

Zeitschrift: Cementbulletin
Herausgeber: Technische Forschung und Beratung für Zement und Beton (TFB AG)
Band: 8-9 (1940-1941)
Heft: 4

Artikel: Der Erhärtungsprozess des Cements
Autor: Humm, W.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-153147>

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: 05.02.2025

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

CEMENTBULLETIN

JULI – AUGUST 1940

JAHRGANG 8

NUMMER 4

Der Erhärtungsprozess des Cements

Dem Beton die Zukunft!

2 Wie und warum erhärtet der Portlandcement, wenn er mit Wasser vermischt wird? Diese Frage erscheint vielen überflüssig; denn wenn der Cement nicht erhärten würde, wäre er eben gar keiner! So sehr nimmt man heutzutage als gegeben hin, dass das graue Pulver, mit Wasser angemischt, zu Stein erhärtet und dann eine hohe und sogar noch ständig steigende Festigkeit aufweist. Oder dass man den Cement mit dem Fünf- bis Zehnfachen seines Gewichts an Sand und Kies zu einer homogenen, künstlichen Nagelfluh, d. h. zu Beton von felsenähnlicher Härte verkitten kann, dass dieser Beton auch unter Wasser erhärtet und darin beständig ist.

Wer hat sich schon vergegenwärtigt, welche gewaltige Zusammenhalt- oder Bindekraft dem unscheinbaren Produkt unseres heimischen Bodens innewohnt? — Um ein anschauliches Bild davon zu geben: Es ist der Cement, welcher einzig und allein im Beton das lockere Sandkies zu einem neuen Material so zusammenschweisst, dass jeder Quadratcentimeter die Last von 4 Mann (= 300 kg) oder mehr tragen kann. Einem stecknadelkopfgrossen Stückchen Cement vertrauen wir ruhig eine Last von mehreren Kilogramm an und wissen, dass wir das mit einer vielfachen Sicherheit tun dürfen. Ein dünner Cementfilm ist es, der den Bau riesiger Staumauern und der kühnsten Brückenkonstruktionen ermöglicht (Fig. 1).

Wegen seiner Eigenschaft, nicht nur unter Wasser zu erhärten, sondern diesem dauernd zu widerstehen, also praktisch nicht angegriffen zu werden, ist der Portlandcement der bedeutendste Vertreter der sog. «hydraulischen» Bindemittel und geradezu der Inbegriff eines solchen.

Die Natur bietet kein Beispiel für das ganz eigenartige und sozusagen einmalige Verhalten des Portlandcementes. Um so lehrreicher ist der Einblick in die Eigenschaften dieses Meisterwerks der Technik, welches der Portlandcement darstellt, weil mit ihm der Mensch in kürzester Zeit und in gewollter Formgebung und Güte ein ähnliches Material zustandebringt, zu welchem die Naturkräfte für die Bildung der Nagelfluh Hunderttausende von Jahren benötigt haben. Zum Verständnis des Erhärtungsvorgangs genügt die äussere, allgemeine Vorstellung, die man vom Cement als Baustoff hat, allein nicht, sondern wir müssen tiefer in dessen Wesen eindringen. Es ist notwendig, sich zunächst darüber klar zu sein, was der Portlandcement sowohl vom chemischen, als auch vom physikalischen Standpunkt aus ist.

Chemische Grundlagen.

Portlandcement ist im wesentlichen eine aufs allerfeinste gemahlene Sinterschmelze, in welcher die folgenden hauptsächlichsten und wichtigsten Bestandteile vorhanden sein müssen:

- CaO = Calciumoxyd (gebrannter Kalk)
- SiO₂ = Siliziumdioxyd, Kieselerde
(in reiner Form als Bergkristall bekannt)
- Al₂O₃ = Aluminiumoxyd, Tonerde
(in reiner Form als Saphir bekannt)
- FeO₃ = Eisenoxyd

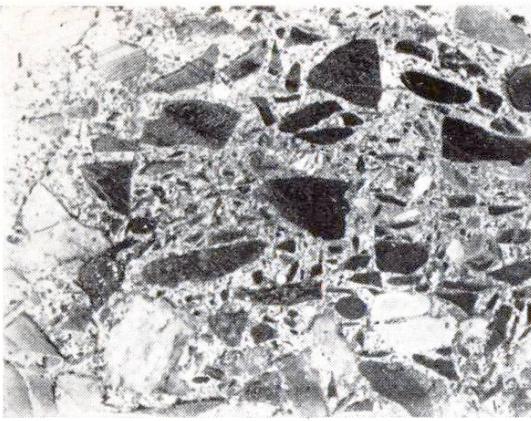


Fig. 1.
Schnittfläche von Beton.

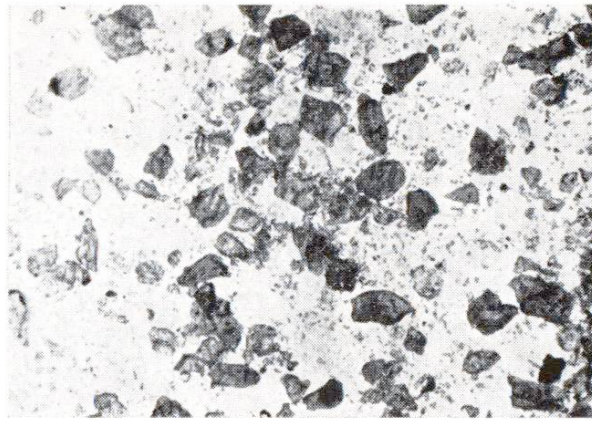


Fig. 2. **Cementmehl bei mehrhundertfacher Vergrößerung unter dem Mikroskop.**
Die durchschnittliche Korngrösse beträgt etwa $\frac{1}{50}$ Millimeter.

Es ist nun für die Erhärtung und für die Erzielung von hohen Festigkeiten ganz besonders wichtig, dass selbst das kleinste Cementstäubchen seinen genau bestimmten Gehalt an allen den genannten Bestandteilen aufweist.

Die Sinterschmelze der oben genannten Grundbestandteile des Cements, d. h. der Klinker, ist nun nicht etwa nur ein inniges Gemisch dieser Stoffe, sondern diese sind zu neuen chemischen Verbindungen zusammengetreten, welche teils zu Glas, teils in winzigen Kristallen erstarren. Die genannten Erden haben in der Glühhitze von über 1400°C den Kalk aufgelöst, bzw. aufgenommen. Durch dieses «Auflösen» des Kalks haben alle Bestandteile grundlegende Veränderungen erfahren:

- a) Der Kalk, welcher sonst für sich allein mit Wasser heftig unter Dampfentwicklung reagiert und zu einem feinen Pulver, dem Kalkhydrat, zerfällt, kann sich nun nicht mehr so rasch und ungestüm mit dem Wasser verbinden. Der Löschvorgang ist also in feste Bahnen gelenkt und es kann nur so viel Wasser zu jedem einzelnen Kalkteilchen hinzutreten, als die es umgebenden Tonerde-, Kieselerde- usw.-Teilchen durchlassen.
- b) Die Kieselerde (SiO_2), die Tonerde (Al_2O_3) und das Eisenoxyd (FeO_3), welche sich alle mit Wasser nicht verbinden und darin absolut unlöslich sind, quellen jetzt unter Wasser auf und können sog. Hydrate in Form von gallertartigen, aber harten und für Wasser sehr schwer durchlässigen Massen bilden. Durch die sog. «feste Lösung» des Kalks im Glüh- und Sinterprozess ist also das Kristallgefüge der Kieselerde, der Tonerde usw. aufgelockert und diese mit Wasser nun verbindungs-fähig geworden.

Physikalische Grundlagen.

Wir wollen uns nun noch mit der Physik des Cements beschäftigen; denn sie ist von gleicher Wichtigkeit wie dessen Chemismus und für das Verständnis des Erhärtungsvorgangs unbedingt erforderlich. Wenn wir ein erbsengrosses Klinkerkorn, wie es aus dem Cementofen kommt, in Wasser legen, so würde es nun überraschenderweise Jahrzehnte dauern, bis das Wasser bis zu seinem innersten

4 Kern durchdringt. Man würde lediglich bemerken, dass sich äusserlich etwas Kalk ausscheidet, aber eine Schicht, die aus gallertartigen Kieselsäure- und Tonerdehydraten besteht, verhindert das weitere Eindringen des Wassers, so dass es selbst nach Jahren nur um Bruchteile eines Millimeters eindringen würde.

Sobald aber das Klinkerkorn immer feiner und feiner und zuletzt so fein gemahlen wird, dass ein zwischen den Fingern «unfühlbares» Pulver entsteht, so verändert sich die Reaktionsfähigkeit mit Wasser ganz ausserordentlich. Da ja nunmehr das einzelne Korn nur noch durchschnittlich einige Tausendstel Millimeter gross ist, so verkürzt sich die Zeit für die Wasseraufnahme auf wenige Sekunden, Tage oder Wochen, je nach dem Feinheitsgrad des Cementmehls (Fig. 2). Das Mahlen bezweckt ganz allgemein nicht nur eine Kornverfeinerung, sondern auch eine Vergrösserung der Gesamtoberfläche aller Cementkörner. Während ein 1 Gramm schweres Klinkerkorn eine Oberfläche von $2,2 \text{ cm}^2$ besitzt, steigt z. B. die Oberfläche des daraus hergestellten Gramms Cement auf gegen 2000 cm^2 oder ein Fünftelquadratmeter. Ein Sack Portlandcement à 50 Kilo stellt also eine wirksame Oberfläche von einer Hektare dar! Es ist nun leicht verständlich, dass auf eine solche gewaltige Oberfläche das Wasser weit rascher einwirkt als auf jene eines kompakten Klinkerkorns.

Es ist nun ein Merkmal aller solch feinen, unlöslichen Stoffe, dass sie sich mit Flüssigkeiten zu einem Brei oder Teig, je nach der angewendeten Menge vermischen lassen. Je feiner die einzelnen Teilchen sind, umso «plastischer», bildsamer wird der Teig, aber gleichzeitig steigt auch der Flüssigkeitsbedarf, da für die Benetzung einer grösseren, wirksamen Oberfläche naturgemäss auch mehr Flüssigkeit erforderlich wird.

Während des Zeitraums, in welchem der Cement verarbeitbar ist, wird also das Wasser mechanisch, d. h. physikalisch festgehalten. Während des Abbindens und Erhärtens wird es dagegen chemisch zu festen Verbindungen gebunden.

Der Erhärungsverlauf.

Das Verhalten des Cements vom Beginn des Anmachens mit Wasser bis zur vollständigen Erhärtung kann als allgemein bekannt vorausgesetzt werden. Im wesentlichen unterscheidet man hierin vier verschiedene Stadien (Fig. 3 und 4):

1. Der frisch angemachte Cement: Je nach der verwendeten Wassermenge entsteht ein flüssiges, teigförmiges oder steifes Gemenge, das sich in beliebiger Formgebung verarbeiten lässt. Das Wasser ist «physikalisch» festgehalten, d. h. es ist gefrierbar und lässt sich austrocknen, so dass die Cementmasse gefrieren oder austrocknen kann, wenn sie in diesem Stadium dem Frost oder trockener Zugluft ausgesetzt ist. Beides würde sich auf die zu erwartenden Festigkeiten sehr nachteilig auswirken.
2. Das «Anziehen» des Cements: Nach einiger Zeit ($\frac{1}{2}$ —1 Stunde nach dem Anmachen) bemerkt man, dass sich

5

an der Oberfläche des Cements Wasser abzuscheiden beginnt, d. h. der Cement setzt sich ab. Gleichzeitig tritt eine schwache Versteifung auf, sodass etwa die Konsistenz von frischem, unverarbeitetem Lehm vorliegt.

3. Der Abbindeprozess: Die anfänglich schwache Versteifung im zweiten Stadium ist nun der Beginn einer zunehmenden Verfestigung der Cementmasse. Die Wirkung des dem Klinkermehl als Abbinde-regulator zugesetzten Gipses beginnt nachzulassen und das anfänglich abgeschiedene Wasser wird

Plastometr. Widerst. in g/mm^2 (log. Masst.)

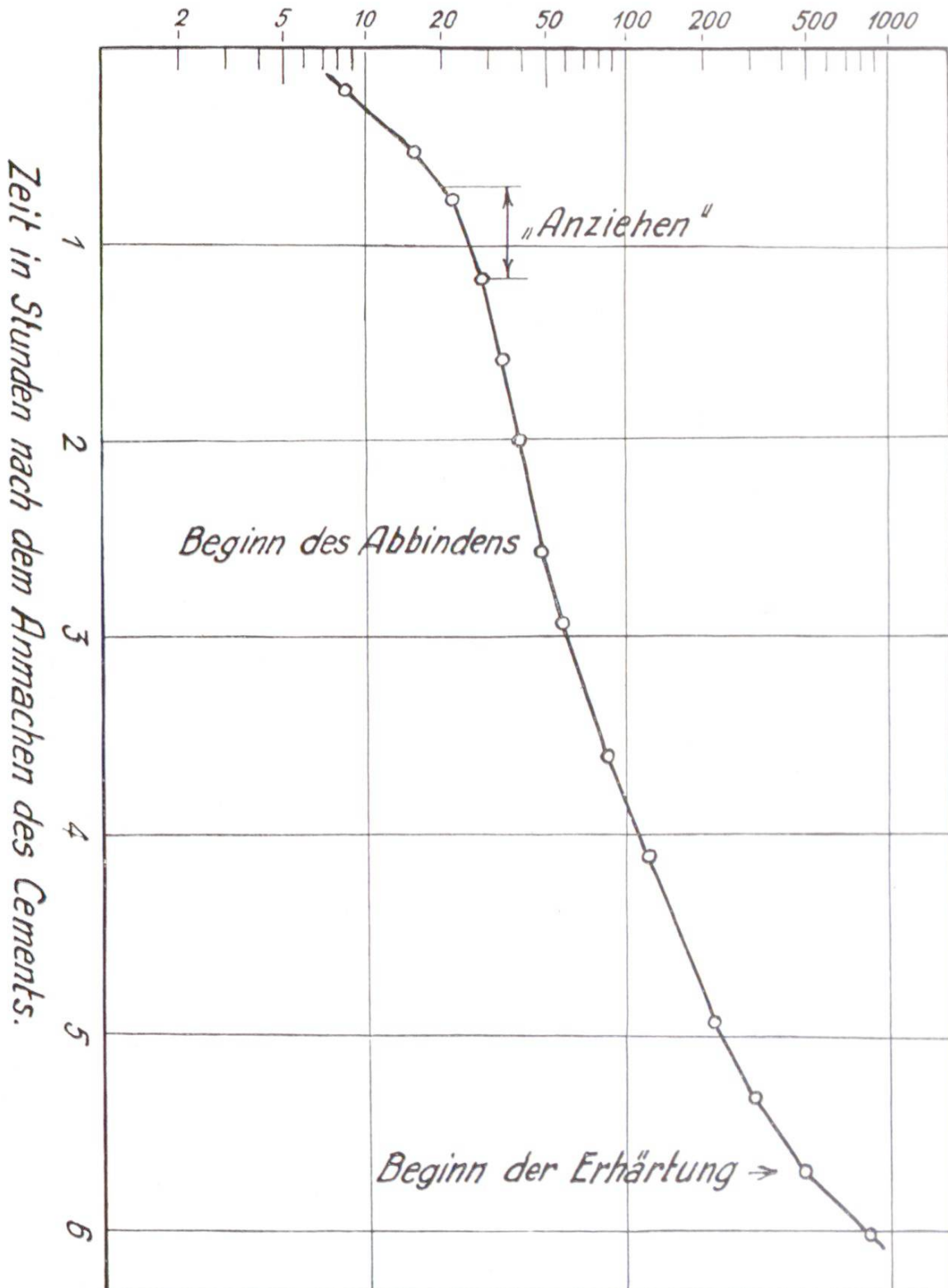
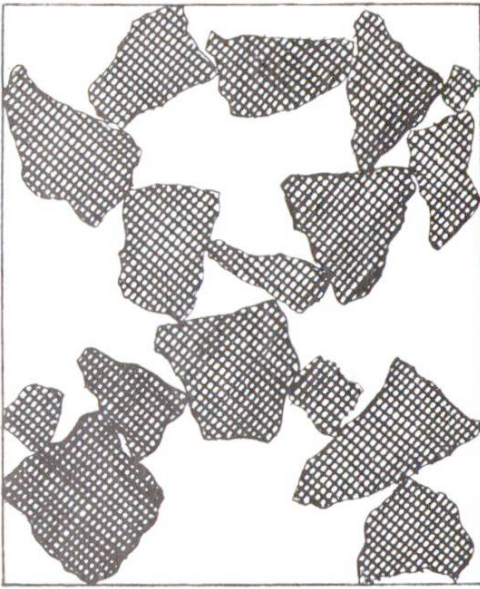
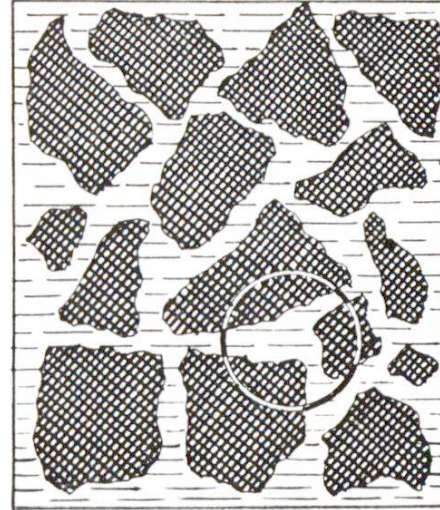


Fig. 3



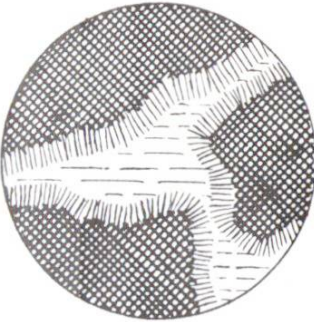
Struktur des Cementmehls.

Analog Pulverschnee infolge Gewölbebildung nicht verdichtbar.
 Spez. Gew. des Cements 3,1 Kilo/Liter.
 Raumgew. des Cementmehls 1,2 Kilo/Liter,
 also über 60 % Luftporen!



Struktur des frischen Cementteigs.

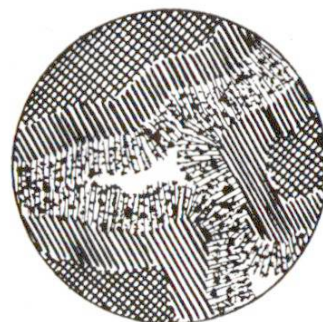
Das Wasser wirkt als Schmiermittel und die einzelnen Cementkörnchen sind mit einem Wasserfilm umgeben.
 Raumgewicht des Cementteigs 2,1 Kilo/Liter.



Cementbrei bei Beginn des Abbindens. Die einzelnen Körnchen umgeben sich mit einer Gel (= Gallert-)hülle und berühren sich stellenweise.



Erhärtender Cement: Die Gelhüllen wachsen zusammen. Beginn der Versinterung durch Kalk.



Cementstein: Versinterung durch Kalk weitgehend vollendet.

Fig. 4

wieder in die Cementmasse eingesogen, bis sich die einzelnen Cementkörnchen gegenseitig berühren. Da jedes Cementkörnchen bestrebt ist, infolge der oben beschriebenen chemischen und physikalischen Absorption des Wassers innerhalb der Oberflächenschichten noch mehr Wasser von der Oberfläche her aufzunehmen, also gewissermassen nach Wasser «dürstet», kommt ein gegenseitiges Ansaugen dieser Körnchen zustande. Dieser Ansaugprozess ist der wichtigste und merkwürdigste Vorgang bei der Cementerhärtung. Durch ihn wird erklärlich, weshalb der Portlandcement selbst unter Wasser erhärten oder sich auch mit andern Gegenständen verbinden kann. Der Ansaugprozess wirkt sich nämlich nur auf die dem Cementkorn zunächstliegenden Objekte aus, nicht aber auf entfernter liegende Teilchen.

Vom Moment an, in dem Wasser wieder eingesogen wird, darf die Cement-, Mörtel- oder Betonmasse auf keinen Fall mehr gestört werden, da sich sonst die Berührungsflächen zwischen den einzelnen Cementkörnchen trennen und nicht mehr in der ursprünglichen Kompaktheit wieder verbinden würden, wodurch die endgültige Festigkeit ganz erhebliche Einbussen erlitte.

Während des dritten Stadiums steigert sich die Temperatur der Cementmischung dauernd, ein Beweis, dass Wasser chemisch gebunden wird. Da die chemische Bindung des Wassers viel stärker ist als die physikalische, so wird also in stetem Uebergang aus den Grenzschichten Wasser in Richtung des Kerns der Cementkörnchen entzogen. Gleichzeitig kristallisieren fortwährend innerhalb der gallertigen Kieselerde- und Tonerdehydrat-Schichten in feinsten Verteilung Kalkverbindungen aus, was eine weitere Zunahme der Verfestigung zur Folge hat, da diese Kalkverbindungen schliesslich zu festen Kristallbrücken zwischen den einzelnen Körnchen zusammenwachsen und die dauernde Verbindung bilden. Dies ist aber bereits der Beginn der

4. Erhärtung und Nacherhärtung.

Vom Zustand an, in welchem der Abbindeprozess soweit fortgeschritten ist, dass der Cement mit dem Fingernagel nicht mehr geritzt werden kann, ist nun auch bereits mechanische Festigkeit vorhanden, und die Cementmasse trägt nicht nur ihr eigenes Gewicht, sondern kann weitere Lasten aufnehmen, ohne ihren Zusammenhang zu verlieren.

Härte und Festigkeit steigen in dem Mass weiter, als die genannten Kristalle wachsen und etwaige, kleinste Poren durch einen Kalksinter ausgefüllt werden. Am günstigsten kann dieses Kristallwachstum und die Versinterung der Poren durch möglichst ständiges Feuchthalten beeinflusst werden, da hierdurch der Kalkaustausch im Innern der Cementmasse ungehindert seinen Fortgang nimmt, bis praktisch ein Endzustand erreicht wird, in welchem der Portlandcement gleichmässig zu Hydraten verbunden, d. h. hydratisiert ist.

Zusammenfassend kann nun die Frage nach dem Warum und Wie der Erhärtung des Cements wie folgt beantwortet werden:

Der Portlandcement erhärtet hydraulisch

1. weil er imstande ist, das zum Anmachen, bzw. zum Verarbeiten benötigte Wasser chemisch zu binden, bzw. zu verbrauchen und sich damit zu neuen, festen Verbindungen umzusetzen,
2. weil jedes Cementkörnchen befähigt ist, an seiner Oberfläche eine für Wasser sehr schwer durchlässige Hülle von festen Gallerten zu bilden. Da der Kern der Cementkörnchen aus den Gallertschichten Wasser zu entziehen sucht, entsteht eine Saugwirkung, d. h. es saugt sich auf jeder undurchlässigen Unterlage oder an jedem benachbarten Cementkorn an,
3. weil aus jedem Cementkorn ausserordentlich harte, wasserhaltige Kalkverbindungen auskristallisieren und als feste «Kalksinter» alle noch so kleinen Hohlräume ausfüllen.

8 Schlussfolgerungen.

Der Hersteller des Cements ist ständig bemüht, durch richtige Aufbereitung und eine ständig genau kontrollierte Zusammensetzung der Rohstoffe ein Baumaterial zu erzeugen, welches den höchsten Ansprüchen genügt. Nun ergibt sich aus den obigen Ausführungen, als praktische Folgerung für die Verarbeitung des Cements auf dem Bauplatz, wie durch bewusste Anpassung an die Besonderheiten des Cements seine ganze Qualität zur vollen Auswirkung gebracht werden kann. Auf folgende Punkte sei speziell hingewiesen.

1. Trockene, zugfreie Lagerung des Cements, weil er schon aus feuchter Luft Wasser und Kohlensäure anziehen kann, dadurch knollig wird. Bei unsachgemässer Lagerung würde der Cement einen Teil seiner Festigkeit einbüßen.
2. Cement, Mörtel oder Beton soll nicht im Wasser «ersäuft» werden, und man soll niemals mehr Anmachwasser verwenden, als für eine zuverlässige Verarbeitung absolut nötig ist. Der Cement kann nur eine bestimmte Menge Wasser chemisch binden und jeder Ueberschuss verursacht eine Steigerung der Porosität, Verminderung der Festigkeit usw.
3. Alle mit Cement verarbeiteten Massen müssen zugluft- und erschütterungsfrei erhärten können. Nachträgliche Bearbeitung ist nur bis zum Anziehen des Cements ohne Nachteil.
4. Nach dem Abbinden, bzw. nach erfolgter Erhärtung soll er noch möglichst lange feucht gehalten werden, weil hierdurch die Festigkeiten günstig beeinflusst und das durch Austrocknung bedingte Schwinden weitgehend reduziert wird.

Dr. W. Humm