

Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 16-17 (1948-1949)
Heft: 21

Artikel: Die Erhärtung des Cements
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-153254>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 12.05.2025

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

CEMENTBULLETIN

SEPTEMBER 1949

JAHRGANG 17

NUMMER 21

Die Erhärtung des Cements

Entwicklung der neueren Erhärtungstheorien. Wasserbindung. Umwandlung der Klinkermineralien. Einflüsse der Reaktionsflächen. Temperatur.

Schon vor der Erfindung des Portlandcements war man bemüht, zu erforschen, warum gewisse Bindemittel mit Wasser zusammen zu einer steinharten Masse zu erstarren vermögen. Auch heute noch bildet der Erhärtungsvorgang den Gegenstand zahlreicher Untersuchungen, und man kann durchaus nicht von einer endgültigen Abklärung dieses Problems sprechen. Aber gerade daraus ist am besten ersichtlich, wie verwickelt und schwer kontrollierbar die Verhältnisse in Wirklichkeit sind.

Gibt man zu einem Cement die vorgeschriebene Menge Wasser und leitet damit die chemischen Reaktionen ein, die man als Hydratation bezeichnet, so muss als erstes wichtiges Merkmal festgehalten werden, dass es sich um ein Reaktionssystem flüssig-fest handelt. Ersetzen wir die flüssige Phase, das Wasser, in Gedanken durch Wärmestrahlen, so ist ohne weiteres klar, dass die Wärmeaufnahme um so rascher erfolgt, je grösser die Oberfläche des festen Körpers ist. Genau so erfolgt der Hydratationsprozess um so rascher und umfassender, je grösser die Oberfläche bzw. die Feinheit des Cementes ist. Damit können wir uns den Ablauf der verschiedenen Reaktionen als auf die Grenzflächen flüssig-fest beschränkt vorstellen. In das Innere des Cementkornes dringt der

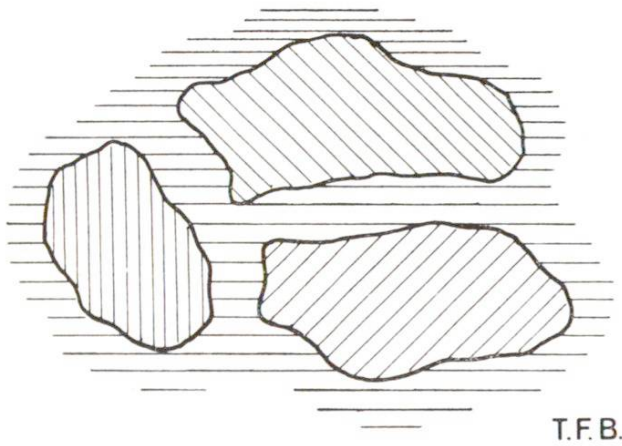


Abb. 1 Angriff des Wassers auf die Oberfläche des Klinkerkornes

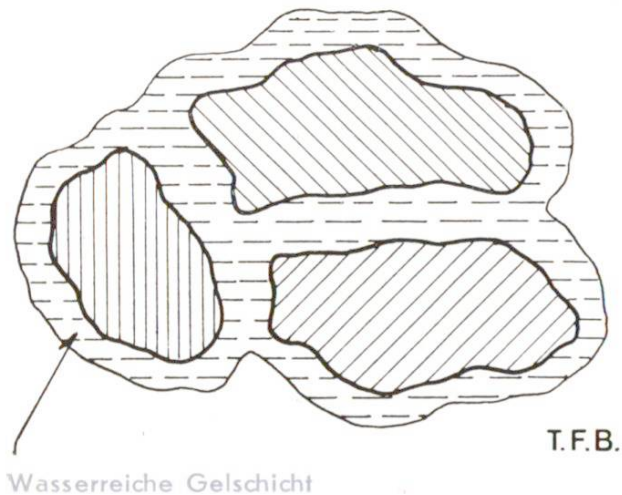


Abb. 2 Hydratation der Oberfläche und Bildung der Gelschicht

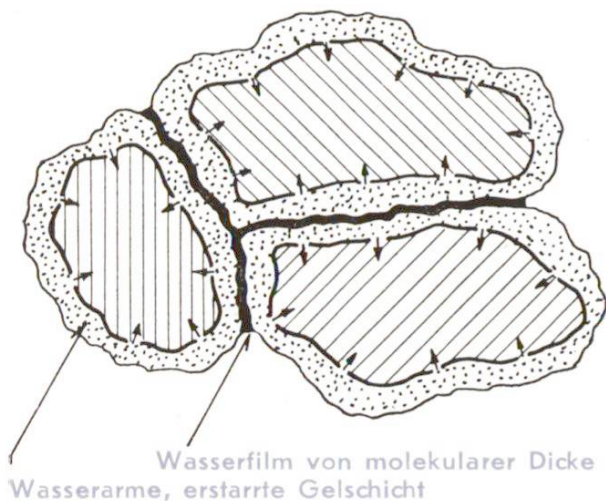


Abb. 3 Erhärtung der Gelschicht:
Abwanderung des Wassers in
das Innere des Kornes und
Bildung dünner Wasserfilme,
die Kohäsions-Kräfte bewirken

Abb. 1-3 Schematische Darstellung des Abbinde- und Erhärtungsvorganges von Cement

Hydratationsprozess nur langsam ein, d. h. bei einem Korndurchmesser von 15—30 μ ($1 \mu = 0.001 \text{ mm}$) beträgt die Eindringtiefe nach 90 Tagen erst 5 μ .

Da nun der Cement aber kein einheitlicher Stoff ist, sondern ein Gemisch zahlreicher Mineralien, von denen die meisten noch in verschiedener Weise reagieren können, ergibt sich eine grosse

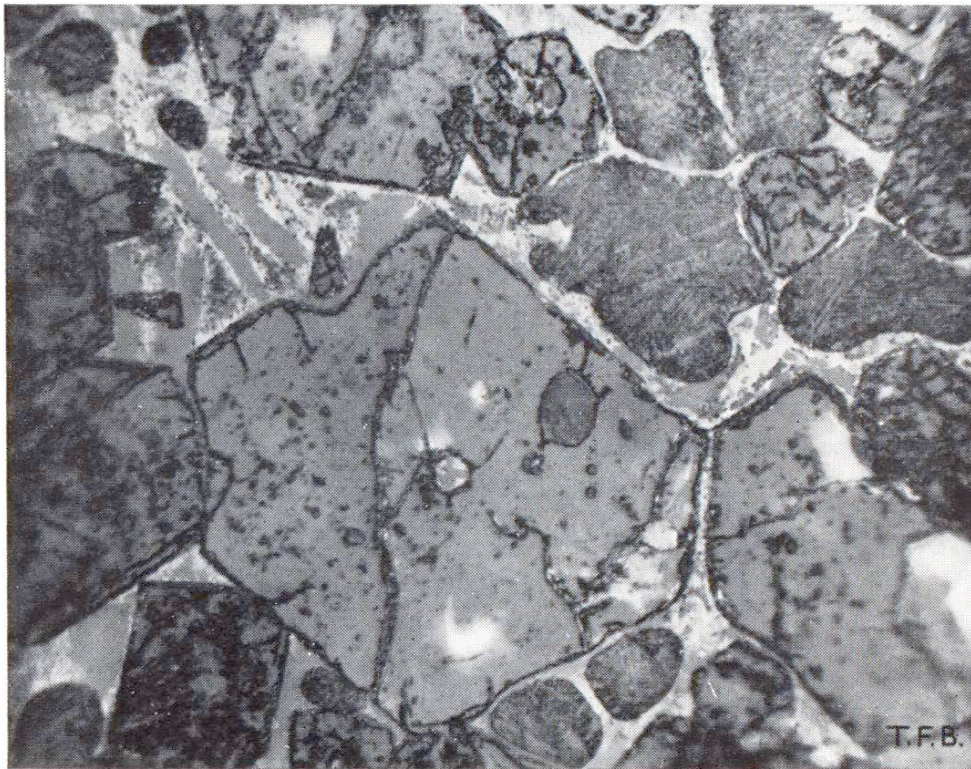


Abb. 4 Mikroskopisches Bild des Anschliffs von Portlandcementklinker (Vergrößerung 540fach). Die grossen 6kantigen Tafeln sind Alit-Kristalle, die abgerundeten Körner mit gekreuzter Lamellen-Zeichnung bestehen aus Belit. In der Glasschmelze zwischen den Alit- und Belit-Kristallen erkennt man weitere Mineralien

Mannigfaltigkeit in den Hydratationsreaktionen. Die wichtigsten Bestandteile des Cements sind die folgenden:

1. Tricalciumsilikat	= Alit $3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	ca. 50 %
2. Dicalciumsilikat	= Belit $2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$	ca. 25 %
3. Tricalciumaluminat	= $3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$	ca. 10 %
4. Tetracalciumaluminatferrit	= $4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	ca. 10 %
5. Gips	$\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{ H}_2\text{O}$	ca. 5 %
6. Freier, ungebundener Kalk	CaO	ca. 1 %

Diese Verbindungen reagieren mit Wasser unter Bildung neuer Stoffe, die das Wasser als weiteren Baustein aufgenommen haben. Bezeichnet man die aufgenommene Wassermenge mit aq, so lässt sich folgendes Grundschemata für den Hydratationsprozess aufstellen:





Abb. 5 Mikroskopisches Bild von langen Nadeln von Aluminaten, Sulfoaluminaten und Carboaluminaten, die sich nach 3jähriger Erhärtung der Cementminerale bildeten (Vergrößerung 580fach)

Bedenkt man nun, dass das angegebene Schema nur das Gerüst einer Reaktionsfolge ist, d. h. dass die einzelnen Reaktionen in mehreren Stufen vor sich gehen unter Bildung zahlreicher Zwischenprodukte, dass die Reaktionsgeschwindigkeiten verschieden sind, so ist ohne weiteres ersichtlich, wie komplex der Hydrationsvorgang ist.

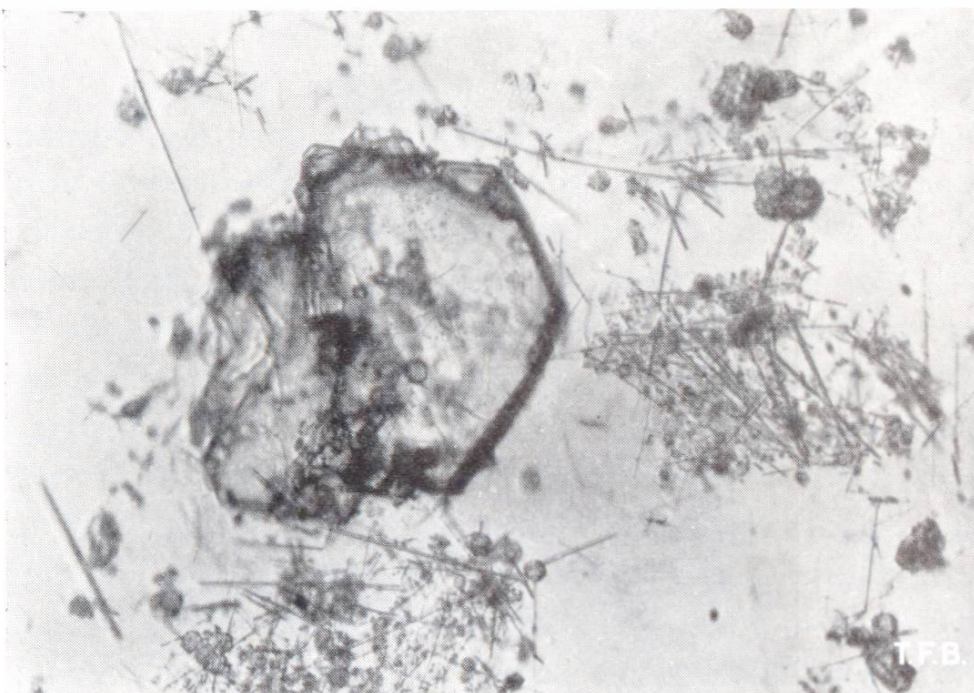


Abb. 6 Wie Abb. 5, zeigt ferner ein sechseckiges Blättchen von abgeschiedenem Kalkhydrat (Vergrößerung 125fach)

5 Wie ist es nun möglich, dass eine solche Reaktionsfolge dem anfänglich plastischen Material so hohe Festigkeiten verleihen kann, dass es als Baustoff zur Verwendung kommen kann? Zur Klärung dieser Frage stellte Le Châtelier die Kristalltheorie und Michaelis die Kolloidtheorie auf, die trotz anfänglich unüberbrückbar scheinender Gegensätzlichkeit durch die heutigen, modernen Untersuchungsmethoden als einander nicht vollständig wesensfremd zu betrachten sind.

Da alle Hydratationsprodukte in Wasser nur schwer löslich sind (Beton ist wasserbeständig!), entsteht nach Le Châtelier in der Grenzschicht Cementkorn-Wasser eine übersättigte Lösung dieser Hydratationsprodukte. Durch rasch einsetzende Kristallisationsprozesse ergibt sich durch Verfilzung der wachsenden Kristalle ein festes Gefüge, was die erwünschte Festigkeit des abgebundenen Materials zur Folge hat.

Etwas später stellte Michaelis seine Kolloidtheorie auf, wobei er die Bildung einer gallertigen Hülle durch hydratisierte Silikate um die Cementkörner als primären Effekt ansieht und nicht Kristallisationsprozesse. Dass solche ganz ausbleiben, behauptet er nicht, sondern schreibt ihnen nur keine festigkeitsgebende Bedeutung zu. Eine solche gallertige Masse, wie wir sie z. B. im aufgequollenen Leim kennen, bezeichnet man in der Kolloidchemie mit Gel, und wir wollen im folgenden ebenfalls diesen Ausdruck gebrauchen.

Da man früher kolloid, womit eine sehr feine Verteilung bezeichnet wird, zwangsläufig mit einem amorphen (nicht kristallinen) Zustand verknüpft hat, waren die beiden Theorien vollkommen gegensätzlich. Heute weiss man, dass auch sehr fein verteilte Substanzen kristallin sein können, so dass die beiden Theorien einander nähergerückt sind. Ein Ineinanderwachsen von Kristallen als Ursache der Festigkeit ist jedoch unwahrscheinlich. Man hat sich vielmehr vorzustellen, dass das Wasser für chemische Reaktionen aufgebraucht wird und in den Verband der festen Substanz aufgenommen wird, also sozusagen in den festen Zustand übergeht. Ein Teil des Wassers wandert zudem in das Innere ab und setzt dort den Hydratationsprozess fort. Auf diese Weise wird das anfänglich wasserreiche Gel immer wasserärmer und damit schliesslich fest. Da nun das Volumen mit zunehmender Verfestigung kleiner wird, entstehen winzige Poren und Spalten in den Gelschichten und damit eine bedeutend grössere innere Oberfläche. Das restliche Wasser wird sich nun über diese grosse innere Oberfläche unter Bildung eines dünnen Films verteilen,

6 dessen Dicke in molekularen Dimensionen liegt. In solchen dünnen Schichten treten nun molekulare Kräftefelder auf, die zu grossen Kohäsionskräften Anlass geben. Diese Kräfte können grösser werden als diejenigen, welche die Bausteine eines Kristalles zusammenhalten, so dass beim Zerschlagen eines abgebundenen Mörtels die Spaltung nicht ausschliesslich an solchen Haftflächen erfolgen muss.

Dass sich beim Abbinden und Erhärten des Cementes chemische Reaktionen abspielen, ergibt sich ferner aus der Entwicklung von Wärme während des Abbindeprozesses. Die Messung der Hydrationswärme gibt somit Aufschluss über den Hydratationsgrad. Diese Wärmemengen schwanken in folgenden Grenzen:

3 Tage	41 — 90 cal/gr
7 Tage	46 — 97 cal/gr
28 Tage	61 — 109 cal/gr
90 Tage	72 — 114 cal/gr
180 Tage	74 — 116 cal/gr

Wir haben eingangs gesehen, dass die Hydratation umso rascher und umfangreicher erfolgt und entsprechend höhere Festigkeiten gibt, je feiner der Cement ist. Gleichzeitig erhöht sich aber auch die frei werdende Wärmemenge.

Die Abhängigkeit des Enthärtungsprozesses von der Umgebungstemperatur ist nicht gesetzmässig. Die Reaktionszeit ist jedoch in den meisten Fällen bedeutend grösser in der Nähe von Null Grad als bei 20°. Bei 30° und darüber verkürzt sich die Reaktionszeit nicht mehr und es tritt dann eher wieder eine Rückläufigkeit ein.

Wir wissen aus der Praxis, dass der Cement nicht sofort abbindet, d. h. dass der eigentliche Erhärtungsprozess nicht augenblicklich spürbar in Erscheinung tritt. Dies wird absichtlich erzielt durch den Zusatz von $\sim 5\%$ Gips, der als Abbindeverzögerer wirkt. So kann man eine einheitliche Abbindezeit erhalten und eine bestimmte Zeit garantieren, während welcher der angemachte Mörtel verarbeitbar ist.

F. B.