Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 40-41 (1972-1973)
Heft: 13

Artikel: Kalkausscheidungen und Grauton
Autor: Trün, U.A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153536

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: 13.07.2025

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

CEMENTBULLETIN

JANUAR 1973 JAHRGANG 41 NUMMER 13

Kalkausscheidungen und Grauton

Die Bildung des Grautones. Entstehung von Kalk beim Erhärten des Zementes. Carbonatisierung. Mengenverhältnisse. Ablauf und Auswirkung verschiedener Vorgänge. Einfache Folgerungen.

Im «CB» Nr. 8/1966 wurde über die Bildung des Grautones der Betonoberfläche berichtet. Bei Sichtflächen ist es von Bedeutung, dass die Tönung möglichst einheitlich ausfällt, weil abwechselnde dunkle und helle Stellen ein unregelmässiges fleckiges Aussehen verursachen können. Es wurde gezeigt, wie sich die Tönung der Betonoberfläche aus zwei Komponenten zusammensetzt, nämlich aus der grauen Eigenfarbe des Zementsteins und der Ausscheidung von weissem Kalk. Die Eigenfarbe ist von der stofflichen Zusammensetzung des Betons abhängig, insbesondere vom Wasserzementwert, der sich durch Entmischungen lokal verändern kann. Der zweite Beitrag zur Grautonbildung richtet sich nach der Menge des ausgeschiedenen Kalkes und ist damit von der Stärke und von der Dauer des Kalkzustromes aus dem Innern abhängig. Der Einfluss der Eigenfarbe ist vornehmlich an Sichtflächen, die an Ort in senkrechter Schalung erstellt worden sind, zu beobachten, während der Einfluss der Kalkausscheidung eher an den glatten Oberflächen von vorfabrizierten Betonelementen zu Geltung kommt (Abb. 1).

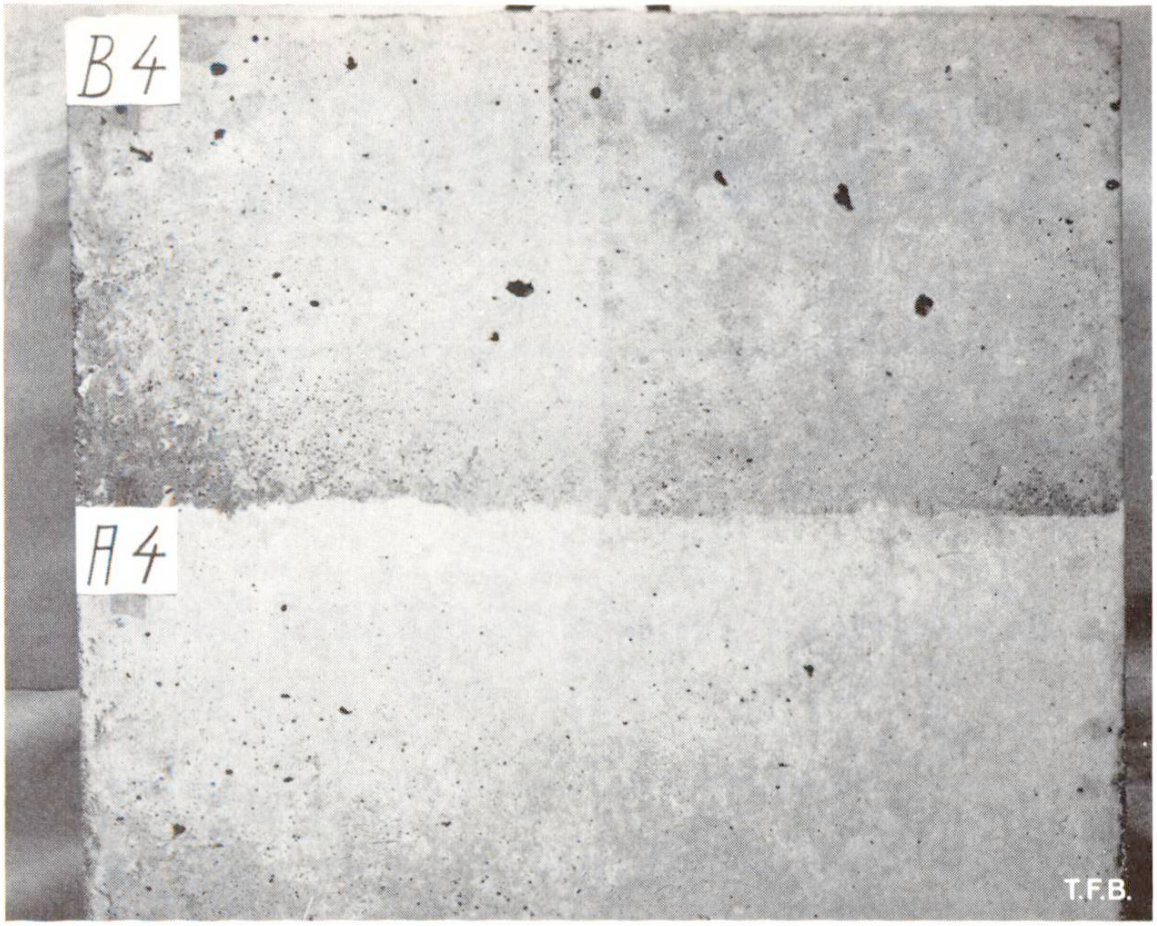

Abb. 1 Versuche zur Grautonbildung mitzwei Betonmischungen und verschieden raschem Austrocknen.
Unten: Wasserzementwert 0,55
Oben: Wasserzementwert 0,50
Links: Herausgezögertes Austrocknen durch Abdecken mit wasserdichter Folie
Rechts: Rasches Austrocknen in Kelleratmosphäre

Wenn man die Bedingungen, welche die Menge des ausgeschiedenen Kalkes beeinflussen, prüft und die Wechselwirkungen erklären will, tauchen Schwierigkeiten auf. Es spielen offenbar so manche Einflüsse mit, und die Reaktionen sind mitunter so empfindlich, dass eine vollkommene Übersicht über diesen Teil der Farbbildung noch nicht gewonnen werden kann. Im folgenden wird versucht, die Grundlagen dieser Vorgänge systematisch darzustellen und einige Regeln abzuleiten.

1. Grundsätzlicher Vorgang

Die Oberfläche des Betons besteht aus Zementstein. Nur in Ausnahmefällen treten Zuschlagskörner direkt hervor. Aus dem Innern des Zementsteins wird Kalk an die Oberfläche gebracht, der sich an den Porenausgängen punktförmig absetzt. Je mehr solche weisse Punkte entstehen, desto heller wird die Tönung. Bei der Kalkwanderung nach aussen ist stets Wasser als Transportmittel beteiligt.

2. Chemische Grundlagen

Portlandzement erhärtet durch Wasseranlagerung. Die Klinkermineralien, aus denen er zusammengesetzt ist, wandeln sich um und bilden neue, wasserhaltige Verbindungen, die Hydrate genannt werden. Die Reaktion mit Wasser setzt an der Oberfläche der Zementkörnchen ein und dringt mit zunehmender Verzögerung in diese vor. Dabei entstehen die Hydrate in Form von voluminösen gelartigen Körpern, die den wassergefüllten Zwischenraum ausfüllen und zusammenwachsen. In der Regel bleiben kleine Reste des Anmachwassers ungebunden in einem feinen Netz von Kapillarporen frei beweglich.
Als Nebenprodukt der stofflichen Umwandlung der Klinkermineralien entsteht zwangsläufig freies Calciumhydroxid, $Ca(OH)_2$. Dies ist die Quelle der Kalkausscheidungen.
Der die Oberfläche bildende Zementstein besteht somit aus einer fest zusammenhängenden Masse gelförmiger Hydrate und darin eingebettetem kristallförmigem Calciumhydroxid. Der Körper ist von Kapillarporen durchzogen, die ganz oder teilweise mit wässeriger Calciumhydroxidlösung gefüllt sind. Der Durchmesser der Kapillarporen ist in der Regel kleiner als 0,001 mm.

3. Mengenverhältnisse und räumliche Grössenordnungen

Zementstein besteht im Mittel aus zwei Teilen Zement und einem Teil Wasser (Wasserzementwert = 0,5). 150 g Zementstein enthält demnach 50 g Wasser, wovon 40 g chemisch oder oberflächenaktiv gebunden und 10 g im Kapillarporensystem frei beweglich sind.
Aus 100 g Portlandzement entstehen etwa 25 g freies Calciumhydroxid. Davon sind 13 mg (1 mg = 0,001) oder 0,05% im Porenwasser gelöst. Der Kalk in fester Form ist gegenüber dem gelösten in sehr grossem Überschuss vorhanden.
1 cm^3 Zementstein wiegt etwa 1,9 g. Er enthält somit 320 mg $Ca(OH)_2$ fest und 125 mg gesättigte wässerige Lösung mit 0,16 mg $Ca(OH)_2$.
Abb. 2 zeigt den beträchtlichen Helligkeitsverlust bei Entfernung von etwa 2 mg Kalk pro cm^2 Oberfläche. Um diese Menge auszuscheiden bedarf es des festen Kalkvorrates einer Zementsteinschicht von 0,06 mm Tiefe, was sehr wenig ist. Würde diese Menge ausschliesslich von ausgeschwitztem Kapillarwasser stammen, so müsste dieses aus einer Schichttiefe von 12 cm vordringen, was viel und unwahrscheinlich ist. Die Rechnung zeigt, dass beim farbwirksamen Ausscheidungsvorgang der meiste Kalk aus der festen Form aufgelöst, an die Oberfläche transportiert und dort wieder ausgeschieden wird.

 1 cm^3 Zementstein enthält etwa 125 mm^3 Kapillarporen (12,5 Vol.-%). Um deren Ausmündungen (etwa 200 pro mm^2) an der Oberfläche 0,01 mm tief zu verstopfen, wären etwa 0,24 mg Kalk notwendig. Somit ist die heilsame Zusinterung der Porenöffnungen nicht ausschliesslich auf den Vorrat an festem Calciumhydroxid im Zementstein angewiesen, sondern könnte auch durch Eintrocknen von Kapillarwasser eintreten.

4. Carbonatisierung

Calciumhydroxid ist alkalisch. Es hat ein sehr starkes Bestreben, sich mit Säuren zu verbinden und damit neutrale Calciumsalze zu bilden. Die Luft enthält Kohlensäure (0,033 Vol.-% CO_2). Calciumhydroxid zieht diese Kohlensäure an und verwandelt sich damit zum Calciumcarbonat. Diesem selbständig ablaufenden Vorgang, Carbonatisierung genannt, liegt folgende Reaktionsgleichung zugrunde:

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$$

$$\left.\begin{array}{c}\text{Calciumhydroxid}\\ + \\ \text{Kohlensäure}\end{array}\right\} = \left\{\begin{array}{c}\text{Calciumcarbonat}\\ + \\ \text{Wasser}\end{array}\right.$$

Calciumcarbonat ist 100mal weniger gut löslich als Calciumhydroxid. 1 l Wasser kann nur etwa 13 mg Calciumcarbonat aufnehmen. Bei der Carbonatisierung scheidet deshalb das Carbonat als weisser Niederschlag aus der wässerigen Lösung aus (z.B. schwimmendes Kalkhäutchen).
Das Wasser wird dadurch entlastet und vermag neue Mengen Calciumhydroxid in Lösung zu nehmen. Dadurch entsteht ein stetiger Zustrom von Calciumhydroxid-Teilchen in den Bereich der Betonoberfläche zum Ort der Carbonatisierung.

5. Änderungen des Grautones durch Kalkausscheidung

Je mehr Kalk sich an der Betonoberfläche befindet, desto heller erscheint der Grauton. Im folgenden sind einige Erscheinungsformen der Kalkausscheidung und deren Abhängigkeiten angegeben.

5.1 **Das Ausschwitzen von Kapillarwasser** und dessen Eintrocknen an der Oberfläche ist ein Vorgang, der, wie oben gezeigt wurde, nicht sehr farbwirksam ist. Er wird gefördert durch die Porosität und den primären Wassergehalt des Zementsteins. Ein hoher Wasserzementwert führt demnach zu hellerem Beton. Der Wasserfluss in Richtung der Oberfläche wird auch durch ein zu-

nehmendes Wärmegefälle begünstigt, das sich durch Entwicklung von Hydratationswärme im Innern des Betons einstellen kann.
Im negativen Sinne aber hat der Wasserzustrom an die Oberfläche eine starke Wirkung. Ist er kleiner als die Eintrocknungsrate, so verlagert sich die Zone, in welcher flüssiges in dampfförmiges Wasser übergeht, in das Porensystem heinein, worauf überhaupt kein Kalk mehr an die Oberfläche dringen kann.

5.2 **Carbonatisierung,** die in einer Wasserschicht im Bereich der Betonoberfläche eintritt, verursacht ein stetiges Ausscheiden von Calciumcarbonat und einen stetigen Nachfluss von Calciumhydroxid aus dem Kapillarporensystem. Der Ort, wo sich diese Reaktion vornehmlich abspielt, hängt von der Geschwindigkeit ab, mit welcher $Ca(OH)_2$ nachgeliefert wird und CO_2 in die Wasserschicht eindringt. Damit verbunden sind auch die Wegstrecken, welche die Teilchen bis zum Reaktionsort (Treffpunkt) zurückzulegen haben. Normalerweise findet die Carbonatisierung ausserhalb der Oberfläche oder im unmittelbaren Bereich der Porenausmündungen statt, sie verlagert sich aber bei relativ tiefen Temperaturen und dünnen Wasserschichten in das Porensystem hinein, womit im Gegensatz zum Normalfall, keine wesentliche Aufhellung des Grautones erzeugt wird.
Infolge der Kalkausscheidung werden die Porenöffnungen zunehmend verstopft, so dass sich der Vorgang selber zum Stillstand bringt.

5.3 Auch die räumliche **Beschaffenheit der Betonoberfläche** hat einen Einfluss auf die sichtbare Kalkausscheidung, indem die aufhellende Wirkung an glatten Flächen stärker ausfällt als an rauhen. Dies nicht nur, weil sich im einen Fall der ausgeschiedene Kalk auf eine kleinere Fläche verteilt, sondern weil die vorspringenden Teile einer rauhen Oberfläche eher austrocknen und dann überhaupt keinen Kalk mehr hervorbringen können. Zudem ist in den Vertiefungen, wo dementsprechend mehr Kalk ausgeschieden wird, weniger Licht vorhanden, das reflektiert werden könnte.

5.4 **Regenwasser** kann Calciumcarbonat langsam auflösen. In einem Liter sind 13 mg löslich. Für die Auflösung von 2 mg pro cm^2 (Helligkeitsverlust gemäss Abb. 2) wären bei horizontaler Lage grössenordnungsmässig die Niederschläge eines Jahres notwendig, bei senkrecht stehenden Flächen entsprechend mehr. Das Nachdunkeln und der Ausgleich von Grautonkontrasten an bewitterten Betonoberflächen im Verlaufe von einigen Jahren ist bekannt.

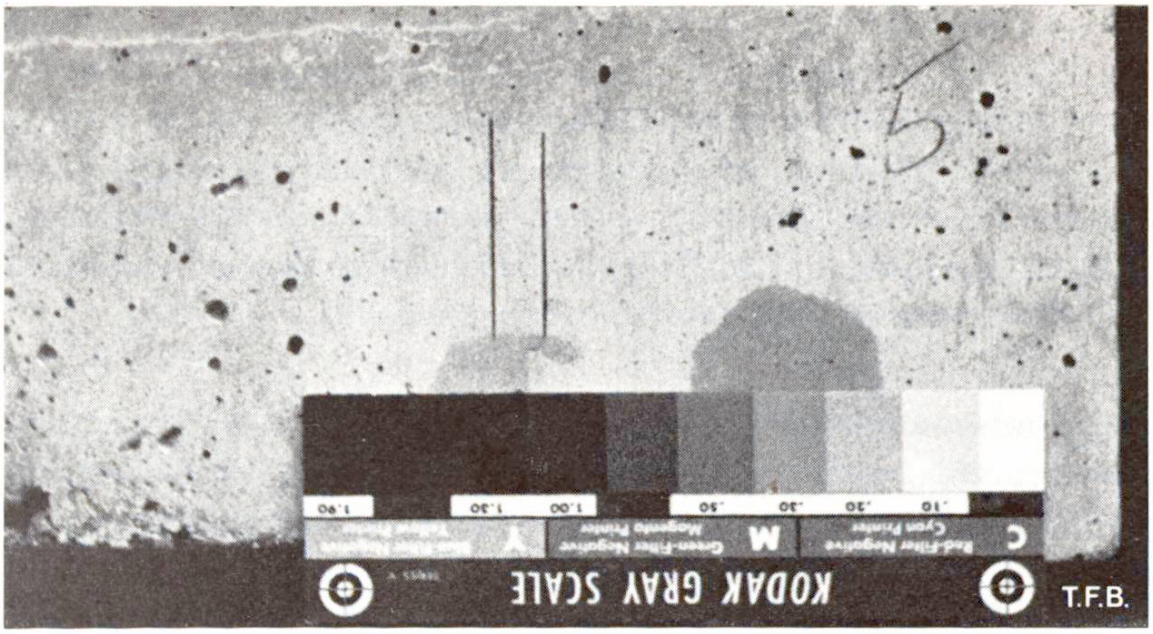

Abb. 2 Abätzversuch. Der dunkle Flecken auf dem Betonprobekörper ist entstanden durch Auftrag einer bestimmten Menge verdünnter Salzsäure, welche den Kalk an der Oberfläche aufgelöst und entfernt hat. Durch chemische Analyse wurde bestimmt, dass dabei 2,0 mg Calciumkarbonat/cm² abgetragen worden sind.

Abb. 3 Versuch über die Grautonbildung bei stetiger Zuleitung eines Wasserstromes auf eine frisch ausgeschalte Betonfläche. Im Bereich des fliessenden Wassers ist die Grautönung etwas dunkler als im rascher ausgetrockneten Feld. Dazwischen liegt eine sehr dunkle Zone, die sich unter einem nichtfliessenden dünnen Wasserfilm ausgebildet hat.

6. Einfache Folgerungen

Eine **verstärkte Aufhellung** des Grautones infolge vermehrter Kalkausscheidung tritt ein:

- bei porösem Zementstein, hohem Wasserzementwert;
- bei glatter Betonoberfläche;
- bei starker Wasserbedeckung;
- bei feuchter Witterung;
- bei höheren Temperaturen.

Bei entgegengesetzten Bedingungen bleibt die Betonoberfläche eher dunkel gefärbt, nämlich:

- bei dichtem Zementstein, niedrigem Wasserzementwert;
- bei rauher Oberfläche, grober Porosität;
- bei dünner Wasserbedeckung;
- bei stark austrocknender Witterung;
- bei tieferen Temperaturen.

Diese Einflüsse haben die stärkste Wirkung in den ersten 24 Stunden nach dem Ausschalen. In den nachfolgenden Tagen und Wochen nimmt die Bereitschaft zur Kalkausscheidung rasch ab.

U. A. Trüb

TFB

Zu jeder weiteren Auskunft steht zur Verfügung die
TECHNISCHE FORSCHUNGS- UND BERATUNGSSTELLE
DER SCHWEIZERISCHEN ZEMENTINDUSTRIE
5103 Wildegg Postfach Telephon (064) 53 17 71