baupraxis sind höhere Streuungsmasse bekannt. Für zwei Staumauerbetone z. B. werden folgende Streuungsmasse angegeben: P 140:  $V = 14,2\%$ , P 250:  $V = 16,3\%$ . Diese Streuung, reduziert um den Streuungsanteil aus dem Prüfverfahren ergibt  $13,1$  bzw.  $15,1\%$  (Lit.-Ang. [2]).

Auch bei diesem Beispiel handelt es sich um Betone, die erhöhte Regelmässigkeit aufweisen, da deren Bestandteile durch Abwiegen, z. T. vollautomatisch zugemessen worden sind. Bei gewöhnlichem Baustellenbeton liegt der Variationskoeffizient je

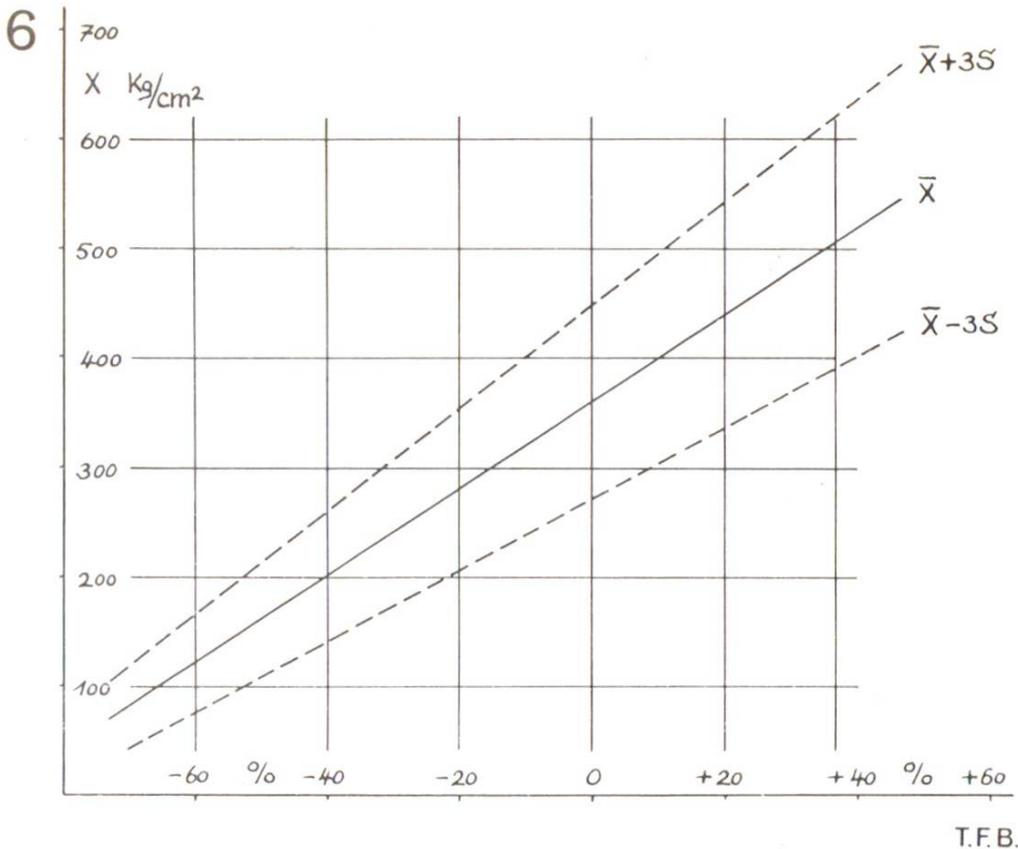


Abb. 3 Änderungen der mittleren Betondruckfestigkeit als Folge von Fehlern in der Cementzugabe ( $\pm$  % Cement). Streubereich wie Abb. 2 (nach Vironnaud [1])

nach Zumessungsart und Verlässlichkeit des Personals zwischen 15 und 22 % (Lit.-Ang. [4]).

Es soll nun noch an einem Beispiel gezeigt werden, welche grosse Bedeutung der Streuung der Betonfestigkeit bei der Berechnung von Betonbauwerken zukommt (Lit.-Ang. [3]).

Nehmen wir an, dass ein Bauingenieur mit einem Spezialbeton (BS) von nachgewiesener durchschnittlicher Würfeldruckfestigkeit nach 28 Tagen von 500 kg/cm<sup>2</sup> rechnet. Er kann als zulässige Spannung  $\frac{1}{4}$  dieser Festigkeit, also 125 kg/cm<sup>2</sup>, einsetzen. Die Frage ist nun, ob die Sicherheitsspanne von 375 kg/cm<sup>2</sup> genügend ist, und mit welcher Wahrscheinlichkeit sie von einem Probekörper der vorgesehenen Betonmischung überschritten werden kann.

Die statistische Rechnung gibt auf diese Frage eine ganz erstaunliche Antwort:

Bei der Voruntersuchung des BS wurden zwei Betonmischungen A und B beurteilt, und zwar mit je 20 Probewürfeln:

	N	$\bar{X}$ kg/cm <sup>2</sup>	S kg/cm <sup>2</sup>	V %	B kg/cm <sup>2</sup>
Beton A	20	500	100	<b>20</b>	310—690
Beton B	20	500	50	<b>10</b>	410—590

- 7  $N$  = Anzahl der Probekörper  
 $\bar{X}$  = Mittlere Druckfestigkeit nach 28 Tagen  
 $S$  = Mittlere quadratische Abweichung  
 $V$  = Variationskoeffizient =  $\frac{S}{\bar{X}} \cdot 100$   
 $B$  = Variationsbreite

Die Wahrscheinlichkeit nun, dass ein Probekörper die 125 kg/cm<sup>2</sup> zulässige Spannung unterschreiten würde, beträgt:

Für Beton A,  $V = 20\%$ :  $1 : 10^4 = 1 : 10\ 000$

Für Beton B,  $V = 10\%$ :  $1 : 10^{13} = 1 : 10\ 000\ 000\ 000\ 000$ .

Die Herabsetzung des Streubereiches von  $V = 20\%$  auf  $V = 10\%$ , d. h. von einer mittleren zu einer sehr guten Regelmässigkeit, bewirkt eine ungeheuer grosse, eine billionenfache Reduktion der Bruchwahrscheinlichkeit. Würde man bei einer zulässigen Spannung von 125 kg/cm<sup>2</sup> die Bruchwahrscheinlichkeit von  $1 : 10\ 000$  als genügende Sicherheit ansehen, so wäre hierfür bei einem Beton mit  $V = 20\%$ , wie gesagt, eine mittlere Würfel-druckfestigkeit von 500 kg/cm<sup>2</sup> erforderlich, bei Verwendung eines Betons mit  $V = 10\%$  jedoch nur eine solche von 200 kg/cm<sup>2</sup>! (Abb. 4)

Angesichts dieser grossen Unterschiede erscheint es wenig folgerichtig, wenn gemäss den Normen für die Berechnung und Ausführung der Beton- und Eisenbetonbauten (SIA Nr. 162 [1956]) diese Betone mit demselben Sicherheitsfaktor eingesetzt werden müssen.

Wenn zukünftig der Variationskoeffizient bei Spezialbeton in den Normen berücksichtigt werden sollte, so müsste die Gewähr dafür bestehen, dass er jeweils zuverlässig bestimmt wird. Der Variationskoeffizient wäre als Bezugsmass gut geeignet, da er schon bei gleichbleibenden Materiallieferanten, Baustelleneinrichtungen und Beton-Verarbeitbarkeit weitgehend konstant bleibt.

#### Literaturangaben:

- (1) **L. Vironnaud**, Annales de l'institut du bâtiment et des travaux publics, **13**, 313 (mars/avril 1960).
- (2) **H. Bertschinger**, Schweizerische Bauzeitung **77**, 8, 233 (1959).
- (3) **N. Munk Plum**, Proc. of the Institution of Civil Engineers 311 (London, 1953).
- (4) **A. M. Neville**, Magazine of Concrete Research **11**, 75 (July 1959).

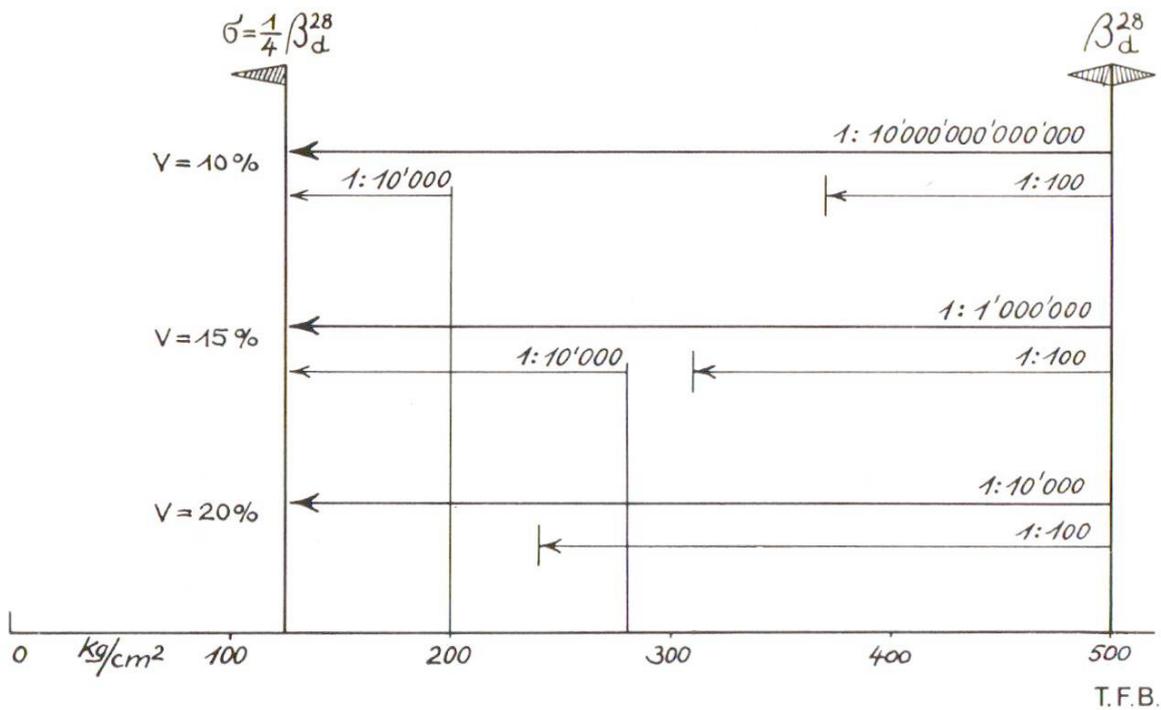


Abb. 4 Verhältnis der zulässigen Spannung  $\bar{\sigma}$  zur mittleren Würfeldruckfestigkeit  $\beta_d^{28}$  im Lichte des diesbezüglichen Variationskoeffizienten  $V$ . Spezialbetone mit je  $500 \text{ kg/cm}^2$  mittlerer 28-Tage-Druckfestigkeit, jedoch mit verschiedener Gleichmässigkeit  $V = 10, 15$  und  $20\%$ . Die angegebenen Verhältniszahlen (z. B.  $1:10'000$ ) entsprechen der Wahrscheinlichkeit, mit der ein Probekörper der betreffenden Betonmischung eine bestimmte Festigkeitsgrenze beziehungsweise die zulässige Spannung erreicht oder unterschreitet

Tn.