Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt

Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine

Band: 107 (1989)

Heft: 3

Artikel: Feststellung der Zementqualität mittels Normmörtel- oder Standardbetonprüfung

Autor: Schrämli, W. / Wolter, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-77029

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 24.08.2025

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

Feststellung der Zementqualität mittels Normmörtel- oder Standardbetonprüfung

In einer gemeinsam ausgeführten Untersuchung sind der Verband Schweizerischer Transportbetonwerke (VSTB) und der Verein Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten (VSZKGF) der Frage nachgegangen, wie sich die Normmörtel-Festigkeitsprüfung einerseits und die Standardbeton-Festigkeitsprüfung andererseits zur Charakterisierung der Qualität des verwendeten Zementes eignen. Im folgenden Beitrag werden das Vorgehen und die Ergebnisse dieser Untersuchungen erläutert.

VON W. SCHRÄMLI, HOLDERBANK UND H. WOLTER, WILDEGG

Von der Normmörtelfestigkeitsprüfung ist hinlänglich bekannt, dass ihre bemerkenswerte Reproduzierbarkeit die statistisch gesicherte Erfassung selbst kleiner Zementfestigkeitsschwankungen erlaubt. Hingegen ist umstritten, ob sie auch gestattet, den Einfluss solch kleiner Zementfestigkeitsschwankungen auf die Werkbetonfestigkeit aufzuzeigen. Dies wird eher von der Standardbetonprüfung erwartet, deren Reproduzierbarkeit jedoch – wenn die Prüfkörper praxisnahe, unter Einhaltung einer stets gleichen Konsistenz hergestellt werden – nicht ausreichend sein könnte, um zuverlässig kleine Zementfestigkeitsschwankungen erkennen zu können.

Eine umfangreiche experimentelle Untersuchung, an der 8 Laboratorien teilgenommen haben, hat die vermutete, ungenügende Reproduzierbarkeit der Standardbetonprüfung bestätigt, ist doch der Variationskoeffizient der Resultate der Standardbetonprüfung etwa 2–4 mal höher als der Variationskoeffizient der Normmörtelprüfung.

In einer weiteren experimentellen Studie in 2 parallelen Versuchsabläufen wurde untersucht, wie weit die Ergebnisse der Normmörtelprüfung einerseits und diejenigen der Standardbetonprüfung andererseits, mit den Ergebnissen der entsprechenden Werkbetonprüfung korrelieren. Eine statistisch gesicherte Korrelation konnte nachgewiesen werden, indessen ist sie so niedrig, dass sie weder im einen noch im anderen Fall für in der Praxis nützliche Aussagen dienen kann. Der niedrige Korrelationsgrad ist zum Teil bedingt durch die geringe Schwankungsbreite der Zementqualität, mehr noch aber durch die unzureichende Reproduzierbarkeit der angewendeten Festigkeitsprüfungen.

Definitionen:

Normmörtel:
Nach der SIA-Norm 215 – also mit einem konstanten Wasser/Zement-Wert – unter Verwendung eines granulometrisch konstanten Normsandes hergestellter Zementmörtel.

Standardbeton:
Nach festem Rezept, mit stets gleicher Konsistenz und unter Verwendung eines stets gleichen Zuschlags von bestimmter Granulometrie und stofflicher Zusammensetzung im Laboratorium hergestellter Beton.

Werkbeton:
Nach festem Rezept, mit stets gleicher Konsistenz und häufig hergestellter Beton aus der laufenden Produktion eines Transportbetonwerkes.

Einleitung

Erfahrungsgemäss schwankt die 28-Tage-Würfeldruckfestigkeit, wie sie routinemässig anhand von Prüfkörpern im Transportbetonwerk festgestellt wird, in einem nicht unbeträchtlichen Ausmass. Teilweise ist dies auf die Prüfstreuung zurückzuführen. Darüber hinaus wird aber vermutet, dass Schwankungen in der Zement- und Zuschlagstoffqualität, wie auch unvermeidbare Mängel im Dosier- und Mischprozess sowie die ungleichmässige Verdichtung des Betons zu diesen Schwankungen beitragen.

Landläufig wird die Zementqualität anhand der Resultate der Druckfestigkeitsprüfungen von Normmörtel nach 2 und 28 Tagen beurteilt. Hierzu dient eine in der SIA-Norm 215 (1) enthaltene Vorschrift zur Bestimmung der Druckfestigkeit von Zementnormmörtel. Daneben haben die in der gleichen Norm verlangten Prüfungen auf chemische Reinheit, Abbindebeginn sowie Raumbeständigkeit nach *Le Châtelier* die Einhaltung anderer betontechnologisch wichtiger Eigenschaften nachzuweisen. Die Druckfestigkeitsprüfungen lassen schon geringe Qualitätsschwankungen erkennen. Ob ihre Ergebnisse sich auch dazu eignen, allfällige Auswirkungen einer Qualitätsänderung des Zementes auf die Festigkeit des daraus hergestellten Betons abzuschätzen, ist hingegen umstritten. Zwar lässt sich bei grossem Probenumfang und grossen Änderungen der Zementqualität eine Korrelation mit der Betonfestigkeit nachweisen; bei kleiner Probenanzahl und bei kleinen Qualitätsschwankungen wird die aus der vermuteten Korrelation abgeleitete Aussage jedoch zu unsicher, um in der Praxis noch gebraucht werden zu können. Gründe für diese nur lose Korrelation werden einerseits in den beträchlichen Prüfstreuungen, sowohl der Normmörtel- wie insbesondere der Betonfestigkeitsprüfung gesehen, andererseits aber im Umstand, dass die Normmörtelprüfkörper mit konstantem Wasser/Zement Wert zubereitet werden, während bei der Betonprüfung die – schlecht reproduzierbare – Konsistenz möglichst konstant gehalten werden muss, um einen wirklichkeitsnahen Vergleich zu erlauben.

Während in den meisten Ländern die Zementqualität bezüglich Festigkeitsentwicklung ausschliesslich anhand von Normmörtelprüfungen beurteilt wird, gibt es doch einige wenige Länder, die dem Zementverbraucher die Möglichkeit offen lassen, sich mittels einer Prüfung des Zements am Standardbeton über die Zementqualität zu orientieren. Da die Erfahrungen mit beiden Möglichkeiten wegen andersgearteter Voraussetzungen in den verschiedenen Ländern wenig schlüssig erscheinen, und auch die Literatur keine eindeutigen Aussagen über die Vor- und Nachteile der zwei Methoden enthält, haben sich der Verband Schweizerischer Transportbetonwerke (VSTB) und der Verein Schweizerischer Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten (VSZKGF) entschlossen, in einem gemeinsam konzipierten Rundversuch verschiedener Betonlaboratorien Klarheit über Wert oder Unwert der beiden Prüfverfahren zu schaffen.

Ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung eines Prüfverfahrens ist seine Reproduzierbarkeit. Bei beiden vorgeschlagenen Verfahren umfasst dies die Reproduzierbarkeit der Herstellung des

Normmörtels resp. der Betonmischung, die Herstellung der Prüfkörper, deren Lagerung und schliesslich die eigentliche Prüfung auf Druckfestigkeit in einer Prüfmaschine.

Über die Reproduzierbarkeit der Normmörtelfestigkeitsprüfung existieren aus Untersuchungen des VSZKGF genügende Erfahrungen. Durch den Variationskoeffizienten ausgedrückt, liegt die Reproduzierbarkeit der 28-Tage-Normmörteldruckfestigkeit im Bereich von 1-1,5%. Sie liegt damit in einem ähnlichen Bereich wie die Reproduzierbarkeit der im europäischen Ausland vorwiegend verwendeten Prüfmethode nach ISO-RILEM-Cembureau. Über die Reproduzierbarkeit der Betonprüfung haben sich hingegen keine ausreichenden Angaben vorfinden lassen.

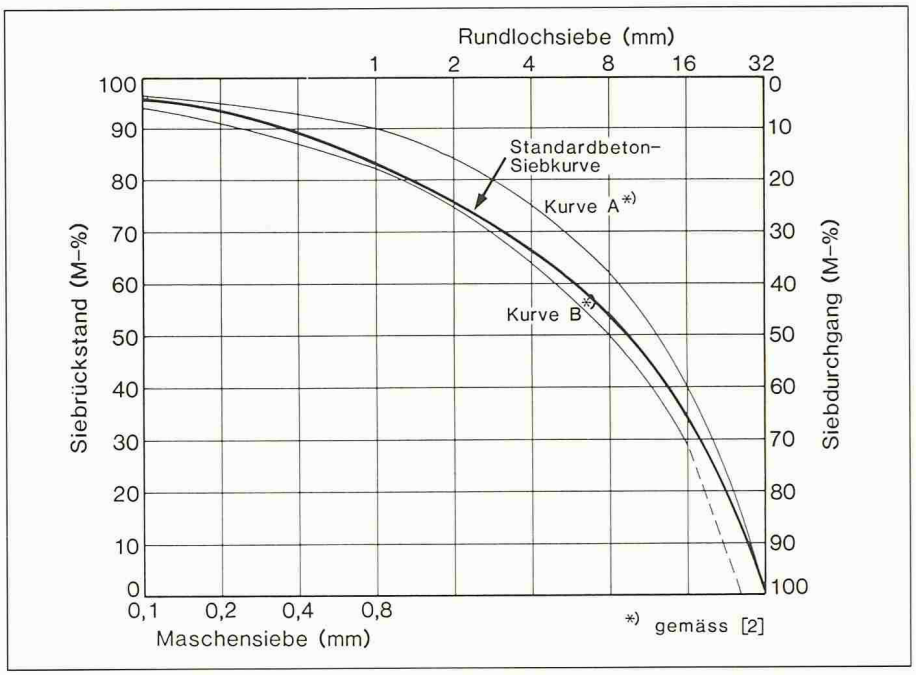

Bild 1. Siebkurve der Zuschlagstoffe des Standardbetons

1. Versuchsserie: Reproduzierbarkeitsprüfung an Standardbeton

Um möglichst für die schweizerische Transportbetonproduktion repräsentative Resultate zu bekommen, wurde der Standardbeton so definiert, dass seine Eigenschaften dem durchschnittlich in der Schweiz hergestellten Beton entsprechen.

Die Versuchsbedingungen waren demzufolge:

- ein Gehalt an 300 kg normalem Portlandzement (PC) pro m³ verdichteten Betons. Die Eigenschaftskonstanz des PC während der ganzen Versuchsdauer wurde durch geeignete Lagerung und periodische Kontrolle gewährleistet
- eine Zuschlagstoff-Granulometrie entsprechend der in Bild 1 festgehaltenen Siebkurve
- eine Konsistenz entsprechend einem Verdichtungsmass nach Walz von 1,14 +/- 0,02
- Würfel als Prüfkörper mit den Dimensionen 20 cm × 20 cm × 20 cm
- Zuerst Lagerung der Prüfkörper bei hoher Luftfeuchtigkeit und einer Temperatur von 15-20° C, Entschalung nach einem Tag und hierauf Lagerung unter Wasser von einer Temperatur von 18-22° C bis 7 Tage vor der Festigkeitsprüfung, hernach Lagerung bis zum lufttrockenen Zustand
- Herstellung von 40 Prüfmischungen, aus denen je zwei bis drei Prüfkörper hergestellt werden, möglichst gleichmässig über drei Monate verteilt. Die lange Versuchsdauer soll dem Umstand Rechnung tragen, dass die über einen längeren Zeitraum verfolgte Reproduzierbarkeit meist um einiges geringer ist als die kurzzeitige.

Acht Laboratorien aus der Transportbetonindustrie, der Betonzusatzmittelindustrie und der Zementindustrie erklärten sich bereit, am Rundversuch teilzunehmen.

Die hier nicht erwähnten Details der Prüfung wurden weitgehend in Anlehnung an die Richtlinie 4 «Festigkeitsprüfung an Betonprobekörpern» der SIA-Norm 162 [2] oder, soweit solche fehlten, gemäss Richtlinien des VSTB [3] festgelegt. Dennoch hat sich bei der Durchführung des Versuchsprogrammes gezeigt, dass dadurch nicht alle Details erfasst worden sind. Insbesondere bestanden hinsichtlich der verwendeten Mischertypen, wie auch der Probelagerungseinrichtungen gewisse Unterschiede zwischen den einzelnen Laboratorien. Deshalb hat der Versuch nicht die unter besten Bedingungen erreichbare Reproduzierbarkeit aufzeigen können. Andererseits ist es ohnehin unrealistisch, eine vollkommene Gleichheit der Laboratorien bezüglich Einrichtungen und Vorgehen bei der Betonprüfung erreichen zu wollen, so dass das beim Versuch erzielte Ergebnis die Reproduzierbarkeit darstellt, wie sie in der Praxis erreichbar ist.

Die Ergebnisse des Reproduzierbarkeitsversuchs der 28-Tage-Würfeldruck-

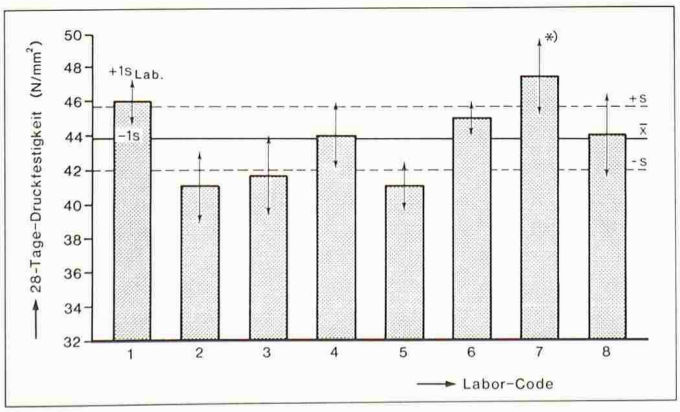

Bild 2. Durchschnittliche Standardbetonfestigkeiten mit Streuungen nach 28 Tagen von je 40 Mischungen; Pfeile = Standardabweichung des betreffenden Labors

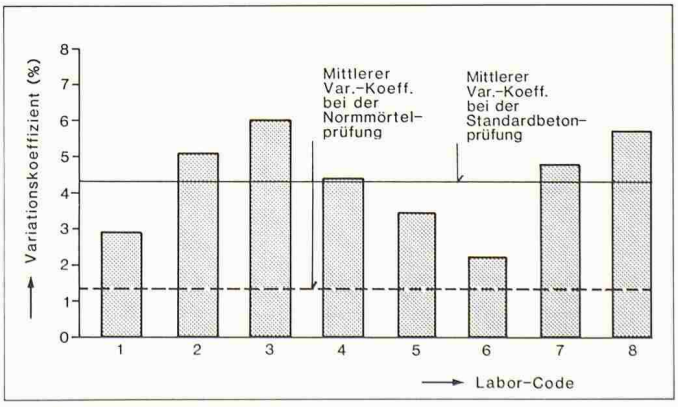

Bild 3. Variationskoeffizienten der Standardbetonfestigkeit nach 28 Tagen von je 40 Mischungen

Anzahl teilnehmender Labors	8
Anzahl der Versuche sämtlicher Labors	320
Gesamtmittelwert (N/mm²)	43,8
Gesamtstandardabweichung (N/mm²)	2,9
Gesamtvariationskoeffizient (%)	6,7
Allerkleinster Wert (N/mm²)	34,0
Allergrösster Wert (N/mm²)	52,9

Tabelle 1. Standardbeton – Ergebnisse des Reproduzierbarkeitsversuches

Laborcode	*Standard-abweichung s* (N/mm²)	*Streuungsanteil «zwischen» den Mischungen* (%)	*Streuungsanteil «zwischen» den Prüfkörpern* (%)	*Residual-Streuung* (%)
1	1,5	83,0	12,5	4,5
6	1,1	81,1	14,9	4,0
7	2,5	85,6	10,3	4,1
8	2,7	88,0	7,3	4,7

Tabelle 2. Streuungszerlegung der Standardbeton-Druckfestigkeit – Extremfälle

festigkeit sind in Tabelle 1 enthalten und in Bild 2 grafisch dargestellt. Die Häufigkeitsverteilung sämtlicher Resultate aller Laboratorien genügt der Hypothese, dass es sich um eine Normalverteilung handelt. Die von den einzelnen Laboratorien bestimmten Durchschnitte der Druckfestigkeit weichen voneinander erheblich ab. In etlichen Fällen ist der Unterschied statistisch signifikant, was bedeutet, dass nicht nur zufällige, sondern systematische Abweichungen zwischen den Laboratorien existieren. Werden die systematischen Abweichungen ermittelt, z.B. durch eine «Eichung» des betreffenden Laboratoriums an einem Referenzlaboratorium, lässt sich die Aussagekraft der Resultate erheblich verbessern. Werden die Variationskoeffizienten der Standardbetonprüfung denjenigen der Normmörtelprüfung gegenübergestellt, wie dies in Bild 3 erfolgt ist, so erkennt man, dass die Variationskoeffizienten der Normmörtelprüfung erheblich niedriger sind. Demzufolge lässt die Normmörtelprüfung eine präzisere Erfassung von Schwankungen der Zementfestigkeit zu, als dies mittels der Standardbetonprüfung der Fall sein könnte.

Die Ergebnisse ändern wenig, wenn Durchschnitte und Standardabweichungen der einzelnen Laboratorien, statt aus dem Durchschnitt der Resultate von zwei bis drei Prüfkörpern aus der gleichen Mischung, auf der Basis der individuellen Resultate von jedem einzelnen Prüfkörper berechnet werden. Auch die Anzahl der pro Betonmischung hergestellten Prüfkörper, ob zwei oder drei, hat praktisch keine Auswirkungen auf die Ergebnisse.

Mittels Streuungszerlegung wurden die *Quellen der Streuung* ermittelt. Die Ergebnisse dieser Zerlegung – es wurden nur die Laboratorien mit kleinsten, resp. grössten Streuungen untersucht – sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Es geht daraus hervor, dass weitaus der grösste Streuungsanteil von der Herstellung der Betonmischungen herrührt. Der von der Herstellung der Prüfkörper und der eigentlichen Druckfestigkeitsprüfung herrührende Streuungsanteil ist klein, ebenso die Residualstreuung.

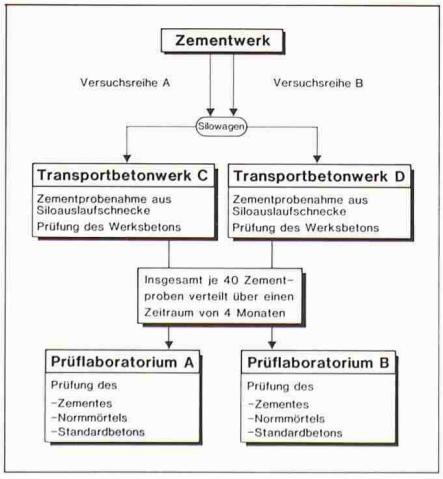

Bild 4. Versuchsablauf zur Standard- und Werkbeton- sowie Zementprüfung

2. Versuchsserie: Korrelation zwischen Normmörtelfestigkeit bzw. Standardbetonfestigkeit und der Werkbetonfestigkeit

Zweck einer weiteren Versuchsserie war, die im Zementherstellungsprozess unvermeidlicherweise auftretenden, geringen Schwankungen der Qualität des erzeugten Zementes sowohl mit der Normmörtelfestigkeitsprüfung als auch der Standardbetonfestigkeitsprüfung aufzuzeigen, und der Festigkeit des aus diesem Zement hergestellten Werkbetons gegenüberzustellen. Probenahmeorte und Versuchsablauf sind aus Bild 4 ersichtlich.

Der *Standardbeton* hatte dabei die gleiche Zusammensetzung wie beim Reproduzierbarkeitsversuch, abgesehen vom Zement, der aus den im Betonwerk laufend entnommenen Zementproben immer gleicher Herkunft stammte. Damit darf die in der ersten Versuchsserie ermittelte Reproduzierbarkeit der Festigkeitsprüfung auch diesen Untersuchungen zugrunde gelegt werden.

Um die Untersuchung sinnvoll zu gestalten, hatte sich der in die Analyse einbezogene *Werkbeton* auf solchen zu beschränken, der immer nach dem gleichen Rezept hergestellt und auch sehr häufig produziert wird, mithin also ein Standardprodukt darstellt. Seine Charakteristiken sind denen des Standardbetons nicht nur hinsichtlich Festigkeitsentwicklung und Konsistenz, sondern auch hinsichtlich Reproduzierbarkeit sehr ähnlich.

Die Versuchsdurchführung in *zwei parallelen Versuchsreihen* ermöglicht eine gewisse Auskunft zur Frage, ob die Arbeitsweise der am Versuch beteiligten Transportbetonwerke und Laboratorien sich auf die Ergebnisse, vor allem auf die Güte der Korrelation, auswirkt oder nicht.

In Tabelle 3 ist die Gesamtstreuung der in den beiden Versuchsreihen (Laboratorien A und B) bestimmten 28-Tage-Druckfestigkeit, sowohl des Normmörtels als auch des Standardbetons, ausgedrückt durch den Variationskoeffizienten der Resultatestreuung, festgehalten. Wie erwartet, liegt der Variationskoeffizient der Standardbetonprüfung 2- bis 3mal höher als der der Normmörtelprüfung.

Die Gesamtstreuung s^2 setzt sich aus der *Prüfstreuung* s_P^2 und der *Zementqualitätsstreuung* s_Q^2 zusammen. Mittels der Gleichung

$$s^2 = s_P^2 + s_Q^2$$

lässt sich eine Schätzung der Zementqualitätsstreuung vornehmen, unter der berechtigt erscheinenden Voraussetzung, dass die Prüfstreuungen sowohl der Normmörtel- wie auch der Standardbetonprüfung von der ersten Versuchsreihe her bekannt sind. Die Resultate sind in Tabelle 4 festgehalten. Aus ihr geht hervor, dass die Prüfstreuung der Normmörtelprüfung wesentlich geringer ist als die Gesamtstreuung, dass sich somit eine einigermassen ausreichende Schätzung der Zementqualitätsstreuung angeben lässt. Nicht so bei der Standardbetonprüfung. Hier ist die Prüfstreuung ungefähr von glei-

Laboratorium	Normmörtel (%)	Standardbeton (%)
A	2,6	7,0
B	3,2	5,7

Tabelle 3. Gesamtstreuung der 28-Tage-Normmörtel- und Standardbetonfestigkeit, charakterisiert durch Variationskoeffizienten

	s (N/mm²)	s_P (N/mm²)	s_Q (N/mm²)	v_Q [1] (%)
Normmörtelfestigkeit				
- nach 2 Tagen				
Laboratorium A	1,4	0,8	1,2	2,8
Laboratorium B	1,6	0,7	1,4	3,3
- nach 28 Tagen				
Laboratorium A	1,6	0,9	1,3	2,2
Laboratorium B	1,9	0,7	1,8	3,0
Standardbetonfestigkeit				
- nach 28 Tagen				
Laboratorium A	3,1	2,3 [2]	2,0	4,8
Laboratorium B	2,7	2,5	1,0	2,4

[1] V_Q = Qualitätsvariationskoeffizient
[2] Der Versuchsablauf lässt vermuten, dass die angegebene Prüfstreuung fälschlicherweise zu niedrig ist.

Tabelle 4. Schätzung der Zementqualitätsstreuung

cher Grösse wie die Gesamtstreuung, so dass die gemäss der angegebenen Gleichung berechnete Qualitätsstreuung in ihrer Grösse rein zufällig ist, und damit die Gleichmässigkeit der Zementqualität nicht charakterisieren kann.

Die Resultate der parallel an Normmörtel, Standardbeton und Werkbeton vorgenommenen Festigkeitsprüfungen sind grafisch in den Bildern 5 und 6 festgehalten. Sie wurden mittels statistischer Methoden auf allfällige zeitliche Trends untersucht, ohne dass sich solche schlüssig nachweisen liessen. Man darf somit die festgestellten Schwankungen als zufällig betrachten. In den Ergebnissen der beiden Laboratorien lassen sich kaum Parallelitäten erkennen, was darauf hinzudeuten scheint, dass deren Arbeitsweise die Ergebnisse in gleichem Ausmass beeinflusst, wie die Schwankungen der Zementqualität. Demgegenüber scheinen sich in manchen Fällen Normmörtel-, Standardbeton- und Werkbetonfestigkeit in gleicher Richtung zu bewegen, und damit eine gewisse Korrelation aufzuzeigen, doch gibt es auch etliche Fälle, in denen gerade gegenläufige Bewegungen erfolgen. Ein objektives Urteil über den Grad der Korrelation erlaubt nur die statistische Untersuchung der Ergebnisse. So ergab die Berechnung der linearen, einfachen Korrelation und Regression zwischen

Normmörtel-/Werkbetonfestigkeit
Standardbeton-/Werkbetonfestigkeit
Normmörtel-/Standardbetonfestigkeit

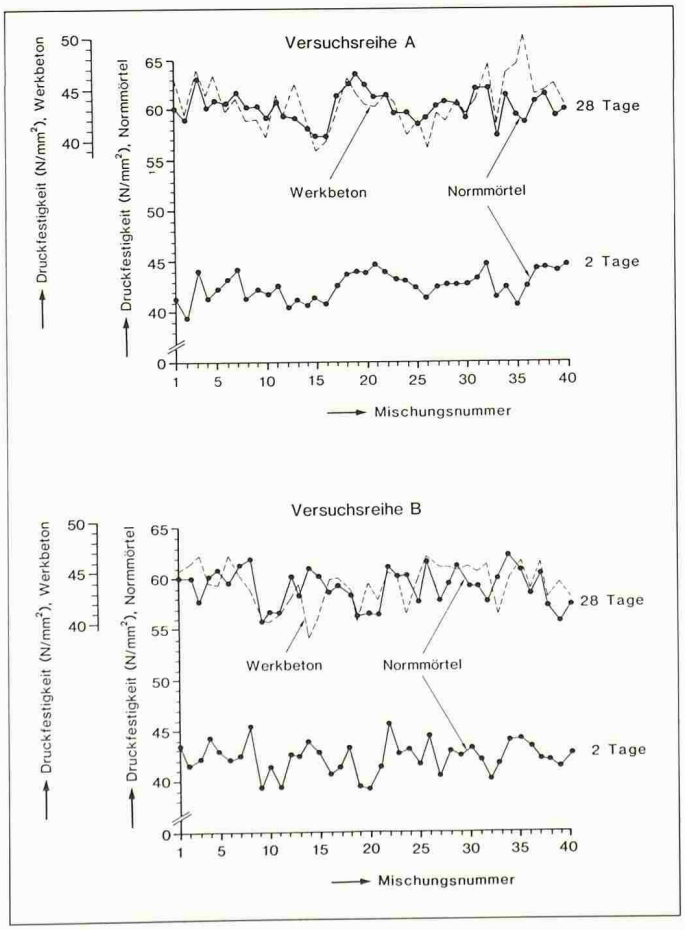

Bild 5. Vergleichende Gegenüberstellung: Druckfestigkeit Normmörtel-Werkbeton

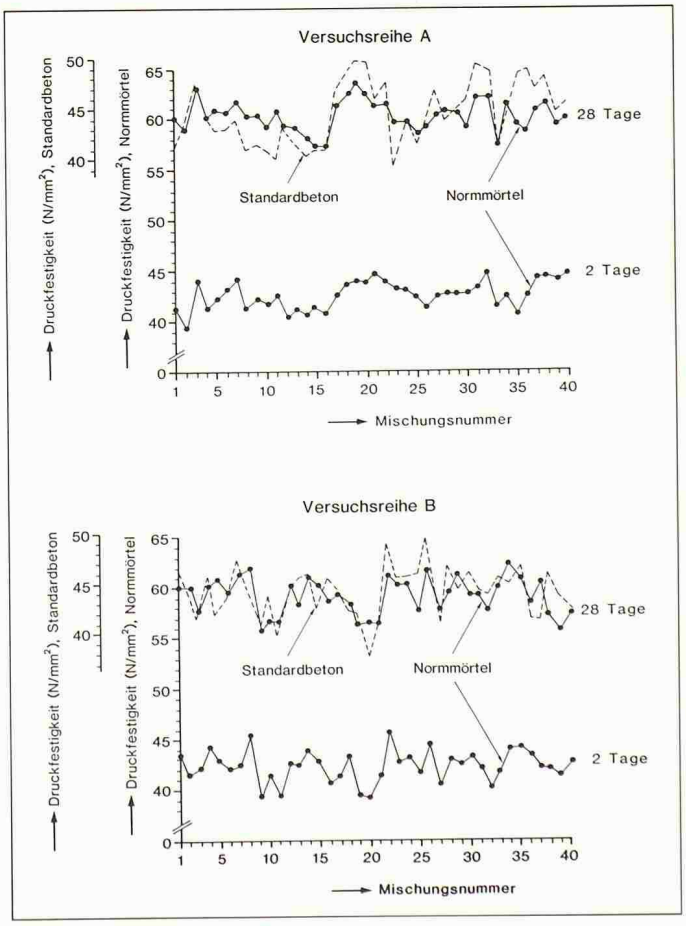

Bild 6. Vergleichende Gegenüberstellung: Druckfestigkeit Normmörtel-Standardbeton

Korrelierte Grössen	Versuchs-Reihe	Korrelationskoeffizient	Signifikanz-Niveau der Korrelation %	Bestimmtheitsmass %	Regressionsgleichung	Standardabweichung um Regressionsgerade (N/mm²)
Normmörtel/ Werkbeton	A	0,43	99,5	18,6	Y = 2,57 + 0,68 ×	2,23
	B	0,28	91,8	7,7	Y = 25,59 + 0,31 ×	2,03
Standardbeton/ Werkbeton	A	0,54	99,97	29,0	Y = 24,91 + 0,42 ×	2,1
	B	0,22	82,5	4,8	Y = 35,59 + 0,18 ×	2,06
Normmörtel/ Standardbeton	A	0,63	99,99	40,0	Y = −32,17 + 1,26 ×	2,43
	B	0,56	99,98	30,9	Y = 0,83 + 0,73 ×	2,1

Tabelle 5. Korrelation und Regression zwischen Normmörtel-, Standardbeton- und Werkbetonfestigkeit

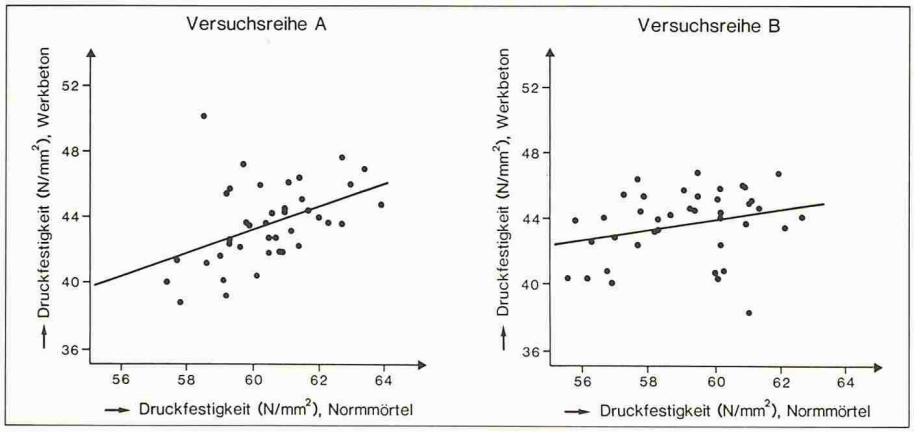

Bild 7. Korrelation der Druckfestigkeiten Normmörtel-Werkbeton

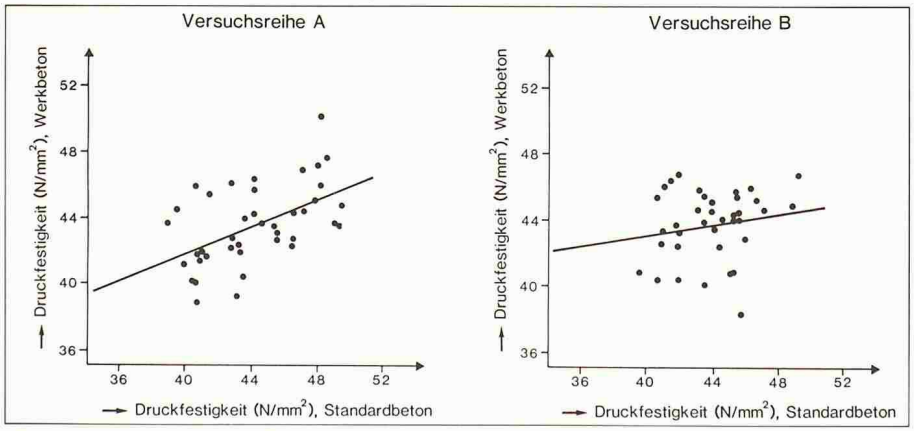

Bild 8. Korrelation der Druckfestigkeiten Standardbeton-Werkbeton

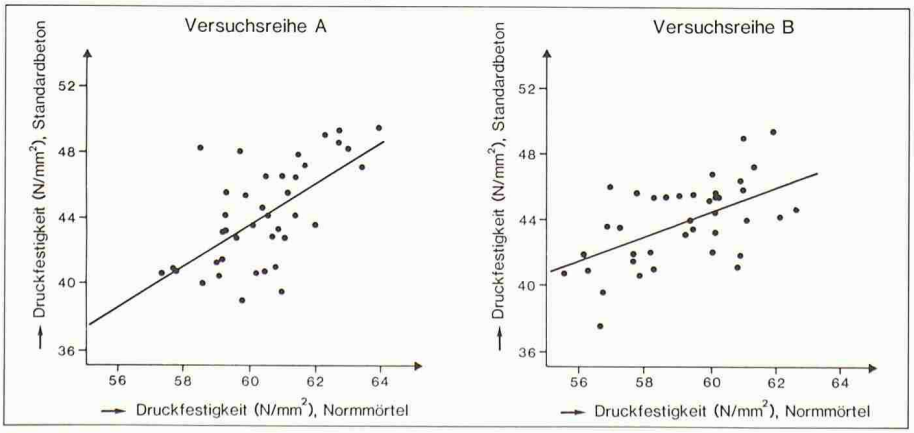

Bild 9. Korrelation der Druckfestigkeiten Normmörtel-Standardbeton

die in Tabelle 5 festgehaltenen Resultate. Die Ergebnisse werden in den Bildern 7 bis 9 veranschaulicht. Die Korrelation zwischen den drei Grössenpaaren ist ziemlich mager, insbesondere diejenige mit der Werkbetonfestigkeit. Demzufolge ist auch das Bestimmtheitsmass, welches angibt, wieviel von der Änderung der abhängigen Variablen durch eine Änderung der unabhängigen Variablen erklärt werden kann, im allgemeinen sehr niedrig. Aus der Anschauung der Bilder 7 bis 9 geht hervor, *dass es nicht möglich ist, auf der Basis eines einzelnen Resultates einer Normmörtelprüfgung die zu erwartende Festigkeit des Werkbetons mit einer für die Bedürfnisse der Praxis ausreichenden Genauigkeit vorherzusagen. Das Gleiche gilt für die Absicht, Ergebnisse der Standardbetonprüfung zur Vorhersage der Werkbetonfestigkeit zu benützen.* Es wäre noch zu untersuchen, wie weit durch Durchschnittsbildung eine solche Voraussage verbessert werden könnte.

Bei einem Vergleich der Resultate der Versuchsreihe A (Labor A) mit denen der Reihe B (Labor B) fällt auf, dass die Lage der Regressionsgeraden sich ziemlich unterscheidet. Es bestehen dafür kaum offensichtliche Gründe. Man muss deshalb annehmen, dass dies einerseits von der Art und Weise herrührt, wie jedes Laboratorium die Festigkeitsbestimmung vornimmt, andererseits aber auch davon, wie die Laboratorien einander zugeordnet werden. Demzufolge ist die Lage der Regressionsgeraden nur gerade für die jeweilige Kombination von Laboratorien resp. Werken gültig, und ist nicht typisch für die Beziehung als solche. Darüber hinaus hat jedoch auch jede Regressionsgerade einer spezifischen Kombination eine etwas zufällige Lage. Dies erklärt sich daraus, dass der der Regressionsrechnung zugrunde gelegte Festigkeitsvariationsbereich sehr eng ist. An sich müsste nämlich die Lage der Regressionsgeraden, welche die Beziehung zwischen dem Standardbeton und dem Werkbeton beschreibt, ungefähr die Steigung 1 (45 Grad) haben, da sich diese beiden Betone in ihrer Zusammensetzung nur sehr wenig unterscheiden.

Folgerungen

Die Annahme, dass die Prüfung des Zements auf seine Festigkeitsentwicklung anhand der Prüfung eines Standardbetons eine bessere Aussage über den Einfluss des Zementes auf die Werkbetonfestigkeit erlaube als die Normmörtelprüfung, hat sich als unrichtig heraus-

gestellt. Sowohl die Normmörtelprüfergebnisse wie auch die Ergebnisse der Standardbetonprüfung korrelieren nur sehr lose mit den Ergebnissen der Werkbetonfestigkeitsprüfung. Dafür mögen die folgenden Gründe beitragen:

- die prüfungsbedingt geringe Reproduzierbarkeit der Standardbetonprüfung, wie sie sich in ihrem relativ hohen Variationskoeffizienten manifestiert
- die vermutlich geringe Reproduzierbarkeit der Werkbetonprüfung, die allerdings mit den vorliegenden Resultaten nicht beziffert werden kann, aber in ähnlichem Rahmen liegen dürfte wie die Reproduzierbarkeit der Standardbetonprüfung.
- der Umstand, dass, um praxisnah zu bleiben, die Verarbeitbarkeit (Konsistenz) des Betons – eine nur sehr ungenau zu reproduzierende Eigenschaft des Betons – festgehalten werden muss, während bei der Normmörtelprüfung der Wasser/Zement-Wert konstant gehalten werden kann.
- die relativ geringe Streuung der Zementfestigkeit während der gesamten Versuchsperiode. Sie ist von gleicher Grössenordnung wie die Prüfstreuung der Normmörtelprüfung, und sogar kleiner als die der Standardbetonprüfung. Würde die Zementfestigkeit stärker schwanken, so würde die Korrelation erheblich besser ausfallen, wie eine Untersuchung durch *S. Walker* und *D.L. Bloem* [4] in den USA, wobei die Zementfestigkeit entsprechend einem Variationskoeffizienten von 6–9% schwankte, gezeigt hat.

Der Erwähnung wert sind zwei weitere Ergebnisse dieser Studie:

- Zwischen den einzelnen Betonlaboratorien bestehen z.T. systematische Unterschiede in den Resultatedurchschnitten der Betondruckfestigkeit von gleichen Mischungen. Die Aussagekraft dieser Resultate kann erheblich verbessert werden, wenn die Grösse der systematischen Abweichung bestimmt wird, z.B. durch Eichung des betreffenden Laboratoriums an einem Referenzlaboratorium.
- es ist möglich, in einem Betonwerk bei Verwendung eines Standardrezepts einen Beton herzustellen, der sich nicht nur hinsichtlich seiner Festigkeitsentwicklung und seiner Konsistenz, sondern auch hinsichtlich der Reproduzierbarkeit dieser Eigenschaften kaum von dem im Laboratorium hergestellten Standardbeton unterscheidet.

Literatur

[1] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, SIA-Norm 215: Mineralische Bindemittel, 1978

[2] Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein, Technische Norm 162: Norm für die Berechnung, Konstruktion und Ausführung von Bauwerken aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton, 1968

[3] Verband Schweizerischer Transportbetonwerke (VSTB) Richtlinien Qualität und Technik, 1979

[4] *Walker S.* und *Bloem D.L.*, Variations in Portland cement. Proc ASTM 58, 1958, NRMCA Publ. Nr. 76

Adresse der Verfasser: Dr. *Werner Schrämli*, Vizedirektor, «Holderbank» Management und Beratung AG, Schachen, 5113 Holderbank, *H. Wolter*, Wildegg.

Beurteilung der Betonqualität – physikalische Methoden

Der folgende Beitrag definiert zuerst den Begriff der Qualität als Verhältnis zwischen Istwerten und Sollwerten der massgebenden Betoneigenschaften und untersucht anschliessend die wesentlichen Voraussetzungen, die für die Beurteilung der Betonqualität wichtig sind.

Einleitung, Begriffe

Es scheint zweckmässig zu sein, zuerst ein wenig beim Begriff «Qualität» zu verweilen, bevor auf die physikalischen

VON WERNER STUDER
DÜBENDORF

Methoden zur Beurteilung der Betonqualität eingegangen wird. Die Qualität ist ja zwar in aller Munde, doch haben wenige eine genaue Vorstellung davon, was darunter zu verstehen sei.

Für Qualität gibt es eine einprägsame englische Definition, die durch Juran [1] als die historische bezeichnet wird:

Qualität = fitness for use.

Wörtlich übersetzt würde das etwa heissen: «Eignung für den Gebrauch» oder, in einem Wort:

Qualität = Gebrauchstauglichkeit.

Nach dem Entwurf der SIA-Norm 160 [2] ist ein Bauwerk solange «gebrauchstauglich», als es ein «Verhalten zeigt, das innerhalb von vorgegebenen oder vereinbarten Grenzen liegt». Vergleicht man dies mit der Definition der «Schäden (= unzulässig grosse, ungünstige Abweichung vom Gewohnten, Vorgegebenen oder Vereinbarten)», so könnte man Gebrauchstauglichkeit mit Schadenfreiheit gleichsetzen, und damit würde die Beurteilung der Qualität sehr einfach:

keine Schäden = Qualität gut genug
Schäden = Qualität zu schlecht.

Überall dort, wo Rostspuren sichtbar sind oder wo der Beton über der Armierung infolge von Rostbildung abgesprengt wurde, wäre die Qualität des Betons als Korrosionsschutz offenbar ungenügend, an allen übrigen Stellen wäre sie gut. Insgesamt wäre die Betonqualität als gut zu beurteilen, wenn das Schadensausmass einen vorher festgelegten oder allgemein als zulässig geltenden Wert nicht übersteigt.

Eine solche Beurteilung genügt aber in den meisten Fällen nicht, da sie zwar Auskunft über das Verhältnis zwischen Beanspruchung und Widerstand bis zum Beobachtungszeitpunkt gibt, aber keine Prognose der zukünftigen Entwicklung zulässt. Dazu sind Messungen der massgebenden Eigenschaften notwendig. Die Höhe des Widerstandes muss bekannt sein. In diesem Sinn ist die Betonqualität zu definieren als Verhältnis zwischen Ist-Werten und Soll-Werten der massgebenden Betoneigenschaften. Und eine Beurteilung der Betonqualität setzt demnach voraus, dass man weiss

- welche Betoneigenschaften massgebend sind