Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 50-51 (1982-1983)
Heft: 11

Artikel: Die helle Farbe des Betons
Autor: Trüb, U.A.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153654

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: 23.12.2025

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

CEMENTBULLETIN

NOVEMBER 1982 JAHRGANG 50 NUMMER 11

Die helle Farbe des Betons

Chemische und physikalische Bedingungen, welche zu einer hellgetönten Betonoberfläche führen.

Abb. 5 im CB 5/82 zeigt einen relativ hellen, gleichmässigen Orts-Sichtbeton, wie er in der Regel bei Verwendung einer dichten glatten Schalung zustandekommt. Es erhebt sich die Frage nach den Ursachen für diese oft herbeigewünschte vorteilhafte Auswirkung. In der technischen Literatur über Beton wird die Entstehung von hellem Beton auf diese Weise zwar mehrfach erwähnt, aber es finden sich keine genaueren Begründungen dafür. Im folgenden wird versucht, die Erscheinung aus der stofflichen Zusammensetzung und Struktur des Zementsteins heraus zu erklären.

Es ist einleuchtend, dass die Tönung des Betons in erster Linie von der stofflichen Zusammensetzung der obersten sichtbaren Schicht abhängig ist und in zweiter Linie auch von der Mikrotopographie. Zum einen besteht die Vorstellung, dass verschiedenartige Stoffteilchen mit verschiedener Tönung und verschiedener Transparenz als Gesamtheit optisch zur Wirkung kommen. Zum anderen nimmt man an, dass die Verteilung von kleinen Erhöhungen und Vertiefungen zu stärkeren oder schwächeren Lichtreflexionen führt. (Das «schwärzeste Schwarz» z.B. zeigt ein kleines Loch, das in einen geschlossenen, schwarz ausgekleideten Hohlraum hineinführt.)

Betrachtet man die stoffliche Seite, so kann man zunächst eine Liste der an der Betonoberfläche beteiligten Materialien aufstellen. Tabelle 1 zeigt eine solche Zusammenstellung:

Tabelle 1 **Übersicht über die farbwirksamen Substanzen an Betonoberflächen**

Bezeichnung	Chemische Formel	Grösse und Form	Farbe und Transparenz	Langfristiges Verhalten
Zementstein				
Hydratisierte Calciumsilikate Calciumsilikathydrate	$3\ CaO.2\ SiO_2.3\ H_2O$ und ähnlich	Zusammenhängendes raumfüllendes Gel	Milchig, hellgrau, etwas durchscheinend	Transparenz nimmt ab, Tönung wird hellgrau
Calciumhydroxid Calciumkarbonat «Kalk»	$Ca(OH)_2$ $CaCO_3$	Agglomerationen von sehr kleinen Einzelkristallen	Farblos, weiss, nicht transparent	Gänzliche Umwandlung in $CaCO_3$, unverändert weiss, Anteil anfänglich zunehmend, am Regen abnehmend.
Unhydratisierter Zementklinker	$2\ CaO.SiO_2$ $3\ CaO.SiO_2$	Kleine Körnchen eingebettet in transparentem Gel	Dunkelbraun bis schwarz, nicht transparent	Verschwindet durch Umwandlung in die Hydrate bzw. in das Gel
Zuschlagsmaterial				
Mehlfeine Sandkörner	–	Sehr kleine Gesteins-trümmer	Farblos oder nur sehr schwache Färbung	Kaum Veränderungen, die äusserlich wahrnehmbar sind
Freigelegte Sandkörner	–	Sichtbares Korn je nach Feinheitsgrad	Schwarzgraue bis braun-rötliche Färbung, u. a.	Die natürliche Freilegung durch Meteorwasser kann relativ rasch erfolgen
Pigmentfarbstoffe				
Zugemischtes Farbpulver	Stabile Metalloxide, meist Fe_2O_3	Sehr feine, einheitliche Körnung	Starke Farbwirkung, durch das Gel etwas abgestumpft	Farbwirkung wird verstärkt bei Freilegung durch Meteorwasser
Verunreinigungen				
Abgelagerte Fremd-substanzen	z. B. Fe_2O_3 (Rost) oder Russ	Oft fein verteilt, in Poren eindringend	Hellbraun bis schwarz, in dünner Schicht transparent	Unregelmässige Veränderungen, abwaschbar durch Meteorwasser

3 Die sichtbaren Bestandteile an der Betonoberfläche reichen in der Grösse der einzelnen Partikel vom Sandkorn bis zum Mikrokörper von 0,0001 mm Durchmesser. Die Flächenanteile von verschiedenen Stoffen sind bestimmend, d. h. die einzelnen Farbpunkte geben ihre spezifischen Beiträge zum Gesamtton in gleicher Weise wie die einzelnen verschieden farbigen und verschieden grossen Rasterpunkte eines Farbdruckes.

Die anfängliche Fragestellung nach der Tönung des Betons betrifft vor allem die ersten drei Materialien der Tabelle 1. Ein grosser Anteil an Calciumhydrat bzw. Calciumkarbonat wird zu einer hellen Tönung führen, während umgekehrt ein grosser Anteil an unhydratisiertem Zement eine dunkle Farbe erzeugt. Dazwischen liegt die urtümliche Farbe des Zementsteins mit dem hellen Grau des etwas transparenten Gelkörpers (Abb. 1). Mit der Beschreibung der Mechanismen, welche unter den gegebenen Umständen eine oberflächliche Anreicherung des weissen Calciumhydroxids bewirken, ist die Frage weitgehend gelöst.

Calciumhydroxid, $Ca(OH)_2$, wird bei der Erhärtungsreaktion des Portlandzementes in grossen Mengen erzeugt. Fast 1/3 des Zementes wandelt sich in diese Verbindung um. Calciumhydroxid ist wenig aber doch merklich wasserlöslich. In den Kapillarporen des sich bildenden Zementsteins befindet sich demnach eine gesättigte Lösung mit etwa 0,0013 g $Ca(OH)_2$ in 1 g Wasser (1,3 ‰). Wenn solches Wasser an

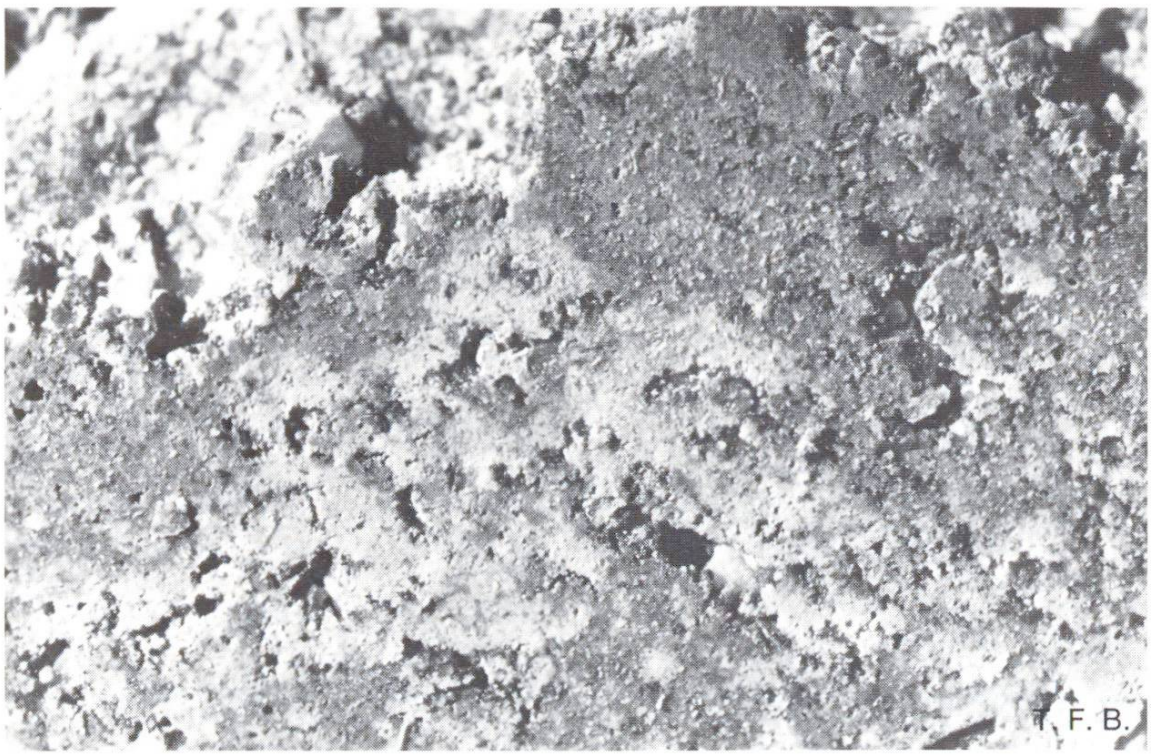

Abb. 1 Betonoberfläche aus glatter Schalung (vergrössert, die Bildbreite entspricht etwa 10 mm). Man erkennt helles und dunkles Zementgel, wobei das helle durch lokale Wasseranreicherungen entstanden ist. Die etwas glasig erscheinende Gelsubstanz lässt auch nichthydratisierte dunkle Zementteilchen durchschimmern. Ferner sieht man schwarze Löcher und weisse punktförmige Kalkausscheidungen, die zur Farbbildung beitragen.

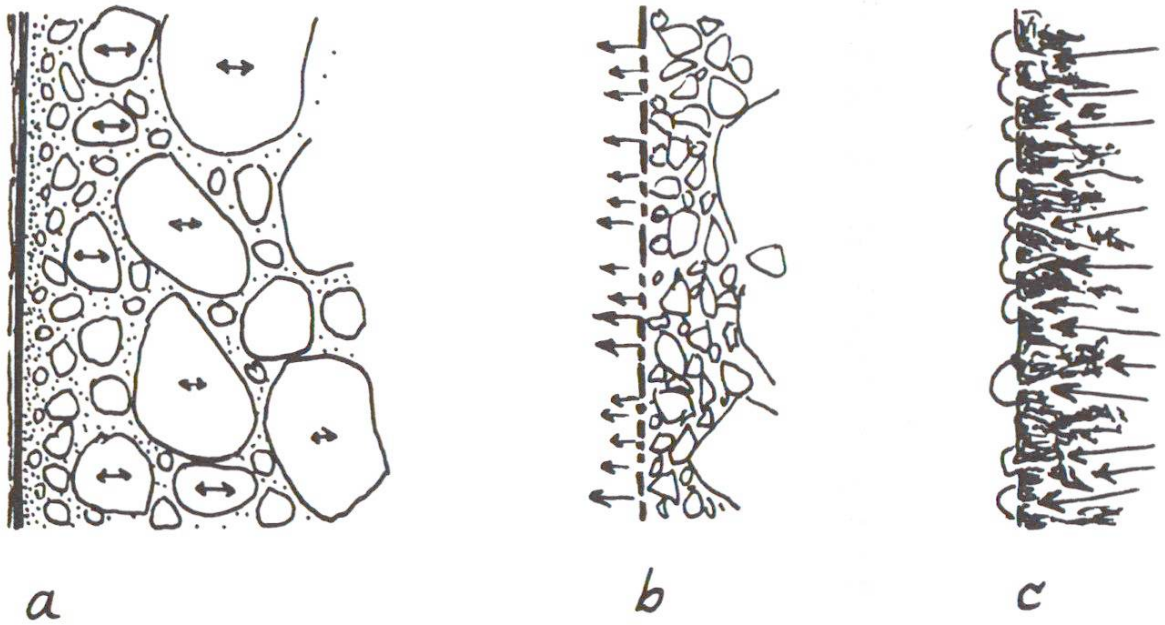

Abb. 2 a) Bei der Rüttelung schwingen grössere Körner weniger mit als kleine, leichte Partikel. Aus diesem Grund erfolgt eine Anreicherung von Wasser und Zement im Bereich einer harten und dichten Schalungsfläche.
b) Poröse Schalungsflächen, z. B. trockenes Holz, saugen kalkgesättigtes Wasser ab. Dieser Kalk fehlt dann als helligkeitserzeugende Substanz.
c) Betonoberflächen mit offenen Poren schwitzen nach dem Ausschalen Kalkwasser aus. Je stärker dies erfolgt, desto heller wird die Betonoberfläche.

der Oberfläche oder im Porensystem verdunstet, so wird die entsprechende Menge «Kalk» ausgeschieden. Mit der Kohlensäure der Luft verwandelt sich das Calciumhydroxid in das unlösliche Calciumkarbonat entsprechend der Formulierung: $Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$ (Karbonatisierung). Beide Stoffe, Calciumhydroxid und Calciumkarbonat, werden im Volksmund als «Kalk» bezeichnet.
Eine Anreicherung von Calciumhydroxid im Bereich der Betonoberfläche kann durch folgende Vorgänge eintreten:

1. Während der Rüttelverdichtung kann eine Entmischung des Betons eintreten, indem sich entlang der Schalungsfläche Zementleim anreichert. Die schwereren Teilchen der Mischung werden dort vermehrt zurückgestossen. Damit wird auch Calciumhydroxid konzentriert (Abb. 2a).

2. Bei einer dichten Schalungsfläche bleibt diese Feuchtigkeitskonzentration im Oberflächenbereich erhalten. Bei poröser Schalungsfläche dringt die kalkgesättigte Lösung in den Schalungskörper oder wird von diesem aktiv aufgesogen (Abb. 2b).

3. Die dichte Schalungsfläche bewirkt auch, dass die Kapillarporen, welche den Zementstein durchziehen (s. CB 7/78) gegen aussen offen bleiben. Nach dem Ausschalen kann der Beton, unterstützt durch ein Wärmegefälle gegen die Oberfläche, Kalkwasser ausschwitzen (Abb. 2c).

5 Mit anderen Worten führen folgende Vorgänge zu einem hellgetönten Beton:

Der Wasserzementwert im eingebrachten und verdichteten Beton wächst tendenzmässig, je mehr man sich von innen her der Schalungsfläche nähert. In der äussersten Schicht, deren Dicke zwischen dem mittleren Zementkorndurchmesser und der Schwingungsamplitude des Rüttlers liegt, ist gegebenenfalls nur noch reines Wasser mit gelöstem Kalk vorhanden. Im Bereich der Betonoberfläche wird deshalb das Verhältnis Calciumhydroxid:Calciumsilikathydrat im Zementstein erhöht, der Zementstein wird weniger hart, aber heller gefärbt. Zudem wird bei höherem Wasserzementwert der Anteil an Kapillarporen im Zementstein grösser und damit verstärkt sich die Möglichkeit der Kalkwasserausscheidung.
Infolge des chemischen Schwindens (Schrumpfen, s. CB 16/77) wird das Kapillarporensystem ebenfalls vergrössert, aber nur dann, wenn der entstehende Unterdruck wirksam bleibt und nicht zusammenbricht. Im Oberflächenbereich kann dies nur der Fall sein, wenn der Beton während des anfänglichen Erhärtens an eine wasser- und gas-

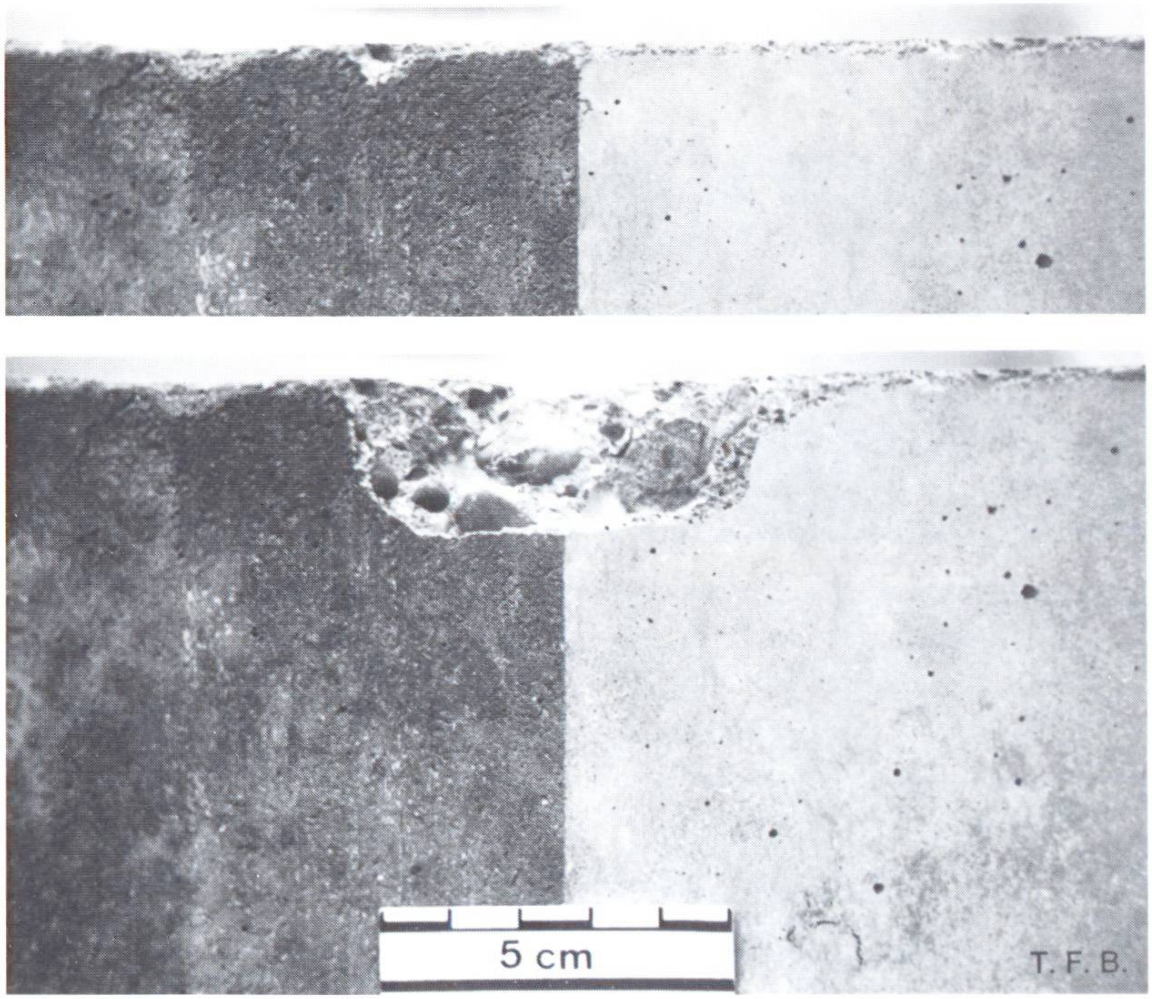

Abb. 3 Der Versuch zeigt den Tönungsunterschied, verursacht durch eine poröse (links) und eine dichte Schalungsfläche (rechts). Die dunkle bzw. helle Färbung ist auf die Oberflächenschicht beschränkt.

dichte Schalungsfläche anschliesst. Vermutlich ist damit ein zusätzlicher Grund für offene Porosität und vermehrte mögliche Wasserausscheidung gegeben.
Überlegungen zum gegenteiligen Vorgang, nämlich zur Entstehung eines dunkel getönten Betons, bestätigen die genannten Einflüsse. Dunkler Zementstein entsteht, wenn sich der Wasserzementwert am betreffenden Ort verkleinert, wenn sich also statt Wasser Zement anreichert. Hierzu führen vor allem drei, in der Praxis gut bekannte Vorgänge:

- Ausfilterung von Wasser durch poröses Schalungsmaterial und durch Korngerüstfilter bei Leckstellen der Schalung (CB 5/74).
- Künstliches Absaugen des Betonwassers bei Vacuumbeton.
- Verdrängung von Wasseranteilen im Bereich der Schalungsfläche durch Nachvibration.

Letztere erfolgt zu einem Zeitpunkt (1–2 Stunden nach Wasserzugabe), wo die noch weiche Gelsubstanz den Raum bereits zusammenhängend ausfüllt und das Wasser nicht mehr ungehindert zwischen den Zementkörnern zirkulieren kann. Dadurch werden die Poren weitgehend geschlossen und ein Teil des Wassers wird in die Tiefe der Betonmasse verdrängt. Der Zementstein wird glasig-dicht und

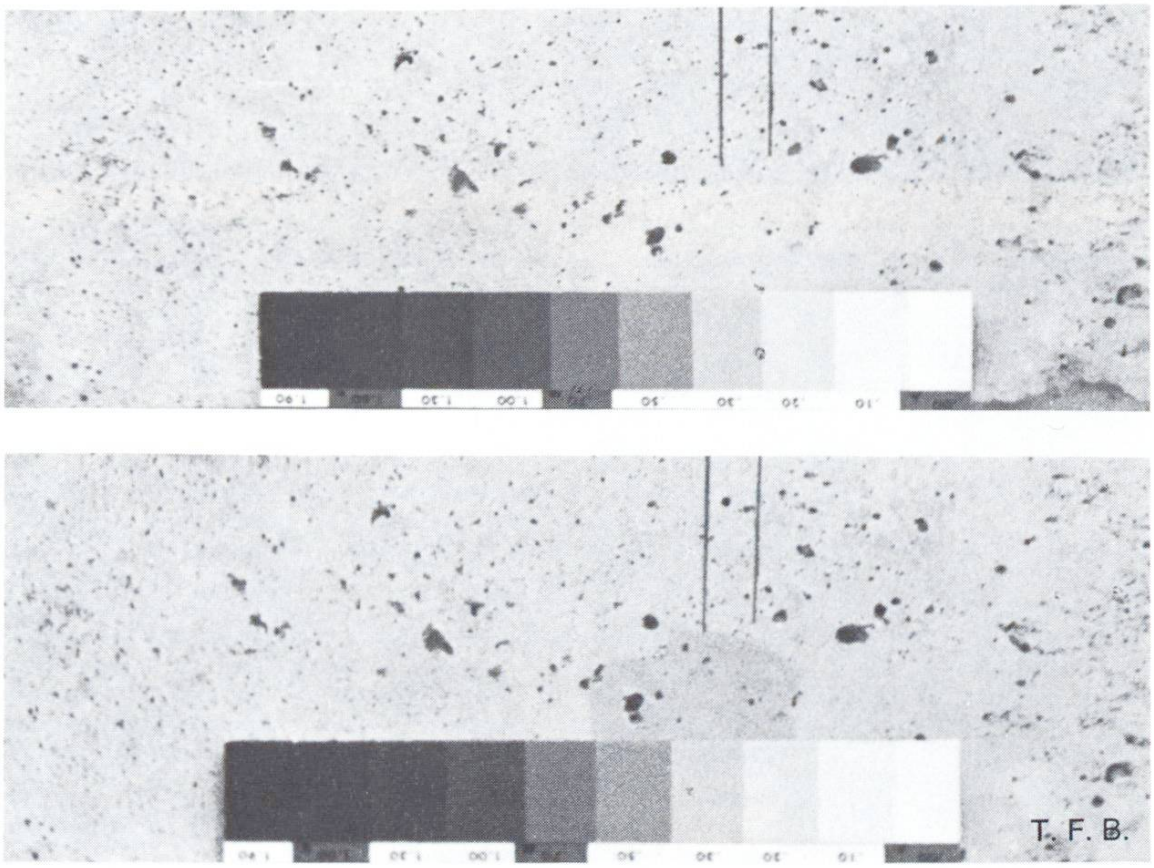

Abb. 4 Der schwach dunkle Flecken im unteren Bild wurde durch Abätzung von 1,8 mg Calciumkarbonat pro cm^2 erzeugt.

Abb. 5 Mikroskopische Aufnahme einer Abätzung von Kalk entsprechend Abb. 4. In der Betonoberfläche im linken Bildteil fehlen etwa 2 mg $CaCO_3$ pro cm^2.

transparent. Er vermag viele unhydratisierte Zementteilchen zu konservieren, welche als dunkle Farbkörper zur Wirkung kommen.
Aus diesen Überlegungen und Beobachtungen ergeben sich die Umstände, welche tendenzmässig zu einem hell- und gleichmässig getönten Sichtbeton führen:

- Dichte Schalung sowohl bezüglich Material (Porosität) und Aufbau (dichte Fugen).
- Geschmeidige Betonmischung mit genügendem Wassergehalt, jedoch mit gutem Wasserhaltevermögen (mörtelreiche bindige Sichtbetonmischung mit relativ hohem Feinkornanteil s. CB 16/79).
- Vermeidung von Nachvibration, z.B. in vorhergehenden Schüttlagen, durch gute Planung und Überwachung des Betoniervorganges und durch gezielte massvolle Rüttelung.

Dr. U. A. Trüb, TFB

8 Literatur:

M. Adam, Aspects du Béton, Paris, 1971
U. Trüb, Die Betonoberfläche, Wiesbaden/Berlin, 1973
Die Fotoaufnahmen stammen aus dem zweitgenannten Buch.

TFB

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