Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 28-29 (1960-1961)
Heft: 22

Artikel: Ueber die Frostbeständigkeit von Beton
Autor: [s.n.]
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-153400

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: 15.07.2025

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

CEMENTBULLETIN

OKTOBER 1961 JAHRGANG 29 NUMMER 22

Ueber die Frostbeständigkeit von Beton

Die physikalischen Vorgänge beim Gefrieren, Einfluss der Struktur des Betons. Vorgänge bei der Frosteinwirkung im Beton. Tausalzschädigung. Luftporenbeton. Massnahmen zur Vermeidung von Frostschäden an Beton. Literaturangaben.

Im CB 1959/23 wurde der Einfluss des Frostes auf den frischen Beton beschrieben. Im vorliegenden Bulletin sollen nun die Frosteinwirkungen auf den erhärteten Beton, die Entstehung und Verhütung von Gefrierschäden behandelt werden (s. auch CB 1946, Nr. 12).

Die physikalischen Vorgänge

Bekanntlich nimmt gefrorenes Wasser einen um 9 % grösseren Raum ein als flüssiges. Wird diese Volumenvergrösserung behindert, so erfolgt sie unter Erzeugung eines beträchtlichen Druckes und entsprechenden Sprengwirkungen. Bei noch tieferer Abkühlung dehnt sich das Eis weiter aus (Abb. 1).

Beim Gefrieren des Wassers wird eine gewisse Menge an Wärmeenergie frei. Dies hat zur Folge, dass beim Erreichen des Nullpunktes in einem Wassertropfen zunächst nur ein kleiner Teil gefriert, da eben infolge der damit eintretenden kleinen Erwärmung das Fortschreiten des Gefriervorganges kurz unterbrochen wird. Das Gefrieren erfolgt in zeitlich und räumlich differenzierten Stufen. Der Zeitabschnitt zwischen den einzelnen Gefrierstufen ist um so grösser, je langsamer die Abkühlung erfolgt.

Eine Verzögerung und Abstufung des Gefriervorganges kann auch infolge der Druckwirkung eintreten. Das entstehende Eis erzeugt,

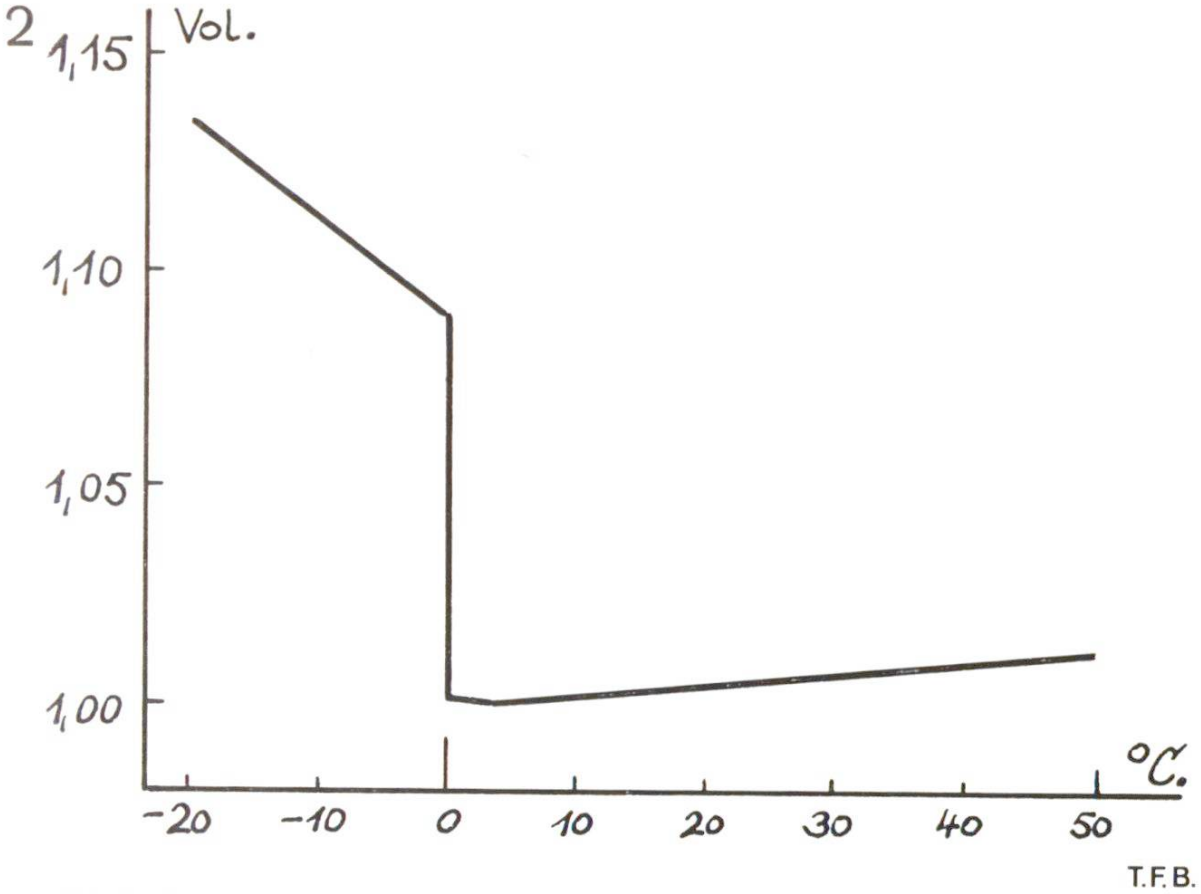

Abb. 1 Volumenänderungen des Eises beziehungsweise Wassers bei steigender Temperatur

wenn es eingeschlossen ist, Druck, und dieser Druck setzt seinerseits den Gefrierpunkt des umgebenden Wassers etwas herab. Der Druck kann u. U. so gross werden, dass sich gebildetes Eis wieder verflüssigt.
Enthält das Wasser gelöste Salze, so wird der Gefrierpunkt ebenfalls herabgesetzt.
Oberflächenaktiv gebundenes Wasser kann nicht mehr im eigentlichen Sinne gefrieren. In sehr feinen Poren mit einem Durchmesser in der Grössenordnung von 0,000001 mm ist alles vorhandene Wasser oberflächenaktiv gebunden.

Struktur des Betons.

Die Porenstruktur des Betons ist für dessen Frostbeständigkeit verantwortlich. In den Hohlräumen, die in jedem Beton bestehen, können sich die sprengenden Eiskristalle bilden. Die Hohlräume lassen sich wie folgt unterteilen:

a) **Makroporen,** grösser als 0,1 mm, entstehen bei mangelhafter Mischung, Entmischung oder ungenügender Verdichtung, sind aber auch die Folge von interner Ausscheidung von Anmachwasser (internes Bluten), insbesondere an den Unterseiten von grösseren Zuschlagskörnern (Abb. 2).

b) **innere Schwindrisse** treten etwa auf, wenn das natürliche Schwinden des Zementleimes durch grössere Zuschlagskörner behindert wird.

c) **Kapillarporen** von der Grössenordnung von 0,00001 bis 0,001 Millimeter entstehen infolge des überschüssigen Anmachwassers, das bei der Hydratation des Cementes nicht chemisch gebunden wird. Dieses Wasser ist frei beweglich (Abb. 3).

d) **Gelporen** von der Grössenordnung von 0,000001 mm. In ihnen ist evtl. vorhandenes Wasser oberflächenaktiv gebunden.

Die Kapillarporen bilden ein reichverzweigtes, zusammenhängendes Netz von bald gröberen, bald feineren röhren-, kugel- oder flächenförmigen Hohlräumen. Sie sind verantwortlich für die mehr oder weniger grosse Durchlässigkeit des Betons. Durch dieses Porensystem kann der Beton atmen, kann er Wasser aufnehmen und abgeben. Im Gegensatz dazu bilden die Makroporen und internen Schwindrisse in sich geschlossene Hohlräume, zu denen wohl die Kapillarporen Zugang haben, die sich aber wegen ihrer relativen Grösse nicht unbedingt selbständig mit Wasser anfüllen können.

Mechanismus der Frostschädigung

Wenn der Beton Wasser enthält und unter den Gefrierpunkt abgekühlt wird, so ist noch lange nicht gesagt, dass er Frostschädigungen erfährt. Bis dahin müssen noch eine Reihe von anderen Bedingungen zutreffen. Die Abkühlung muss z. B. relativ schnell erfolgen und das Mass der Wasserdurchtränkung muss sehr hoch sein. Auch die Porenstruktur des Betons, die sehr vielfältig sein kann, spielt eine Rolle. Im Rahmen dieser Schrift können nur die wesentlichsten Züge des Problems behandelt und einige allgemeine Richtlinien gegeben werden.

Betrachten wir die Vorgänge, so ist zunächst festzuhalten, dass die Abkühlung des Betons normalerweise nie sehr rasch erfolgt.

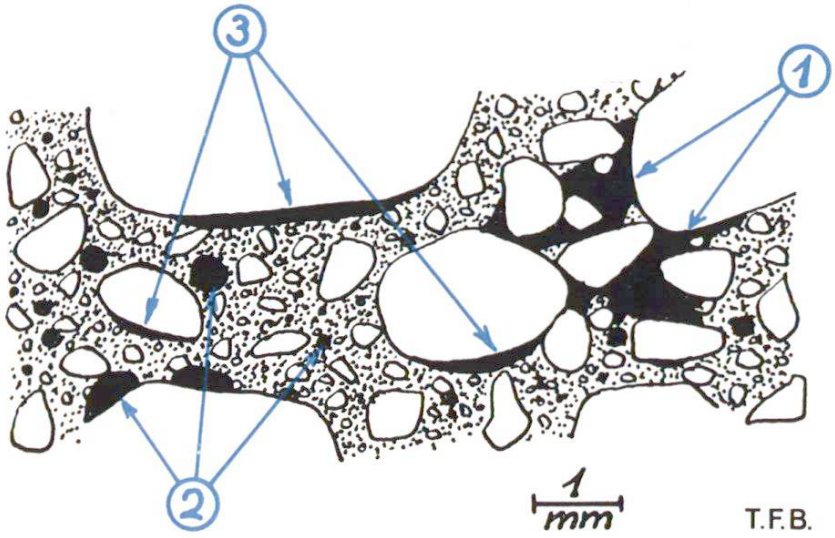

Abb. 2 Makroporen im Beton, verursacht durch Entmischung (1), durch natürliche Lufteinschlüsse (2) und Wasserabscheidung, insbesondere an der Unterseite von Zuschlagskörnern (3)

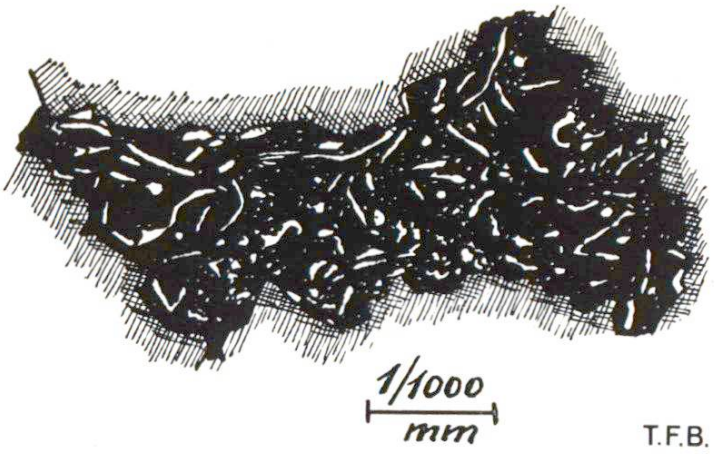

Abb. 3 Darstellung der Kapillarporen im Cementstein

Wenn dies schon für die oberste Schicht gilt, so trifft es erst recht für tiefere Punkte des Betonkörpers zu (Abb. 4).
Je langsamer die Abkühlung vor sich geht, desto geringer ist die Gefahr der Frostsprengungen. Da, wie wir gesehen haben, der Gefriervorgang etappenweise erfolgt, kann das jeweils noch nicht erstarrte Wasser zumeist dem entstandenen Druck ausweichen und in benachbarte wasserfreie Hohlräume vordringen. Um seinen Weg hierbei zu finden und gegebenenfalls zu erzwingen, braucht das Wasser etwas Zeit, die, je nach der Abkühlungsgeschwindigkeit, mehr oder weniger zur Verfügung steht.
Daraus geht auch hervor, dass ein gewisses Ausweichvolumen, also wasserfreie Poren, vorhanden sein müssen. Ein Massstab hierfür ist der sog. Sättigungskoeffizient, der für die Beurteilung der Frostbeständigkeit von Natursteinen herangezogen wird. Er ist das Verhältnis zwischen den Wassermengen, die der Körper bei Wasserlagerung unter Atmosphärendruck und bei 150 atü aufnimmt. Ist der Sättigungskoeffizient grösser als 0,9 (Maximum = 1,0), so ist mit einer geringen Frostbeständigkeit zu rechnen.
Beim Ausweichen des flüssigen Wassers wird Luft verdrängt oder komprimiert. Im letzteren Falle entsteht ebenfalls eine Druckwirkung, die aber nur einen Bruchteil derjenigen ausmacht, die das Gefrieren eines allseits umschlossenen Wasservolumens verursachen würde.
Wenn die Verhältnisse für eine Frostschädigung günstig liegen und in gewissen Porenräumen, vornehmlich nahe der Oberfläche, eingeschlossenes Wasser gefriert, so brauchen sich zunächst gar keine Schädigungen zu zeigen. Gefriert das Wasser beispielsweise in einer flächenförmigen Pore oder Aufspaltung von 0,05 mm Wandabstand, so kann die Dehnung höchstens 0,005 mm ausmachen und somit noch keine Rissebildungen oder gar Aufsprengungen herbeiführen. Was aber im Einzelfall belanglos erscheint, wird bei vielen Wiederholungen gefährlich. Füllt sich im Verlaufe von Frost-Tau-Wechseln der durch das Treiben jeweils

 wenig erweiterte Porenraum mit Wasser wieder an, so wird der Hohlraum immer grösser und das Gefüge in seiner Umgebung gelockert. Erst durch diese ständige Wiederholung tritt dann der eigentliche Frostschaden ein.

Spezialfälle

Man hat gefunden, dass die hauptsächlich auf den alten deutschen Autobahnen beobachteten Schädigungen durch Tausalze keiner chemischen Zersetzung des Betons entspringen. Es sind eigentliche Frostschäden, die in hohem Masse verstärkt werden, indem durch das sofort eintretende Schmelzen des Oberflächeneises der Beton eine ungewöhnlich rasche Abkühlung erfährt. Dies muss, gemäss dem oben geschilderten Mechanismus, das Auftreten von Frostschäden stark fördern.
Die Erfahrung hat gezeigt, dass der Beton, der künstlich eingeführte feine Luftporen enthält, in der Regel eine erhöhte Frostbeständigkeit aufweist. Diese kugelförmigen Luftblasen haben einen Durchmesser von 0,01 bis 0,1 mm und nehmen insgesamt 3—4 % des Raumes des Betonkörpers ein. Die Wirkungsweise dieses Mittels erklärt sich wohl am besten dadurch, dass mit den feinverteilten Lufteinschlüssen vermehrten Ausweichraum für das sich beim Gefrieren dehnende Wasser geschaffen wird.
Da die Einführung von Luftporen die Festigkeiten des Betons grundsätzlich herabsetzt, ist die Anwendung der LP-Mittel sehr heikel und bedarf der ständigen Überwachung. Die Festigkeitseinbusse kann meistens durch verminderte Wasserzugabe wettgemacht werden.

Vermeidung von Frostschäden

Ein qualitativ hochstehender Beton ist, wie ein vorzüglicher Naturstein, praktisch frostbeständig. Die folgenden Richtlinien sind bei der Herstellung dieses Betons speziell zu beachten:

1. Allgemein gilt auch hier: Möglichst wenig Anmachwasser. Je mehr Anmachwasser im Verhältnis zum beigegebenen Cement zugefügt wird, desto grösser wird die Porosität des Betons und desto geringer die für die Frostbeständigkeit ebenfalls wichtige Zugfestigkeit. Aus dieser Beziehung geht auch hervor, dass sich eine hohe Cementdosierung vorteilhaft auswirkt.

2. Zuviel Anmachwasser und schlechte Kornabstufung begünstigen die Bildung von Makroporen infolge Entmischungserscheinungen (insbesondere Wasserabscheidung).

3. Durch ein übermässiges Bearbeiten (Vibrieren und Abreiben) der Betonoberfläche erhöht sich die Gefahr der internen Wasserabscheidung an der Unterseite von grösseren Zuschlagskörnern nahe der Oberfläche.

4. Bei Verwendung von relativ grobem Zuschlagsmaterial bilden sich vermehrt interne Schwindrisse. Auch können in diesem Falle

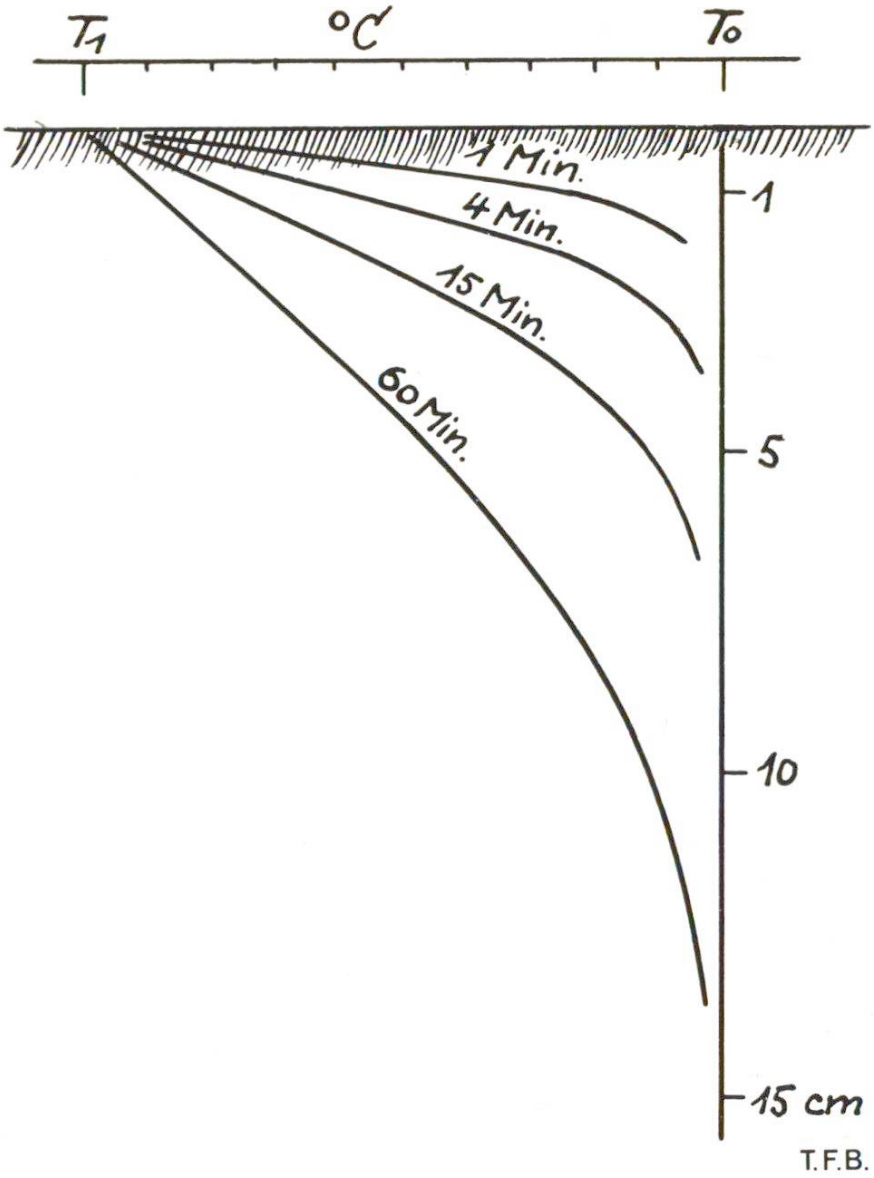

Abb. 4 Temperaturverteilung in der Tiefe des Betons nach Ablauf verschiedener Zeiten, nachdem die Betonoberfläche von der Temperatur T_0 auf T_1 abgekühlt worden ist (nach Joisel)

die verschiedenen Wärmedehnungskoeffizienten der Gesteine (z. B. Quarz-Kalkstein) eine den Frostschaden begünstigende Rolle spielen.

5. Der Zuschlagsstoff muss aus gesundem Steinmaterial zusammengesetzt und sauber sein. Poröse Körper oder Holzstückchen können bei Frost oft auch zu Aussprengungen führen.

Literaturangaben

F. M. Jackson, J. Am. Concr. Inst., **Proc. 52,** 159 (Okt. 1955).

E. Hartmann, Zement-Kalk-Gips, **10,** 265 und 314 (1957) (mit sehr vielen Literaturangaben).

A. Joisel, Revue des matériaux, N° 547, 209 (Paris, April 1961).

R. E. Hess, Künstliche Luftporen im Beton (Zürich 1961) (mit vielen Literaturangaben).

Zu jeder weitern Auskunft steht zur Verfügung die
TECHNISCHE FORSCHUNGS- UND BERATUNGSSTELLE DER SCHWEIZERISCHEN ZEMENTINDUSTRIE WILDEGG, Telephon (064) 8 43 71

607