

Die nachträgliche Bestimmung des Zementgehaltes im Beton: die EMPA - Methode

Autor(en): **Studer, Werner**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **96 (1978)**

Heft 43

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-73772>

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

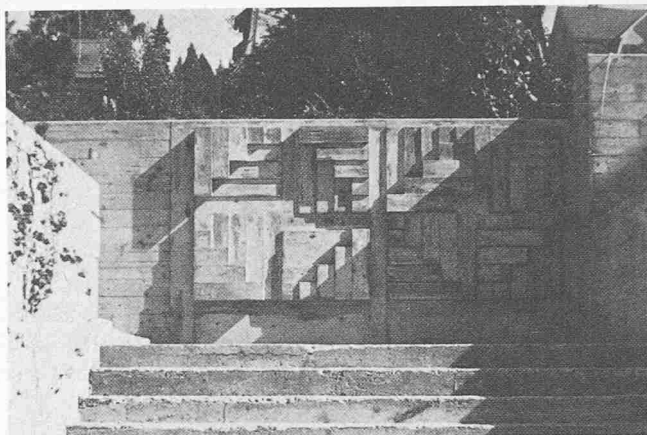
Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

sondern ein plastisches «Environment» zu schaffen. Das ist vorläufig vor allem bei «Spielskulpturen» der Fall.

Recht selten wird die – durchaus betongemässe – Möglichkeit genutzt, Einzelelemente zu entwickeln, die in *Serie* produziert und zur plastischen Komposition montiert werden können, eine dem Bauen mit vorfabrizierten Elementen verwandte Methode, die ihre Begründung im künstlerischen Arbeiten mit Moduln, im Aufbau von Strukturen aus elementaren Teilen, also in der seriellen Kunst hat.

Freies, phantasievolles «Modellieren» in Beton, immer wieder von Künstlern betont individueller Handschrift – etwa von *Joan Miró* – unternommen, führt zwar zu originellen, für die Betonskulptur als Gestaltungsbereich aber kaum richtungweisenden Lösungen. Ähnliches gilt für die vielfach versuchten, technisch oft raffinierten chemischen oder mechanischen Oberflächenbehandlungen des Betons, die sogenannten «*Betongravuren*». Da lauert nur zu oft die Gefahr des Absinkens ins Dekorativ-Kunstgewerbliche, oder aber es handelt sich um eine Missachtung, einen Missbrauch des Werkstoffes Beton. Ähnliches mag für einzelne Versuche der *Einfärbung* oder *Bemalung* von Beton gelten, ein verhältnismässig wenig erforschtes Feld, wo allerdings der Betonskulptur die Konkurrenz der farbigen Kunststoff-Skulptur erwächst.

Gross ist die Varietät der plastischen Ausdrucksmöglichkeiten, die Künstler verschiedener Stiltenz und unterschiedlicher Potenz in den vergangenen Jahrzehnten dem Werkstoff Beton entlockt oder abgerungen haben. Diese Möglichkeiten sind gewiss nicht erschöpft. In der Rückschau auf das bisher Geleistete mag sich zeigen, dass die gültigsten Lösungen dort gefunden wurden, wo der Wille bestand, in disziplinierter



Shuzuki Yoshikawa: «Betonrelief». Kath. Gemeindezentrum Zürich-Höngg

Beschränkung, mit einfachen, grossgesehenen Formen und originalen Formideen auch das Material und seine Technologie sprechen zu lassen. Mag sein, dass solch gültige künstlerische Lösungen dazu beitragen können, das Schimpfwort von der «verbetonierten» Welt zu relativieren.

Nach einem Vortrag, gehalten am 5. Juni 1978 im Fachseminar 2 «Aktuelle Beiträge zur Bauphysik und Gestaltung im Betonbau», veranstaltet vom Verein Schweiz. Zement-, Kalk- und Gips-Fabrikanten.

Adresse des Verfassers: Dr. W. Rotzler, Kunsthistoriker, 8915 Hausen am Albis.

Die nachträgliche Bestimmung des Zementgehaltes im Beton

Die EMPA – Methode

Von Werner Studer, Dübendorf

Am Schluss seines Artikels [1] «Über die nachträgliche Bestimmung des Zementgehaltes von Betonproben» bemerkte Esenwein: «Selbstverständlich gilt diese Genauigkeit (der Zementgehaltsbestimmung = $\pm 10\%$) einzig für die zur Untersuchung eingesandte Probe als solche. Ob von letzterer ausgehend verbindliche Rückschlüsse auf den Beton des Bauwerkes selbst möglich sind, ist im wesentlichen eine Frage der einwandfreien Probeentnahme, dann aber auch der Einheitlichkeit des Betons in allen Teilen des betreffenden Bauwerks.»

In der Folge wurde die EMPA-Methode zur nachträglichen Zementgehaltsbestimmung vielfach erfolgreich angewandt, meistens dann, wenn für eine unerwartet niedrige Festigkeit eines Probekörpers eine Erklärung gesucht wurde. Das Problem der «verbindlichen Rückschlüsse» auf das Bauwerk entstand deshalb erst in letzter Zeit, weil vermehrt versucht wurde, auf diese Art die Zementdosierung des Bauwerkbetons zu kontrollieren. Dabei zeigte sich deutlich, dass die «einwandfreie Probeentnahme» und die «Einheitlichkeit des Betons im Bauwerk» offenbar sehr schwer zu erfüllende Bedingungen sind, ergaben sich doch in einigen in dieser Beziehung «klaren» Fällen unerklärliche Resultate. Es traten Zweifel daran auf, ob Rückschlüsse auf den Bauwerkbeton überhaupt möglich seien.

Aus diesem Grund wurde an der EMPA eine grössere Untersuchung [2] durchgeführt, die Aufschluss über die Zuverlässigkeit der EMPA-Methode zur nachträglichen Zementgehaltsbestimmung geben sollte.

EMPA-Untersuchung

In der EMPA-Untersuchung [2] wurden vorerst die Genauigkeit der Zementgehaltsbestimmung und die sie beeinflussenden Faktoren ermittelt. Die Hauptversuche galten jedoch der Bestimmung der Streuung des Zementgehaltes im Beton.

Die EMPA-Methode zur nachträglichen Bestimmung des Zementgehaltes ist in [2] ausführlich beschrieben. Kurz zusammengefasst wird zuerst die Trockenrohichte ρ_{Rtr} (kg/m^3) des Betons bestimmt, dieser mehlfein gemahlen und der Gehalt des Mahlgutes an löslicher Kieselsäure SiO_2 *SB* (Massen-%) gemessen. Daraus, sowie aus dem Kieselsäuregehalt des Zementes *SZ* (Massen-%) und der Zuschlagstoffe *SK* (Massen-%), ergibt sich der Zementgehalt *Z* (kg/m^3) nach der Formel

$$(1) \quad Z_A = \rho_{Rtr} \frac{SB - SK}{SZ - SK}$$

In den meisten Fällen ist jedoch *SZ* und *SK* unbekannt. Dann gelangt die folgende Formel zur Anwendung

$$(2) \quad Z_B = \rho_{Rtr} \frac{SB}{SZ_m}$$

SZ_m = Mittelwert von *SZ* aller schweiz. PC-Marken
= 21,0 Massen-% (1977)

Die Untersuchungen haben ergeben, dass der mittlere Fehler an einer Zementgehaltsbestimmung nach Formel (1) $s(Z_A) = \pm 0,03 Z_A$ beträgt. Mit rund 90%iger Wahrscheinlichkeit liegt also der wirkliche Zementgehalt Z_r der Probe in einem Band von $\pm 5\%$ um den ermittelten Wert Z_A .

Bei Anwendung der Formel (2) wächst der mittlere Fehler am Einzelwert auf $s(Z_B) = \pm 0,06 Z_B$, weil nicht mehr die Bestimmungsgenauigkeit von $SZ (\pm 1\%)$ bzw. $SK (\pm 10\%)$ [3] massgebend ist, sondern die Materialstreuung ($SZ: \pm 5\%$, $SK: \pm 20\%$). Zudem ergibt sich in diesem Fall aus der Vernachlässigung von SK eine systematische Überschätzung des Zementgehaltes, so dass der 90%-Vertrauensbereich für den wirklichen Zementgehalt nicht symmetrisch zum ermittelten Wert liegt (z.B. für Mittellandmaterial mit $SK = 0,18 - 0,33$ Massen-% $\{+5\%; -25\%\}$, für Tessiner Material mit $SK = 0,4 - 0,8$ Massen-% $\{-5\%; -40\%\}$).

In den Hauptversuchen wurde je eine 50-l- und eine 500-l-Mischung aus EMPA-Standardbeton (PC 300 kg/m³, Kiessand 0-32 mm, Siebkurve A/B SIA 162) mit drei verschiedenen Wassergehalten (140 l $\rightarrow$ K1, 150 l $\rightarrow$ K2, 170 l $\rightarrow$ K3) hergestellt. Aus den 50-l-Mischungen verfertigte man drei Würfel 20/20/20 cm, aus den 500-l-Mischungen drei Würfel und eine Wand $l = 200 / h = 100 / d = 20$ cm.

Aus allen Probekörpern wurden eine grosse Anzahl Bohrkerne $\varnothing 5$ cm entnommen und daran, sowie an den Würfelhälften, der Zementgehalt bestimmt.

In Ergiebigkeitsversuchen wurde festgestellt, dass der wirkliche Zementgehalt aller sechs Mischungen mit dem geschätzten übereinstimmte und somit 300 kg/m³ betrug.

Der Mittelwert des nachträglich an je drei Würfelhälften bestimmten Zementgehaltes lag nur für den plastischen Beton im Band von 300 ± 15 kg/m³, obwohl alle Mischungen offensichtlich sehr homogen waren – die Streuung des Einzelwertes (Bestimmungs- und Materialstreuung) betrug lediglich ± 12 kg/m³ – und einer der Würfel aus der Mitte der Mischung stammte, also «richtig» entnommen wurde. Offensichtlich ist die Entnahme einer repräsentativen Probe aus einer ruhenden Betonmischung (im Versuch: Betonierkübel) schwierig, für weichen, zur Entmischung neigenden Beton kaum möglich.

Dass in den Probewürfeln durch das Vibrieren Entmischungen entstehen, zeigte sich bei den Resultaten der Zementgehaltsbestimmung an den Bohrkernabschnitten aus den Würfeln. Unabhängig von der Betonkonsistenz enthielten die oberen Bohrkern 25 kg/m³ mehr Zement als die unteren. Quer zur Betonierichtung, zwischen der 5 cm dicken Oberflächenschicht und dem Innenbeton, konnten keine wesentlichen Unterschiede gemessen werden.

Für die Tatsache, dass der mittlere Zementgehalt in den Bohrkernen der einen Würfelhälfte um 12 kg/m³ grösser war als der Zementgehalt der anderen Würfelhälfte, konnte keine stichhaltige Erklärung gefunden werden.

Nach diesen Ergebnissen konnte es nicht mehr überraschen, dass auch an den Wänden sehr grosse Unterschiede im Zementgehalt an den einzelnen Bohrstellen auftraten.

Jeweils unten, in der Mitte und oben wurden links, in der Mitte und rechts zwei unmittelbar nebeneinander liegende Bohrkern entnommen. Wie schon bei den Würfeln konnte kein Unterschied zwischen der Oberflächenschicht ($d = 5$ cm) und dem Innenbeton festgestellt werden. Hingegen zeigten sich mit weicherer Konsistenz zunehmende, sehr starke Entmischungen in vertikaler, weniger starke in horizontaler Richtung. Während der Zementgehalt zunimmt, sinkt die Trockenrohichte gegen oben ab: Noch für den plastischen Beton (K2) wurde oben ein um 90 kg/m³ grösserer Zementgehalt bei einer um 110 kg/m³ kleineren Trockenrohichte gemessen als unten (Bild 1).

Da die Wasseraufnahmefähigkeit auch ein Mass für die Porosität des Betons ist – wie die Trockenrohichte –, ist es einleuchtend, dass sie gegen oben zunimmt. Dies wurde auch durch entsprechende Messungen nachgewiesen. Die Auswirkung der Entmischungen auf die Festigkeit ist jedoch nicht vorauszusagen, da ein höherer Zementgehalt eine Zunahme, eine tiefere Rohichte jedoch eine Abnahme erwarten lässt. Messungen im Alter von vier bis fünf Monaten zeigten denn auch kein eindeutiges Bild: Der weiche Beton (K3) wies oben, der steife (K1) unten eine höhere Festigkeit auf. Beim plastischen Beton (K2) konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen oben und unten festgestellt werden.

Schlussfolgerungen für die Praxis

Es hat sich schon oft herausgestellt, dass aus Betonlaborversuchen nur sehr vorsichtig Schlüsse für die Praxis gezogen werden sollten. Meistens bleibt der Beton auf der Baustelle oder im Betonwerk hinter den durch solche Versuche begründeten Erwartungen zurück, z.B. zeigt die statistische Auswertung der an der EMPA auf Festigkeit geprüften Probekörper, dass die Vorteile bei der Anwendung von Zusatzmitteln, HPC oder höheren Zementdosierungen in der Praxis nur zum Teil ausgenützt werden (können?).

Der EMPA-Standardbeton hat denn auch den Ruf, ein besonders guter Beton zu sein. Mit Bezug auf die Festigkeit stimmt dies aber nicht, entspricht er doch darin der mittleren schweizerischen Betonqualität. Daraus kann gefolgert werden, dass der hier untersuchte Bereich sowohl was den W/Z -Wert als auch was die Konsistenz betrifft, ungefähr dem praktischen Bereich für Beton mit Kiessand bis 32 mm und PC 300 kg/m³ entspricht. Aufgrund der Betonqualität ist demnach eine Übertragung der Resultate auf die Praxis zweifellos möglich. Schwierigkeiten entstehen im vorliegenden Fall deshalb, weil die Mischdauer (90 s) länger und die Verdichtung intensiver war als in der Praxis üblich.

Bei den Schlussfolgerungen für die Praxis muss demnach unterschieden werden, ob die nachträgliche Zementgehaltsbestimmung an separat hergestellten Probekörpern oder an Bohrkernen aus dem Bauwerk erfolgt. Im ersten Fall zeigen die Versuchsergebnisse eher ein zu gutes (Mischungen in der Praxis weniger homogen), im zweiten Fall eher ein zu schlechtes Bild (Entmischungen in der Praxis kleiner).

Eindeutig hat sich jedoch ergeben, dass die nachträgliche Zementgehaltsbestimmung nach der EMPA-Methode nur dann zuverlässige Werte liefert, wenn der SiO_2 -Gehalt des Zementes und der Zuschlagstoffe bekannt ist.

Die allgemein bekannte, für Rückschlüsse auf die Gesamtmischung triviale Bedingung an separat hergestellte Probekörper, dass der Probekörperbeton in Zusammensetzung und Verdichtungsgrad für die Mischung repräsentativ ist, lässt sich offensichtlich nicht leicht erfüllen: Die Probeentnahme sollte aus dem bewegten Beton an mehreren Stellen der Mischung erfolgen. Diese Teilproben sollten zu einer Gesamtprobe vermisch und daraus der Probekörper hergestellt werden. Die Verdichtung darf nicht stärker sein als im Bauwerk und die möglicherweise entstehende Bojakeschicht darf nicht entfernt werden (keine Aufsatzrahmen!).

Für die Bestimmung des mittleren Zementgehaltes am Bauwerk sind möglichst viele Entnahmestellen statistisch verteilt anzuordnen. Besonders die Lage innerhalb der Betonieretappen ist dabei wichtig.

Nur unter solchen, sehr bestimmten Voraussetzungen ist die nachträgliche Zementgehaltsbestimmung als stichhaltige Kontrolle der Zementdosierung anwendbar. Da damit zudem festgestellte Mängel nicht behoben werden können, weil man

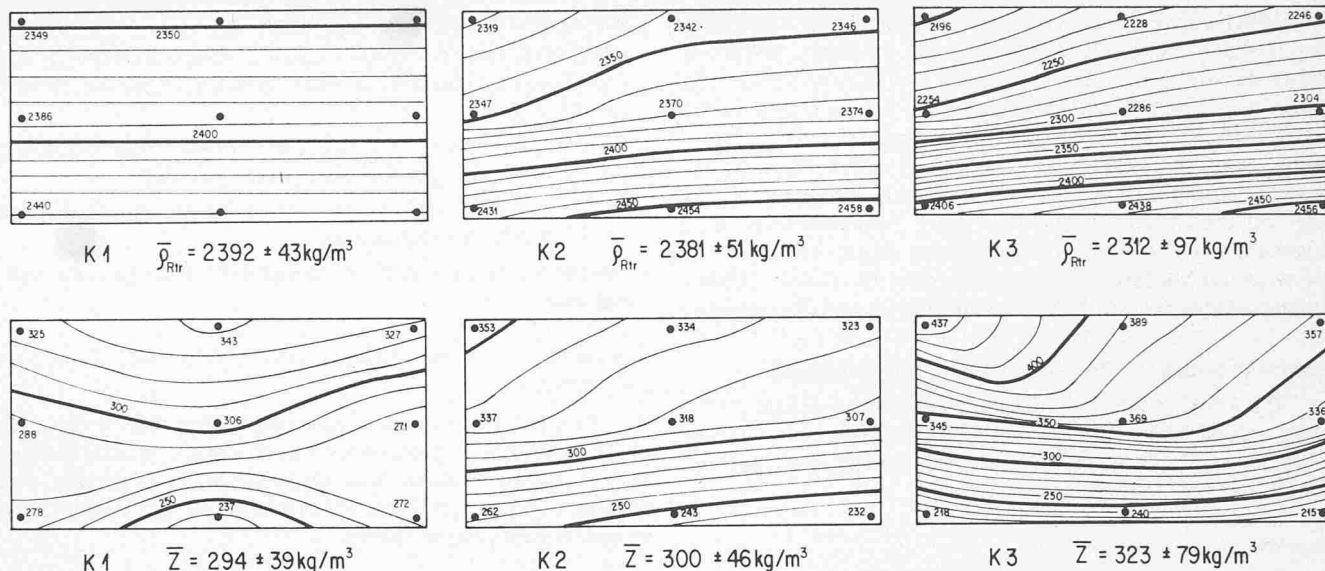


Bild 1. Entmischungserscheinungen in den Wänden [2]. Kurven: gleiche Trockenrohdichte ρ_{Rtr} (oben) bzw. gleicher Zementgehalt Z (unten), Äquidistanz = 10 kg/m³; Zahlen: ausgeglichene Werte in kg/m³

die Ergebnisse zu spät erhält, sollte die Methode nur in Ausnahmefällen für diesen Zweck gebraucht werden.

Die Kontrolle der Zementdosierung, die bei einer guten Betonqualitätskontrolle nicht fehlen darf, sollte vor dem Einbringen am Frischbeton erfolgen. Dafür bestehen einige Labormethoden (z.B. EMPA-Canard [4]). Am wirkungsvollsten, einfachsten und zudem genauesten ist jedoch die Kontrolle der Zementdosierung nach den Empfehlungen der Richtlinie 24 der Norm SIA 162.

P. S. Die Betonqualität erwies sich in den Versuchen als vom Zementgehalt unabhängig. Beim Entscheid, ob der Beton genügend oder ungenügend sei, dürfte man sich deshalb nicht allein auf die Ergebnisse einer Zementgehaltsprüfung abstützen; jedenfalls nicht aus «technischer» Sicht.

Literaturverzeichnis

- [1] Esenwein P.: «Über die nachträgliche Bestimmung des Zementgehaltes von Betonproben». Schweizer Archiv, Sept. 1953, S. 279 ff.
- [2] EMPA-Untersuchungsbericht Nr. 10574: «Die nachträgliche Bestimmung des Zementgehaltes im Beton». EMPA – Dübendorf, August 1978.
- [3] Untersuchungsbericht: «Vergleichsversuch 1977, Zementgehaltsbestimmung an Mörtelproben». TFB – Wildeg, 30. August 1977.
- [4] Esenwein P.: Frischbeton-Schnellanalyse, «EMPA-Canard», Cementbulletin, Jahrgang 38, Oktober/November 1970, TFB – Wildeg.

Adresse des Verfassers: W. Studer, dipl. Ing. ETH, Vorsteher der Abtlg. Beton, Bindemittel, EMPA, 8600 Dübendorf.

Environmental Impact Statement – Umweltverträglichkeitsprüfung in den USA

Von Ueli Bundi, Dübendorf

Im neuen Entwurf zu einem Bundesgesetz über den Umweltschutz wird die Durchführung einer Umweltverträglichkeitsprüfung gefordert für die Errichtung oder Änderung öffentlicher und privater Anlagen, welche die Umwelt erheblich belasten können (Art. 13). Dieser bedeutungsvolle Artikel ist aus der Sicht des Umweltschutzes äusserst begrüssenswert; Vorbehalte ergeben sich allerdings hinsichtlich der Beschränkung der Umweltverträglichkeitsprüfung auf technische Anlagen. In den USA sind gesetzliche Bestimmungen über die Abklärung der Umwelteffekte (Environmental Impact Statements) jeglicher umweltbeeinflussender Aktionen, an denen Bundesstellen beteiligt sind, schon seit Jahren in Kraft. Im folgenden Bericht werden einige Einsichten zusammengefasst, die der Autor während eines Studienaufenthaltes als Stipendiat der Weltgesundheitsorganisation in den USA im Frühjahr 1976 erhielt.

Zweck und gesetzliche Grundlagen

Am 5. März 1970 trat in den USA «The National Environmental Policy Act of 1969» (NEPA) in Kraft. Zweck dieses Erlasses ist die Formulierung eines nationalen Konzeptes

produktiver und erfreulicher Harmonie des Menschen und seiner Umwelt. NEPA fordert für alle nationalen Gesetze und andern wichtigen nationalen Aktionen die Abklärung der Umweltbeeinflussungen. Ein sogenanntes «Environmental Impact Statement» (EIS) ist zu erstellen.

NEPA formierte auch einen Rat, der die Erfüllung der Forderungen von NEPA überwacht, und den Zustand wie die absehbaren Entwicklungen der Umwelt untersucht, sowie den Präsidenten bei seiner Umweltpolitik berät. Dieser Rat, der «Council on Environmental Quality», unterstützt im weiteren den Präsidenten bei der Abfassung seines Berichtes über die Qualität der Umwelt (Environmental Quality Report), der jährlich dem Kongress zu präsentieren ist. Der «Council on Environmental Quality» formulierte auch Richtlinien für die Durchführung der EIS.

Ab 1970 schufen verschiedene Staaten der USA eigene Erlasse über die Umweltpolitik, welche die Pflicht zur For-