

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Band: 93 (1975)
Heft: 20

Artikel: Statistische Auswertung von Betonprüfungen: ein Jahrzehnt
Qualitätssicherung in der Vorfabrikation
Autor: Stamm, K. / Zenobi, G.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-72746>

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: 17.11.2024

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

Statistische Auswertung von Betonprüfungen

Ein Jahrzehnt Qualitätssicherung in der Vorfabrikation

Von K. Stamm und G. Zenobi, Zürich

DK 666.97.002.22

1. Einleitung

Im Anschluss an einen früheren Beitrag in der Schweizerischen Bauzeitung [2] soll hier über die Ergebnisse der statistischen Auswertung von Druckfestigkeitsprüfungen an einer sehr grossen Zahl von Betonwürfeln verschiedenen Alters berichtet werden. Dabei ist hervorzuheben, dass die über einen Zeitraum von mehr als zehn Jahren betrachteten Versuche durchwegs an Probekörpern einheitlicher Betonzusammensetzung vorgenommen wurden. Es handelt sich somit im Sinne der Statistik um eine *Grundgesamtheit* von Einzelproben, wie sie im Bauwesen eher selten über einen derart langen Zeitraum auf einen Kennwert hin geprüft werden.

Die Betondruckfestigkeit spielt allgemein im Massivbau, speziell aber in der Vorfabrikation vorgespannter Elemente nach wie vor eine zentrale Rolle; dies nicht zuletzt deshalb, weil sie normalerweise auch recht zutreffende Aussagen über andere wesentliche Qualitätsmerkmale des Betons, wie z.B. Biegezugfestigkeit, Elastizitäts- und Verformungsmodul zulässt. Andererseits stellen aber die Druckfestigkeit und die mit ihr in direktem Zusammenhang stehenden Eigenschaften nur eine, wenn auch äusserst wichtige Seite der Beurteilung von Beton für den konstruktiven Ingenieurbau dar.

Für die im Vorfabrikationswerk der Stahlton AG in Frick hergestellten statisch hochbeanspruchten Elemente wird der im folgenden näher betrachtete «Standardbeton» verwendet. Im werkeigenen Betonlabor werden eine ganze Reihe von Eigenschaften dieser und anderer Betonsorten laufend und systematisch überprüft. Im folgenden wird auf die Würfel-druckfestigkeit des «Standardbetons» näher eingegangen.

2. Standardbeton B

Gleichmässige und hohe Betonqualität erfordert sowohl grosse Sorgfalt aller an der Betonherstellung Beteiligten, wie auch ein objektives und frühzeitig wirksames Kontrollsystem. Wie schon in [2] des näheren ausgeführt, lässt sich die für die Betoneigenschaften fundamentale Grösse, der *Wasser-Zement-Faktor*, indirekt über die *Beton-Konsistenz* regeln, sofern die Änderungen der Komponenten der Betonmischung vernachlässigbar gering sind.

Durch die laufende Kontrolle eines speziell definierten Ausbreitmasses wird somit ein *Regelsystem* ermöglicht, das dank der zuverlässigen Beurteilung schon des Frischbetons erlaubt, auf den Herstellungsprozess zum praktisch frühestmöglichen Zeitpunkt einzuwirken (vgl. Bild 1).

Der normalerweise für vorgespannte Elemente der Stahlton AG verwendete und am intensivsten geprüfte Beton ist gemäss Norm SIA 162 [1] ein Spezialbeton und wird im folgenden als «Standardbeton B» bezeichnet. Er weist folgende Zu-

sammensetzung auf: Sand-Kies 0 bis 18 mm; Spezialzement HPC 400 kg/m³; Wasser-Zement-Faktor 0,4.

Diesem Standardbeton werden an 4 Tagen pro Woche insgesamt 8 Proben entnommen, daraus je 3 Probewürfel hergestellt (10×10×10 cm) und gleichzeitig das Ausbreitmass ermittelt. Die Grösse der Probewürfel von 10 cm Kantenlänge wurde aus praktischen Gründen gewählt, nachdem sich anhand von vergleichenden Versuchen bestätigte, dass kaum Festigkeitsunterschiede zu Würfeln mit der üblichen Kantenlänge von 20 cm bestehen, da das Grösstkorn nur 18 mm beträgt.

Die Ermittlung der Würfel-druckfestigkeiten wird nach folgendem Programm durchgeführt: 1/3 aller Würfel wird nach 28 Tagen geprüft, die verbleibenden Würfel werden zu gleichen Teilen nach je 2, 3 und 7 Tagen geprüft.

Bis zum Ausschalen nach 15 bis 20 Stunden werden alle Probewürfel in feuchtem Sand bei 18 °C gelagert. Danach verbleiben nur die Würfel für die 28-Tage-Prüfung in diesem Sand und somit unter streng normierten Bedingungen, während die übrigen Würfel auf einem Holzrost in der Fabrikationshalle gelagert werden.

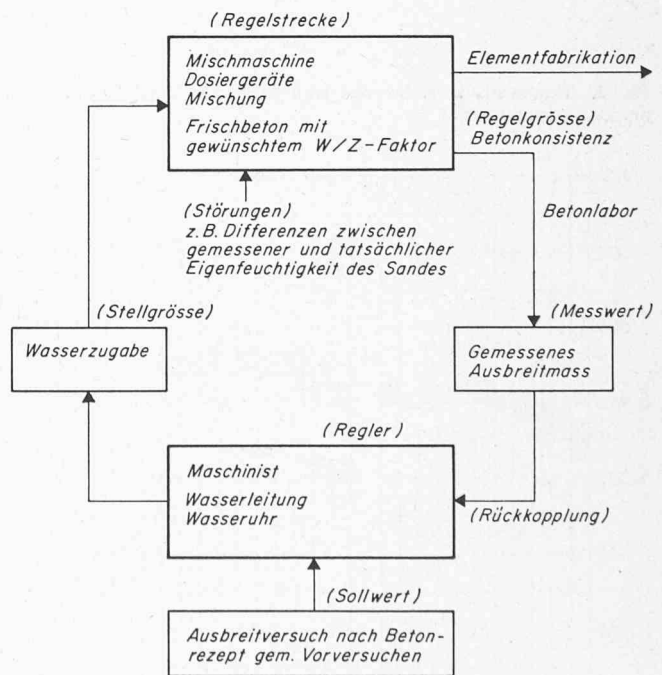


Bild 1. Regelkreis zur Steuerung von Wasser-Zement-Wert und Konsistenz

Auf diese Weise stellen die 28-Tage-Festigkeiten die Ausgangswerte zur Ermittlung der in der Norm SIA 162 definierten Nennfestigkeiten dar, wogegen die übrigen Prüfungen die Frühfestigkeiten wiedergeben, die denjenigen der im Herstellungsprozess befindlichen Betonelemente entsprechen.

3. Ergebnisse der statistischen Auswertung

Jahreswerte vom 1. Oktober 1972 bis 30. September 1973

In Bild 2 sind die Festigkeitswerte der einzelnen Jahre nebeneinandergestellt und geben so eine anschauliche Darstellung über den Verlauf der Jahreswerte. Es ist hier zu beachten, dass streng genommen nur die Werte der 28 Tage alten Prüfkörper als gleichwertig miteinander verglichen werden können, da sie allein, wie oben erwähnt, unter normierten Bedingungen gelagert werden.

Als wesentliches Resultat lässt sich feststellen, dass die normengemässen Nennfestigkeiten (Prüfalter 28 Tage) von Anfang an sicher und mit geringen Schwankungen erreicht wurden.

In gleicher Weise sind in Bild 3 die jährlichen Werte der Mahlfineinheit des Zementes dargestellt. Untersuchungen haben erwiesen, dass – gleiche mineralogische Beschaffenheit vorausgesetzt – die Mahlfineinheit eine jener Grössen ist, welche die Frühfestigkeit des Betons wesentlich mitbestimmen.

Histogramme und Normalverteilungen über 10 Jahre

Die Summe von 10 Jahren statistischer Betonprüfung kommt am konzentriertesten in Bild 4 zum Ausdruck, in welchem sämtliche in diesem Zeitraum durchgeführten Festigkeitsprüfungen als Häufigkeitsdiagramme aufgetragen wurden. Mit den daraus errechneten statistischen Werten wurden ausserdem die entsprechenden Kurven der Normalverteilungen eingezeichnet. Im einzelnen lassen sich aus diesen Darstellungen folgende interessanten Feststellungen herauslesen:

- Der Verlauf der Histogramme erweist die Annahme normalverteilter Einzelwerte als gerechtfertigt.
- Die bekannte Erscheinung, dass die Standardabweichung praktisch unabhängig vom Alter der Probekörper ist, hat sich auch über den Erfahrungszeitraum von 10 Jahren bestätigt. Die Standardabweichung der Nennfestigkeit von

37 kp/cm² kann als hervorragender Gesamtwert beurteilt werden (vgl. hierzu [4]).

- In den Kurven der Normalverteilung wurden neben den 16%-Fraktile auch die gelegentlich ebenfalls interessierenden Werte für die 1%- und 5%-Fraktile angegeben. Sie betragen für die 28 Tage alten Probekörper:

$$16\text{-Fraktile: } 614 - 1,00 \cdot 37 = 577 \text{ kp/cm}^2$$

$$5\text{-Fraktile: } 614 - 1,65 \cdot 37 = 553 \text{ kp/cm}^2$$

$$1\text{-Fraktile: } 614 - 2,33 \cdot 37 = 528 \text{ kp/cm}^2$$

- Der Vergleich mit den Vorschriften der Norm SIA 162 zeigt, dass einem Nennwert von 577 kp/cm² ein erlaubter Mindestwert von 490 kp/cm² bzw. 85% von 577 kp/cm² entspricht. Bei grosser Probenzahl darf dieser Mindestwert bei 1 bis 2% der Proben unterschritten werden. Das heisst, da insgesamt 1654 Proben vorliegen, dass bei 16 bis 32 Proben der Wert von 490 kp/cm² unterschritten werden dürfte. Der tiefste beobachtete Einzelwert liegt jedoch mit 492 kp/cm² noch oberhalb dieses Minimums.
- Wie Schneider in [3] ausführt, spielt die Standardabweichung eine wesentliche Rolle bei Sicherheitsüberlegungen. Der dort verwendete Begriff des als sicher bezeichneten unteren Grenzwertes des Widerstandes ist unter anderem von Standardabweichung und Mittelwert abhängig. Da die Betonfestigkeit an diesem Widerstand häufig entscheidend beteiligt ist, kommt auch dem unteren Grenzwert der Betonfestigkeit

$$\beta' = \beta_m - 3 s_\beta$$

eine wesentliche Bedeutung zu, wobei β_m den Mittelwert und s_β die Standardabweichung bezeichnet.

Mit dem vorliegenden Erfahrungsmaterial ergibt sich als unterer Grenzwert nach 28 Tagen

$$\beta' = 614 - 3 \cdot 37 = 503 \text{ kp/cm}^2,$$

ein Wert, der unter Berücksichtigung der ihm zugeschriebenen Auftretenshäufigkeit mit den tiefsten gemessenen Einzelwerten gut übereinstimmt.

Da mit obenstehendem Ansatz der Mittelwert

$$\beta_m = \beta' + 3 s_\beta$$

Bild 2. Festigkeitswerte der einzelnen Jahre des Standardbetons B (1968 z. B. bedeutet: 1. Oktober 1967 bis 30. September 1968)

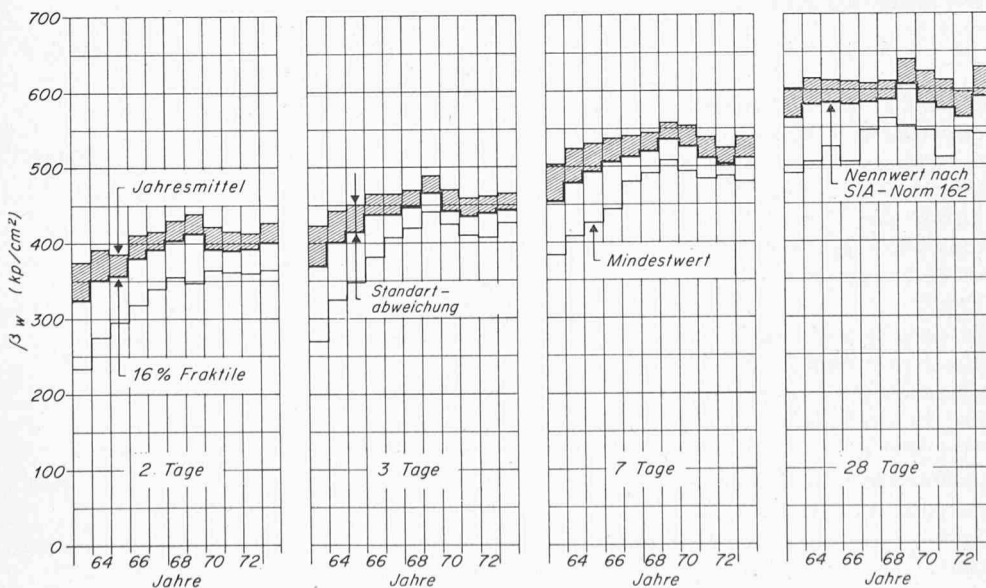


Bild 3. Jahreswerte der Mahlfineinheit des Zementes. Spezifische Oberfläche nach Blaine. 1 Mittelwert, 2 16% Fraktile, 3 minimaler Wert

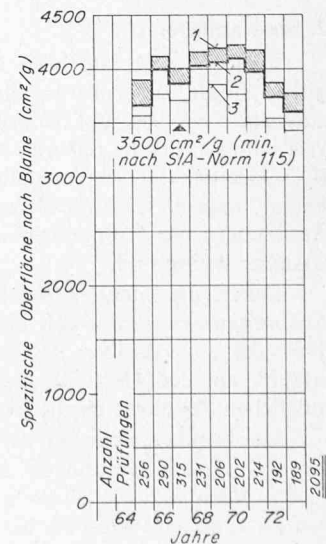
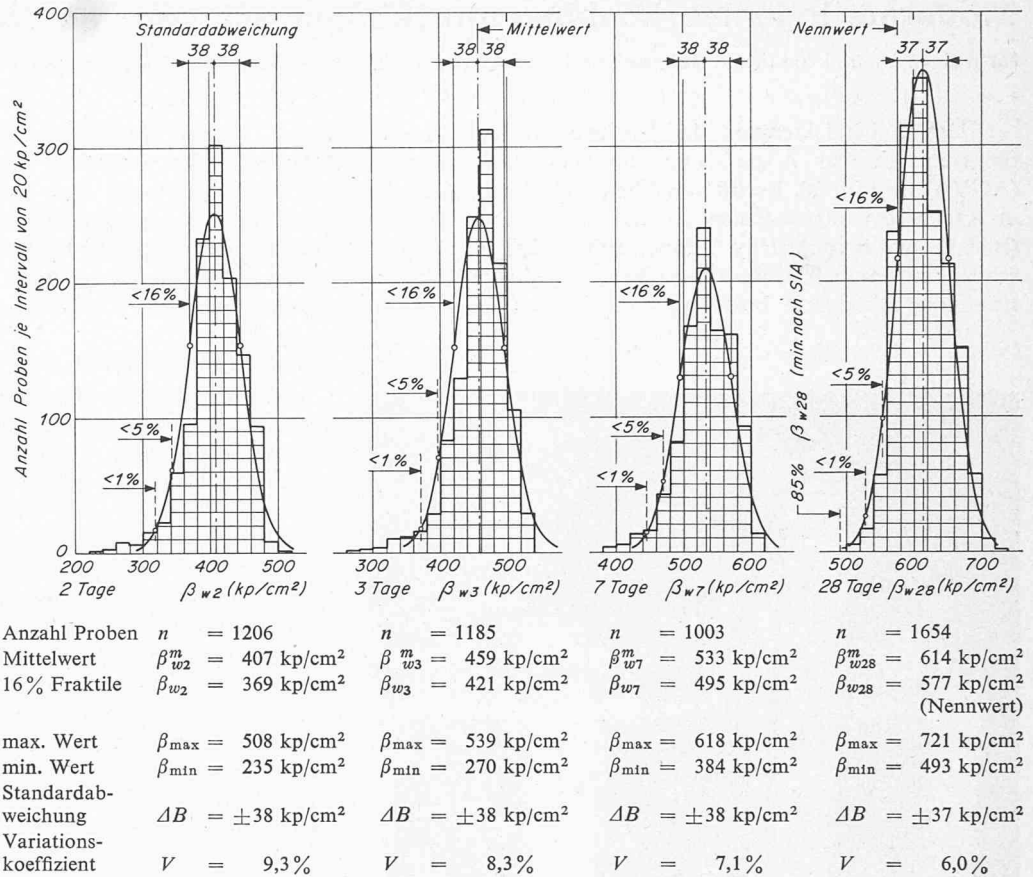


Bild 4. Histogramme und Normalverteilungen des Standardbetons B

Ergebnisse der statistischen Auswertungen aller Prüfungen vom 1. Oktober 1962 bis 30. September 1972



ist, zeigt sich das grosse Gewicht der Standardabweichung für jenes «Vorhaltemass», das für die Gewährleistung eines bestimmten unteren Grenzwertes erforderlich ist. Aus dieser Perspektive erhalten die aus systematischer Qualitätskontrolle resultierenden geringen Streuungen ihre technische und wirtschaftliche Rechtfertigung.

Da die heute gültige Norm SIA 162 Nennwerte der Würfeldruckfestigkeit über 550 kp/cm² nicht auszunutzen gestattet, liegt der erreichte 10-Jahres-Nennwert von 577 kp/cm² auch vom wirtschaftlichen Standpunkt aus recht nahe beim Optimum.

Zeitliche Zunahme der Würfeldruckfestigkeiten

In der Vorfabrikation entscheiden hohe Frühfestigkeiten über die Produktionskapazität, da davon die Frist bis zum Aufbringen der Vorspannkraft oder die Ausschallfrist direkt bestimmt wird. Bild 5 gibt wiederum die entsprechenden 10-Jahreswerte an, wobei beobachtet werden kann, dass die Frühfestigkeit nach 3 Tagen erheblich über dem Richtwert der Norm SIA 162, Art. 9.16 liegt.

4. Schlussbemerkung

Das Beispiel der über einen längeren Zeitraum systematisch geprüften und statistisch ausgewerteten Würfeldruckfestigkeit des Standardbetons B der Stahlton AG zeigt, dass es gelingt, die Festigkeitseigenschaften eines unter kontrollierten Bedingungen hergestellten Spezialbetons mit geringer Streuung auf bemerkenswert hohem Niveau zu halten. Voraussetzungen dazu sind, neben der Konstanz der Qualität der Rohmaterialien, eine unermüdliche Kontrolle des für die Herstellung dieses Betons eingesetzten Personals und der maschinellen Einrichtungen sowie ein lückenloses und von qualifiziertem Fachpersonal überwachtes und durchgeführtes Prüfsystem.

Literaturverzeichnis

- [1] Norm SIA 162 (Ausgabe 1968). Norm für die Berechnung, Konstruktion und Ausführung von Bauwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton.
- [2] Leeb D. und Liechi O.: Die Qualitätskontrolle von Beton im Vorfabrikationswerk, «Schweizerische Bauzeitung» 87 (1969), H. 44, S. 869-874.
- [3] J. Schneider: Grundlegende Bemerkungen zur Sicherheit. «Schweizerische Bauzeitung» 92 (1974), Heft 49, S. 1073.
- [4] Beziehung Nennwert - mittlere Würfeldruckfestigkeit. Cementbulletin November 1974, Nr. 11, 92 (1974), H. 49, S. 1073-1077.

Adresse der Verfasser: Kurt Stamm und Georges Zenobi, dipl. Bauingenieure, Stahlton AG, Riesbachstrasse 57, 8034 Zürich.

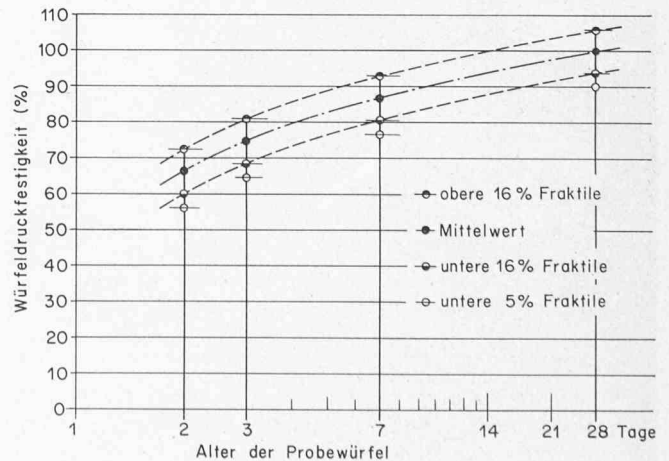


Bild 5. Festigkeitsentwicklung des Standardbetons B. Ergebnisse der 10-Jahres-Statistik