Die Streuung der Eigenschaften von Schwebebeton

Autor(en): **Rüsch, H.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports of the working commissions = Rapports des commissions de travail AIPC = IVBH Berichte der Arbeitskommissionen**

Band (Jahr): **3 (1969)**

PDF erstellt am: **22.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-5010

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Die Streuung der Eigenschaften von Schwerbeton

The variability of the properties of normal concrete

La dispersion des qualités principales du béton

H. RÜSCH
Prof. Dr.-Ing., Dr. Ing.-E.h.

1. Ursachen der Streuung

Die Herstellung eines guten Betons ist sicher einfacher als die Herstellung eines guten Stahles, weil sowohl die Eigenschaften der Ausgangsstoffe als auch die thermischen Einflüsse eine viel geringere Rolle spielen. Eine gleichbleibende Qualität des Zements, die Konstanz des Wasserzementwertes und eine zweckmäßig gewählte Konsistenz sind fast die einzigen Anforderungen, die zur Gewährleistung gleichbleibender Eigenschaften des Betons erfüllt werden müssen. Trotzdem sind die in der Praxis beobachteten Streuungen, wie im folgenden im einzelnen gezeigt werden soll, beim Beton eher größer als beim Stahl, weil die Fertigung auf der Baustelle unter teilweise primitiven Umständen und mit ungenügender Kontrolle erfolgt, deren Ergebnisse zudem erst bekannt werden, wenn es zu spät ist. Umso wichtiger ist es, einen Überblick über die Größe der zu erwartenden Streuungen und ihre Ursachen zu gewinnen.

Bei den Ursachen muß man unterscheiden zwischen den Einflüssen, die bei der Bereitung des Betons entstehen und jenen, die mit dem Einbau in das Bauwerk und der Nachbehandlung verbunden sind. Die üblichen Standardprüfungen erfassen nur die erstgenannte Gruppe, während die Auswirkungen der zweiten uns derzeit leider noch weitgehend verborgen bleiben, weil wir über keine befriedigende Methode verfügen, um die Festigkeit des im Bauwerk eingebauten Betons auf einfache und das Bauwerk nicht schädigende Weise zu bestimmen.

Die nachstehenden Ausführungen befassen sich deshalb vorwiegend mit jenen Streuungen, die bereits bei der Bereitung des Betons entstehen. Es sollen aber auch einige Angaben folgen, wie man von den Eigenschaften der Standardproben auf jene des eingebauten Betons schließen kann, sofern er mit der üblichen Sorgfalt verdichtet wurde.

Die Ursachen für die Streuung der an Standardproben bestimmten Eigenschaften des Betons sind in Tabelle I schematisch dargestellt (siehe auch [1]). Eine solche Zusammenstellung ist sehr nützlich, wenn man nach Möglichkeiten suchen will, die Streuung zu begrenzen.

In der ersten Gruppe der Ausgangsstoffe spielt die Streuung der Zementfestigkeit die weitaus größte Rolle. Der Variationskoeffizient $V = s/\bar{x}$ liegt erfahrungsgemäß zwischen 4 und 2o %, je nachdem ob der Zement von einem hochmodernen Werk mit automatischer Rohstoffkontrolle oder von einem Werk mit veralteter Ausrüstung und ungünstiger Rohstofflage bezogen wird. Leider erlauben uns wirtschaftliche Gründe meist nicht, die Ausgangsstoffe von den besten Quellen zu beziehen. Man muß in der Nähe der Verarbeitungsstelle gewonnene Stoffe verwenden.

Streuung der Betonmischung		Streuung bei der Prüfung		
1. Eigenschaften der Rohstoffe	2. Mischungszusammensetzung	3. Herstellung der Prüfkörper	4. Pflege der Probekörper	5. Festigkeitsprüfung
1.1 Wechselnde Zementfestigkeit	2.1 Ungenauigkeit der Zementzugabe	3.1 Unvollkommene Durchmischung	4.1 Unterschiedliche Erhärtungstemperatur	5.1 Steifigkeit und Drehbarkeit der Druckplatten der Prüfpresse. Genauigkeit der Meßeinrichtung
1.2 Streuung der Festigkeit der Zuschläge	2.2 Ungenauigkeit der Wasserzugabe	3.2 Entmischung beim Transport oder beim Verdichten	4.2 Unterschiedliche Austrocknung	5.2 Unebene Druckflächen der Prüfkörper
1.3 Wechselnde Kornzusammensetzung	2.3 Mangelhafte Berücksichtigung der Eigenfeuchte der Zuschläge	3.3 Unvollkommende Verdichtung der Prüfkörper	4.3 Unterschiede in der Aufbewahrungsart während des Erhärtens	5.3 Unvollkommene Zentrierung
1.4 Wechselnde Kornfeuchte	2.4 Absichtl. Änderung der Wasserzugabe zur Veränderung der Konsistenz der Mischung	3.4 Zufällige Lage von großen Körnern in der Nähe der zukünftigen Prüfflächen		5.4 Ungleiche Prüfgeschwindigkeit
	2.5 Ungenaue Abmessung der Zuschlagsfraktionen			5.5 Ablesefehler
	2.6 Einflüsse von zeitweise zugegebenen Zusatzmitteln			

Tabelle I: Einflüsse auf die Streuung der Betonfestigkeit von Prüfkörpern

Bei der zweiten Gruppe, den Einflüssen auf das Mischungsverhältnis, kommt es vor allem auf das Wasserzementverhältnis an. Durch zuverlässige Einrichtungen für das Zumessen der einzelnen Komponenten, witterungsgeschützte Lagerung des Sandes und Kontrolle seiner Eigenfeuchtigkeit,kann man die Streuung der Betoneigenschaften sicher am stärksten verringern. Wenn zusätzlich noch der Wasserzementwert des Frischbetons laufend kontrolliert wird, können Abweichungen vom Sollwert sofort beseitigt werden und treten nicht erst bei der Festigkeitsprüfung der Betonproben nach Wochen in Erscheinung.

Die folgenden Gruppen 3 bis 5 sind von viel geringerem Einfluß. Sie betreffen außerdem nur die Zuverlässigkeit des Prüfverfahrens, haben aber nichts mehr mit den Eigenschaften des Bauwerksbetons zu tun.

2. Das statistische Verteilungsgesetz der Betonfestigkeit

Man muß zwischen zufälligen und systematischen Einflüssen unterscheiden. An dieser Stelle interessieren in erster Linie die zufälligen Schwankungen, die durch nicht erkennbare, oder unter den gegebenen Voraussetzungen nicht vermeidbare, zufällige Abweichungen von den Sollwerten entstehen. Die Erfahrung hat gelehrt, daß die Gauß'sche Normalverteilung in der weit überwiegenden Zahl der uns hier interessierenden Fälle die wirkliche statistische Verteilung der Merkmale völlig befriedigend erfassen kann. Dies ist von vornherein nicht selbstverständlich. Die Gauß-Verteilung ist symmetrisch und setzt voraus, daß jeder zwischen $+\infty$ und $-\infty$ liegende Wert auftreten kann. Festigkeitswerte können aber höchstens zwischen o und $+\infty$ fallen. Ihre Verteilung ist also notwendigerweise unsymmetrisch. Man kann diesen Mangel abstellen, indem man eine Normalverteilung der Logarithmen annimmt. Dies ist aber umständlich und lohnt sich nur, wenn der Variationskoeffizient ungewöhnlich groß wird ($V > o,4$). Es wurde mehrfach nachgewiesen [2 , 4], daß bei geringerer Streuung der mit dem logarithmischen Verteilungsgesetz erreichbare Gewinn an Genauigkeit den Vorteil der einfacheren Handhabung der numerischen Normalverteilung kaum aufwiegen kann.

Unter systematischen Einflüssen soll all das verstanden werden, was absichtlich oder zumindest bewußt die Eigenschaften verändert. Hierunter fällt z.B. eine absichtlich vergrößerte Wasserzugabe, welche die Verarbeitung des Betons erleichtern soll. Weitere systematische Einflüsse sind eine Änderung der Bezugsquelle für die Rohstoffe oder ein wesentlicher Wechsel im Personal. In all diesen Fällen weiß man, daß sich die Fertigungsgrundlage geändert hat, was sowohl eine Verschiebung des Mittelwertes $\bar{x}$ als auch eine Änderung der Standardabweichung s zur Folge haben kann. Eine gemeinsame Auswertung der auf verschiedenen Grundlagen beruhenden Ergebnisse würde zu einer von der Normalverteilung abweichenden Verteilung führen.

3. Das Zusammenwirken der einzelnen Streuungseinflüsse

Für das Zusammenwirken der in Tabelle I aufgezählten Streuungseinflüsse kann, soweit sie zufallsbedingt sind, das Gauß'sche Fehlerfortpflanzungsgesetz (variance law) angewendet werden. Dies ist erfahrungsgemäß eine befriedigende Näherung.

$$s^2 = s_1^2 + s_2^2 + \dots s_n^2 \quad \text{oder} \quad V^2 \approx V_1^2 + V_2^2 + \dots + V_n^2 \qquad (1)$$

Diese Gleichung sagt, daß nur die großen Streuungen von entscheidendem Einfluß sind. Unterstellt man z.B., daß sich die Streuung der Rohstoffeigenschaften (vor allem der Zementfestigkeit) in der Betonfestigkeit mit V = 6 %, die Fehler in der Mischungszusammensetzung mit V = 12 % und die mit der Prüfung verbundenen Fehler mit V = 4 % bemerkbar machen, erhält man für die Gesamtstreuung einen Variationskoeffizient von $V = \sqrt{36 + 144 + 16} = 14$ %, der nur wenig über den der Mischungsstreuung zugeschriebenen 12 % liegt.

4. Der Einfluß der Probenform auf die Druckfestigkeit

Die höchste Festigkeit beobachtet man an kleinen Würfelproben, die kleinste an großen und schlanken Zylindern oder Prismen. Der systematische Einfluß der Probenform und -größe auf die beobachtete Festigkeit ist nur in geringem Maße auf eine unterschiedliche Verdichtung des Betons (Gruppe 3 in Tabelle I) zurückzuführen. Vorherrschend ist die festigkeitserhöhende Wirkung der behinderten Querdehnung. Dieser Einfluß hängt nicht nur von der Steifigkeit der Druckplatten der Prüfpresse ab, sondern sinkt auch mit der von der Probengröße und -festigkeit wachsenden Beanspruchung dieser Platten.

Die nachstehenden, auf Angaben der RILEM beruhenden Umrechungszahlen gelten für eine mittlere Betongüte [5] .

Art des verwendeten Prüfkörpers	Abmessungen (cm)	Umrechnungsfaktor auf einen Zylinder 15x3o cm		Variationskoeffizeint (%)
		Schwankungsbereich	zulässige Mittelwerte	
Zylinder	15 x 3o	-	1,oo	5,5
	1o x 2o	o,94 bis 1,oo	o,97	-
	25 x 5o	1,oo bis 1,1o	1,o5	5,o
Würfel	1o	o,7o bis o,9o	o,8o	6,o
	15	o,7o bis o,9o	o,8o	-
	2o	o,75 bis o,9o	o,83	4,o
	3o	o,8o bis 1,oo	o,9o	3,5
Prismen	15 x 15 x 45	o,9o bis 1,2o	1,o5	6,o
	2o x 2o x 6o	o,9o bis 1,2o	1,o5	-

Tabelle II: Umrechnungszahlen für den Einfluß der Probenform auf die Druckfestigkeit

5. Die Streuung der an Proben bestimmten Betonfestigkeit

Neuere statistische Untersuchungen, z.B. [2, 3, 4] haben sich mit der Frage beschäftigt, ob für die in Tabelle I aufgezählten Streueinflüsse Gesetzmäßigkeiten erkannt werden können. Dies ist tatsächlich der Fall.

Die mit der Prüfung der Festigkeitsproben verbundene Standardabweichung s_p (Gruppen 3 bis 5 der Tabelle I) kann man aus der unterschiedlichen Festigkeit

von Proben ableiten, die der gleichen Mischung entnommen wurden. Sie wächst annähernd linear mit der mittleren Betonfestigkeit $\bar{ß}$.

$$s_p = k \cdot \bar{ß} \qquad (2)$$

Die Proportionalitätskonstante k beträgt für 2o cm Würfel im Mittel etwa o,o4 [2, 4, 6]. Die von der Sorgfalt abhängigen Einzelwerte schwanken zwischen o,o2 und o,15. Wie die zugefügte letzte Spalte von Tabelle II zeigt, wird s_p bei zylindrischen und kleinen Prüfkörpern eher größer.

Der von der Zusammensetzung der Betonmischung abhängige Streuungsanteil (Gruppen 1 und 2 der Tabelle I) hängt in erster Linie von der Schwankung der Zementfestigkeit und des Wasserzementwertes ab. Er läßt sich nicht ohne weiteres separieren. Man kann nur so vorgehen, daß man die mittlere Gesamtstreuung $\bar{s}$ bestimmt und anschließend den mittleren Einfluß der Prüfstreuung $\bar{s}_p$ abzieht.

$$\bar{s}_m = \sqrt{\bar{s}^2 - \bar{s}_p^2} \qquad (3)$$

In Bild 1 wurden rund 8oo Werte der bei der Baukontrolle beobachteten Gesamtstreuung, die mit Hilfe einer internationalen Rundfrage [4] gewonnen wurden, über der zugehörigen mittlerenBetonfestigkeit aufgetragen. Man sieht, daß $\bar{s}$ mit wachsender Betonfestigkeit zuerst etwa einer Parabel folgend ansteigt und für $\bar{x} > 25o$ kp/cm^2 einen konstanten Wert annimmt, der bei 5o kp/cm^2 liegt. Die Einzelwerte fallen zwischen s = 1o bis 1oo kp/cm^2.

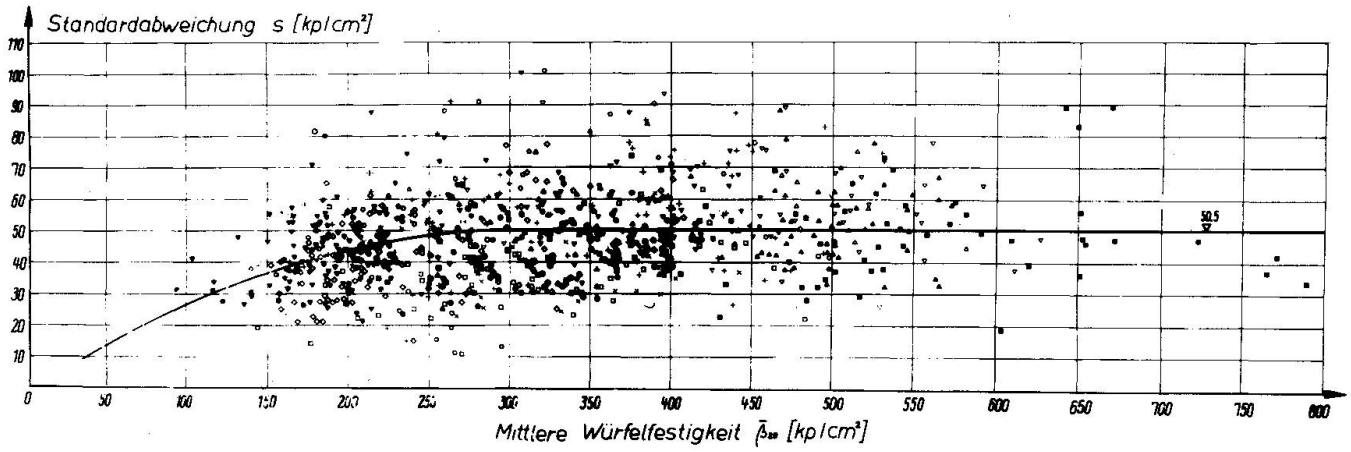

Bild 1: Die Abhängigkeit der Standardabweichung s der Würfelproben vom Mittelwert

Die Höhenlage des konstanten Wertes hängt sicher wesentlich von der maschinellen Ausrüstung der Baustelle, der Qualität der Rohstoffe, der Sorgfalt des Personals, aber nicht zuletzt auch von Witterungseinflüssen ab. Das läßt Bild 2 deutlich erkennen, in dem der Mittelwert der Streuung für verschiedene Arten von Baustellen nach [4] über der mittleren Festigkeit aufgetragen wurde. Am günstigsten schneidet der Lieferbeton ab. Im Tunnelbau sind die Witterungseinflüsse meist gering. Der Massenbeton müßte eigentlich wegen der Mechanisierung der Betonbereitung besser abschneiden. Solche Baustellen laufen aber meist mehrere Jahre. Eingehende Untersuchungen [4] haben gezeigt, daß bei langdauerndenBaustellen s während der Einarbeitungs-

zeit verhältnismäßig groß ist, dann auf einen günstigen Wert absinkt und im Laufe der Zeit wegen des Nachlassens der Sorgfalt und zunehmenden Witterungseinflüssen wieder ansteigt.

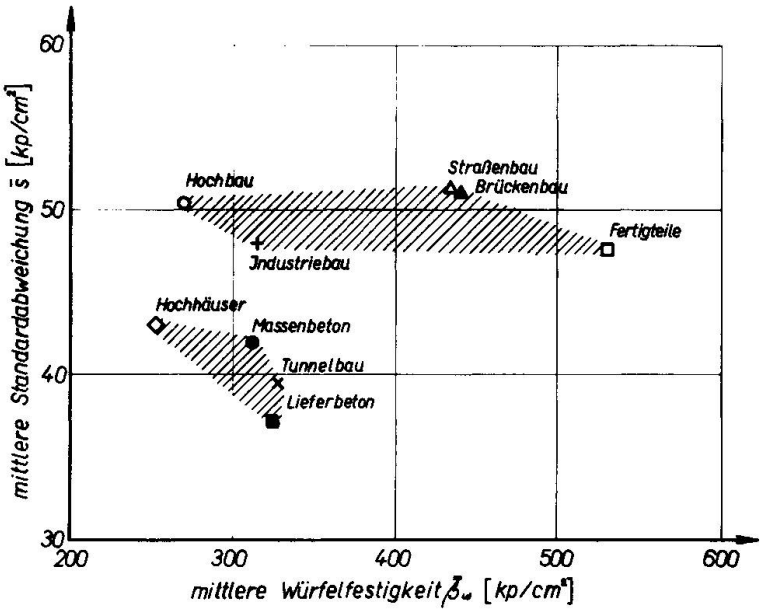

Bild 2: Mittlerer Einfluß der Art der Baustelle auf die Standardabweichung und Betonfestigkeit

In der zweiten Gruppe von Bild 2 finden sich vorwiegend Bauten mit verhältnismäßig kurzer Bauzeit. Dies gilt auch für die Fertigteile, die zum großen Teil auf der Baustelle hergestellt wurden. Nur der Straßenbau macht eine Ausnahme. Sein hochliegender Wert dürfte vor allem den Witterungseinflüssen zuzuschreiben sein.

In einer weiteren Untersuchung [4] wurde festgestellt, daß das Prüfalter der Proben keinen direkten Einfluß auf die Standardabweichung hat. Mit wachsendem Alter wird nur die mittlere Festigkeit und damit nach Bild 1 unterhalb $\bar{\beta}_w = 25o$ auch die Standardabweichung größer.

Wenn man mit Hilfe der Gleichungen (2) und (3) die Mischungsstreuung s_m von der Gesamtstreuung s separiert, kann man mit Hilfe des Sorgfaltbeiwertes $c = s_m/\bar{\sigma}_m$ neue Kurven für die Abhängigkeit der Gesamtstreuung von der Betonfestigkeit konstruieren. Dabei kann man davon ausgehen, daß unabhängig von der Sorgfalt, die bei der Bereitung des Betons aufgewendet wird, die Prüfstreuung $V_p = o,o4$ ist. Die neuen Werte $\sqrt{s_p^2 + (c \cdot \bar{s}_m)^2}$ sind inBild 3 dargestellt.

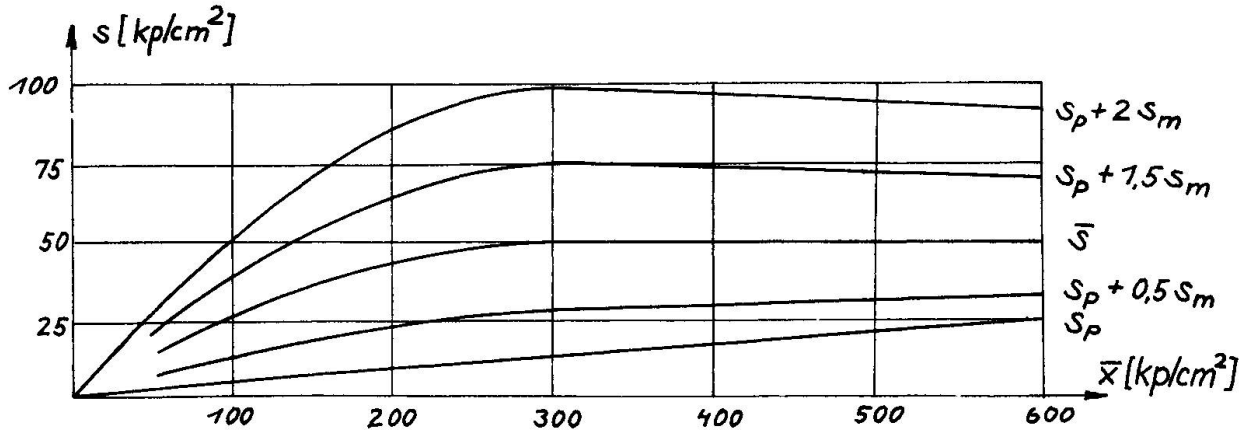

Bild 3: Vermutete Abhängigkeit der Standardabweichung s von der mittleren Würfelfestigkeit und der Sorgfalt bei der Herstellung

Demnach dürfte bei sehr sorgfältiger Arbeit die Standardabweichung der hohen Betongüten nicht mehr konstant sein, sondern eher linear anwachsen. Diese theoretisch abgeleitete Vermutung wird durch die Praxis bestätigt. Im Labor und bei scharf kontrollierten Baustellen wurde verschiedentlich [1, 4, 6] eine annähernd lineare Abhängigkeit $s/\bar{x}$ beobachtet. Auch die Vermutung, daß bei sorgloser Arbeit die Standardabweichung mit höherem $\bar{x}$ abnimmt, wird durch Bild 1 eher bestätigt als widerlegt.

Mit der nachstehenden Tabelle wird versucht, die statistisch belegten Erkenntnisse für eine Abschätzung der bei verschieden gearteten Baustellen zu erwartenden s-Werte zu verwenden.

Baustelle	klein	mittlere Größe	Großbaustelle
Zahl der Betonproben	keine	3 - 1o	3o und mehr
Zumessung	nach Volumen	nach Volumen oder Gewicht	nach Gewicht
Überwachung	durch Polier	durch Polier	durch Betoningenieur
sehr gut	5o	4o	3o
gut	6o	5o	4o
annehmbar	8o	65	5o
nachlässig	9o	8o	7o

Tabelle III: Geschätzte Standardabweichung in kp/cm^2

Diese Werte sollen dazu dienen, das Vorhaltemaß zu bestimmen, um das die mittlere Festigkeit höher liegen muß als die charakteristische Festigkeit oder Nennfestigkeit $ß_k$, welche heute in den meisten Bestimmungen als untere Festigkeitsgrenze definiert wird.

$$\bar{ß} = ß_k + \lambda \cdot s \qquad (4)$$

Wählt man die 5 % Fraktile, wie das CEB vorschlägt [5], beträgt der den statistischen Handbüchern zu entnehmende Beiwert $\lambda = 1,65$.

6. Der Unterschied zwischen der an Proben bestimmten Festigkeit und der Bauwerksfestigkeit

Die Mischungsstreuung (Gruppen 1 und 2 von Tabelle I) wird sich auf die Bauwerksfestigkeit sicherlich ähnlich auswirken wie auf die Betonproben. Dagegen muß man annehmen, daß die mit der Prüfung verbundene Streuung (Gruppe 6) bei am Bauwerk genommenen Proben eher größer wird. Insgesamt bestätigt die Erfahrung, daß die zufällige Streuung der Bauwerksfestigkeit mit den dem Frischbeton entnommenen Proben zutreffend erfaßt wird. Erheblich verändert laufen aber im Bauwerk die in den Gruppen 3 und 4 behandelten Einflüsse der Verdichtung und Nachbehandlung ab. Leider liegen bisher nur wenige Untersuchungen zu der Frage vor, wie sich die Bauwerksfestigkeit unter diesen vorwiegend als systematisch zu bezeichnenden Einflüssen verändert. An Hand von [7] lassen sich aber folgende generelle Feststellungen treffen:

- Bei großen Abmessungen und nicht zu dichter Armierung wird der Bauwerksbeton eher besser verdichtet sein als der Beton der Proben. Das Umgekehrte gilt für filigrane, stark bewehrte Bauteile.
- Beim Verdichten des Betons steigt überschüssiges Wasser nach oben. Die Folge ist ein Festigkeitsabfall in der obersten Schicht, die bei Balken vielleicht nur wenige Zentimeter, bei Säulen und Wänden aber bis zu 7o cm dick ist. Dieser Festigkeitsabfall liegt im allgemeinen in der Größenordnung von etwa 2o %.
- Ein ungenügender Schutz des frischen Betons gegen vorzeitiges Austrocknen kann vor allem bei feingliedrigen Bauteilen zu einem erheblichen und bleibenden Festigkeitsabfall führen.
- Von geringerem Interesse ist die verzögerte Festigkeitsentwicklung des bei niedrigen Temperaturen erhärtenden Betons. Im allgemeinen genügt es, diesen Einfluß mit den Formeln von Saul und Nurse zu verfolgen.

7. Größe und Streuung der Zugfestigkeit

Die Zugfestigkeit hängt in stärkerem Maße von der Probenform ab als die Druckfestigkeit. Zu den in Tabelle I schon aufgezählten Einflüssen kommt noch eine spürbare Abhängigkeit von der Art der Beanspruchung (zentrisch oder exzentrisch), von der Bindung am Zuschlagstoff und von den beim Austrocknen entstehenden Eigenspannungen.

Prüft man die Zugfestigkeit an gleichartigen Proben aus der gleichen Mischung, beobachtet man eine größere Prüfstreuung als bei der Druckfestigkeit. Sie liegt etwa bei s_p = o, o8 bis o, 12 $\bar{x}$.

Beim Versuch, die Zugfestigkeit in Abhängigkeit von der Druckfestigkeit darzustellen, muß man aus den vorgenannten Gründen erhebliche Streuungen in Kauf nehmen und zwar selbst dann, wenn man sich auf ausgewählte Prüfverfahren und übliche Prüfkörperformen beschränkt. Man geht dabei am besten von folgender Formel aus

$$ß_z = c \cdot ß_w^{2/3} \cdot \left[kp/cm^2\right]^{1/3} \qquad (5)$$

Die nachstehende Tafel IV, die auf [8] beruht, zeigt die Veränderlichkeit der c-Werte und die zugeordneten Variationskoeffizienten. In ihnen ist der obengenannte Anteil der Prüfstreuung schon enthalten.

Prüfverfahren	Beiwert c $\left[kp/cm^2\right]^{1/3}$	Variationskoeffizient von c %
	o, 52	19
	o, 59	11
	1, o7	12
	o, 98	14

Tafel IV: Zusammenhang zwischen der Zug- und Druckfestigkeit von Standardproben

8. Größe und Streuung des Elastizitätsmoduls

Die Größe des E-Moduls hängt von den Verformungseigenschaften der beiden Komponenten Zementstein und Zuschlagstoff ab [9] . Da aber bei der Druckfestigkeit der Einfluß des Zementsteins viel größer ist als beim E-Modul, ist der Zusammenhang zwischen Druckfestigkeit und E-Modul nicht sehr straff.

Eine statistische Auswertung [1o] der in [11, 12] zusammengestellten Versuchsergebnisse lieferte:

$$E_b = 625o \cdot \beta_w^{2/3} \cdot \left[kp/cm^2 \right]^{1/3} \qquad (6)$$

Die Streuungsanalyse lieferte V = 12 %.

9. Das Schwinden und Kriechen

Es ist bisher noch nicht gelungen, die das Schwinden und Kriechen des Betons auslösenden physikalischen Vorgänge eindeutig zu definieren. Der vom CEB 5 aufgrund einer Auswertung aller Versuchsdaten vorgelegte Vorschlag zur Abschätzung des Schwindmaßes ϵ_s und der Kriechzahl φ berücksichtigt folgende Einflüsse:

die relative Luftfeuchte der Umgebung
das Belastungsalter
die Zusammensetzung der Mischung
die Querschnittsabmessungen
die Belastungsdauer

Eine Streuungsanalyse zeigte, daß die mit den CEB-Empfehlungen abgeschätzten Werte mit folgenden Standardabweichungen behaftet sind:

beim Schwinden $s_{\epsilon s} = 1o \cdot 1o^{-5}$

beim Kriechen $s_{\varphi} = o,4$

Schrifttum

1 Cook, H. K.: "Recommended Practice for Evaluation of Compression Test Results of Field Concrete" ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, Detroit 1967

2 Erntroy, H. C.: "The Variation of Works Test Cubes" Research Report No 1o, Cement and Concrete Association, London 196o

3 Teychenné, D. C.: "The Variability of the Strength of Concrete and its Treatment in Codes of Practice" Structural Concrete, Vol. 3, No. 1, Journal of the Reinforced Concrete Association, London 1966

4 Rüsch, H., Sell, R., Rackwitz, R. "Statistische Analyse der Betonfestigkeit" Heft 2o6 der Schriftenreihe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, Ernst u. Sohn, Berlin 1969

5 Comité Européen du Béton: "Recommendations pratiques unifiées pour le calcul et l' exécution des ouvrages en béton armé" Comité Européen du Béton, Madrid 1964

6 Neville, A.M.: "The Relation between Standard Deviation and Mean Strength of Concrete Test Cubes" Magazine of Concrete Research, Vol. 11, No. 32, Cement and Concrete Association, London 1959

7 Petersons, N.: "Should Standard Cube Test Specimens be Replaced by Test Specimens Taken from Structures" Publication of Swedish Cement and Concrete Research Institute, Stockholm 1968

8 Heilmann, H.G.: "Beziehung zwischen Zugfestigkeit und Druckfestigkeit des Betons" "beton", Heft 2, 1969, Betonverlag Düsseldorf

9 Hansen, T.C.: "Influence of Aggregate and Voids on Modulus of Elasticity of Concrete, Cement Mortar, and Cement Paste" Journal of the American Concrete Institute, Volume 62, Detroit, Febr. 1965

1o Rackwitz, R.: "Die Streuung des Elastizitätsmoduls des Betons" erscheint demnächst

11 Roš, M.: "Die materialtechnischen Grundlagen und Probleme des Eisenbetons im Hinblick auf die zukünftige Gestaltung der Stahlbetonbauweise" Eidgenössische Materialprüfungs- und Versuchsanstalt, Bericht Nr. 162, Zürich 195o

12 Beeby, A.W.: "Short-Term Deformations of Reinforced Concrete Members" Technical Report TRA 4o8, Cement and Concrete Association, London 1968

Bezeichnungen

x	Merkmal, z.B. Festigkeit, E-Modul usw.
$\bar{x}$	Mittelwert des Merkmales
s	Standardabweichung
s_p	Anteil des Prüfverfahrens an der Standardabweichung
$s_{\epsilon s}$	Standardabweichung des Schwindmaßes
s_φ	Standardabweichung der Kriechzahl
s_m	Anteil der Mischungszusammensetzung an s
V	Variationskoeffizient $V = s/\bar{x}$
$ß$	Festigkeit
$ß_w$, $ß_{2o}$	Würfelfestigkeit bzw. Festigkeit des 2o cm Würfel
$\bar{ß}_w$	mittlere Würfelfestigkeit einer Baustelle
$\bar{\bar{ß}}_w$	Mittelwert der $\bar{ß}_w$ gleichgearteter Baustellen
$ß_k$	charakteristische oder Nennfestigkeit
$ß_z$	Zugfestigkeit
E_b	Elastizitätsmodul
ϵ_s	Schwindmaß
φ	Kriechzahl

ZUSAMMENFASSUNG

Es wird die Streuung der wesentlichsten Eigenschaften des Schwerbetons auf der Grundlage der Gauss'schen Normalverteilung untersucht, welche das Verteilungsgesetz der Festigkeits- und Verformungskennzahlen befriedigend genau wiedergibt. Nach einer Analyse der einzelnen Streueinflüsse wird für Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, E-Modul, Kriechzahl und Schwindmass des Betons nach Gesetzmässigkeiten gesucht, welche die Grösse der Standardabweichungen bzw. des Variationskoeffizienten beschreiben. Es werden auch die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Werkstoffeigenschaften besprochen.

SUMMARY

The paper deals with the variability of some properties of normal concrete, assuming a Gaussian distribution, which seems to be a satisfying basis for such a study. After analysing the different influences producing dispersions an effort is made to determine the relationships describing the standard deviation or the coefficient of variation for the cube strength, tensile strength, Young's modulus, creep and shrinkage. In addition the interdependence of these properties of concrete is described.

RÉSUMÉ

La dispersion des qualités principales du béton lourd est examinée à la base de la distribution normale de Gauss qui reproduit avec une précision satisfaisante la loi de distribution des valeurs caractéristiques pour la résistance et la déformation. Après avoir analysé les différentes influences sur la dispersion, on cherche la relation déterminant les valeurs de l'écart quadratique moyen ou coefficient de variation de la distribution de la résistance à la compression, la résistance à la traction, le module d'élasticité, le retrait et le fluage. L'interdépendance entre les différents propriétés du béton est également démontrée.

Leere Seite
Blank page
Page vide