

# Über die Selbstdichtung von Betonblöcken bei den Wasserdurchlässigkeitsproben

Autor(en): **Zschokke, Bruno**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Wasserwirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbautechnik, Wasserkraftnutzung, Schifffahrt**

Band (Jahr): **15 (1922-1923)**

Heft 2

PDF erstellt am: **21.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-920324>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

einer hochbedeutsamen produktiven Arbeit widmen, die nicht nur bleibende Werte schafft, sondern durch die Nutzbarmachung der Wasserkräfte, eines unserer wertvollsten Naturschätze, die wirtschaftliche Abhängigkeit unseres kohlenarmen Staates vom Auslande mildern und wesentlich zur Wiederaufrichtung und Genesung unserer Staats- und Volkswirtschaft beitragen wird.

Ich zweifle nicht daran, dass die vorbeschriebenen Arbeiten auch im Auslande als ein Beweis dafür gewertet werden müssen, dass Österreich den festen Willen hat, sich aus tiefster Not durch Anspannung aller seiner Kräfte allmählich wieder emporzuarbeiten und möchte hoffen, dass meine Ausführungen mit dazu beitragen, dass die Vertrauens- und Kreditwürdigkeit Österreichs günstiger beurteilt werde als dies manchmal der Fall ist.



## Über die Selbstdichtung von Betonblöcken bei den Wasserdurchlässigkeitsproben.

Von Prof. Bruno Zschokke, Adjunkt der Eidg. Materialprüfungsanstalt, Mitglied der Abdichtungskommission.

In dem Bericht von Herrn Ing. Hugentobler über die Versuche im Hochdruckapparat zur Prüfung der Wasserdurchlässigkeit von Beton<sup>1)</sup> wurde auf die eigentümliche Erscheinung hingewiesen, dass der betreffende cylindrische Versuchskörper von 78 cm Durchmesser und 22 cm Höhe (mit einer Zusammensetzung von 7 Teilen reinem Kies, 5 Teilen reinem Sand und 398 kg Cement pro m<sup>3</sup> fertigen Beton), der bei seiner Unterdrucksetzung (5 Atm.) ein Alter von 35 Tagen besass, eine sehr rasche Abnahme der durchgeflossenen Sickerwassermengen aufwies. Denn es betrug diese Mengen am 15. Dezember 1921 (nach 24 Stunden) 1160 cm<sup>3</sup> per Tag, am 30. Dezember 220 cm<sup>3</sup>, am 30. Januar 1922 17,5 cm<sup>3</sup> und am 9. Februar sogar nur noch 9 cm<sup>3</sup>. Es hat also während der 57tägigen Versuchsdauer offenbar eine allmähliche Selbstdichtung im Betonkörper stattgefunden.

In der Sitzung der Abdichtungskommission vom 25. Februar 1922 wurde oben erwähnte Erscheinung eingehend diskutiert und es allgemein für wünschenswert erachtet, dass über deren Ursachen Klarheit geschaffen werde.

Der Berichterstatter hat nun über diesen Punkt einige Studien und Versuche angestellt, über welche nachstehend kurz berichtet werden soll.

Unter sonst gleichen Umständen hängt die Wasserdurchlässigkeit von Beton ab:

1. Von seiner Porosität, die wiederum durch die

besondere Beschaffenheit und das Mischungsverhältnis der einzelnen Componenten (Cement, Sand, Kies und Wasser und eventuell weitere Zusätze), sowie die Sorgfalt in der Ausführung der Arbeit bedingt ist.

2. Von der Höhe des angewandten Wasserdrucks.
3. Von den Vorgängen beim Erhärten des Betons bzw. des Cements.
4. Von der Beschaffenheit des Druckwassers und den physikalischen und chemischen Prozessen, die sich im Betonkörper beim Durchfließen des Druckwassers abspielen.

Es sollen im Folgenden nur die sub 3. und 4. erwähnten Verhältnisse etwas näher besprochen werden. Mit Bezug hierauf kommen als Ursachen für die Selbstdichtung von Beton ganz allgemein in Betracht:

- a) Quellungsvorgänge, die beim Hydratisieren der im Beton vorhandenen Cementkörner auftreten.
- b) Kolmatierung der Poren des Betons durch im Druckwasser suspendierte, gröbere und feinere mineralische und vegetabilische Körper.
- c) Kolmatierung durch feinkörnige mineralische Partikel, die in den oberen Teilen des Betonkörpers rein mechanisch abgelöst und durch das Druckwasser nach den untern Partien des Betonkörpers geführt werden.
- d) Kolmatierung durch unlösliches Calciumcarbonat (eventuell auch etwas Magnesiumcarbonat), das sich durch Einwirkung der im Anmach- und Druckwasser enthaltenen freien Kohlensäure oder gelösten Bicarbonate auf das freie Kalkhydrat bildet, welches letzteres sich beim Anmachen des Cements stets in grösseren oder kleineren Mengen abscheidet. Schliesslich können auch mehrere der genannten Faktoren zusammenwirken.

Betrachten wir nun die vier Möglichkeiten etwas näher:

ad a) Wenn auch die Vorgänge, die sich beim Brennen, Anmachen und Erhärten eines hydraulischen Bindemittels abspielen, heute noch lange nicht völlig abgeklärt sind, so lässt sich mit Sicherheit doch soviel sagen, dass sie nicht nur chemischer, sondern zum Teil auch physikalischer Natur sind. Nach dem gegenwärtigen Stand der Forschung kann man sich, was speziell den Portlandcement anbelangt, davon etwa folgendes Bild machen<sup>1)</sup>: Der frisch gebrannte

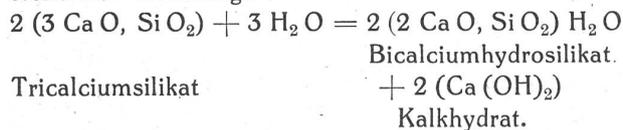
<sup>1)</sup> Der Portlandcement auf Grund chemischer und petrographischer Forschung von Dr. Oskar Schmidt. Stuttgart 1906.

Die Theorie des Erhärtungsprozesses der kalkhaltigen hydraulischen Bindemittel. (Vortrag von Dr. W. Michaëlis in der 32. Generalversammlung des Vereins deutscher Portlandcementfabrikanten. (9. III. 1909).

Die Welt der vernachlässigten Dimensionen. Eine Einführung in die moderne Colloidchemie von Prof. Dr. Wolfgang Ostwald. Vierte Auflage. Dresden und Leipzig 1920

<sup>1)</sup> Siehe Heft 3 der „Mitteilungen der Kommission für Abdichtungen des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes“ vom 25. März 1922.

Portlandcementlinker stellt ein Gemenge oder eine feste Lösung verschiedener chemischer Verbindungen von Kalk und etwas Alkalien mit Kieselsäure, Ton säure und eiseniger Säure dar. Freies Calciumoxyd ist darin sehr wahrscheinlich nicht vorhanden. Wird nun der pulverisierte Klinker mit wenig Wasser angemacht, so wird an der Oberfläche eines jeden Cementkornes ein Teil dieser Verbindungen gelöst, und kristallisiert aus der Lösung nach und nach wieder aus. So sind im erhärtenden Cement auf mikroskopischem Wege mindestens zwei Kristallarten, nämlich einerseits feine Nadelchen, die wahrscheinlich aus Calciummonosilikat und hexagonale Kriställchen, die aus Tricalciumaluminat und Kalkhydrat bestehen dürften, nachgewiesen worden. Ausser diesen genannten spielen sich aber noch andere Vorgänge ab. Ein beträchtlicher Teil des vorhandenen Calciumsilikates, wahrscheinlich in Form von Tricalciumsilikat, wird durch das Anmachwasser zersetzt unter Bildung von Bicalciumhydroasilikat und Kalkhydrat, gemäss nachstehender Gleichung:

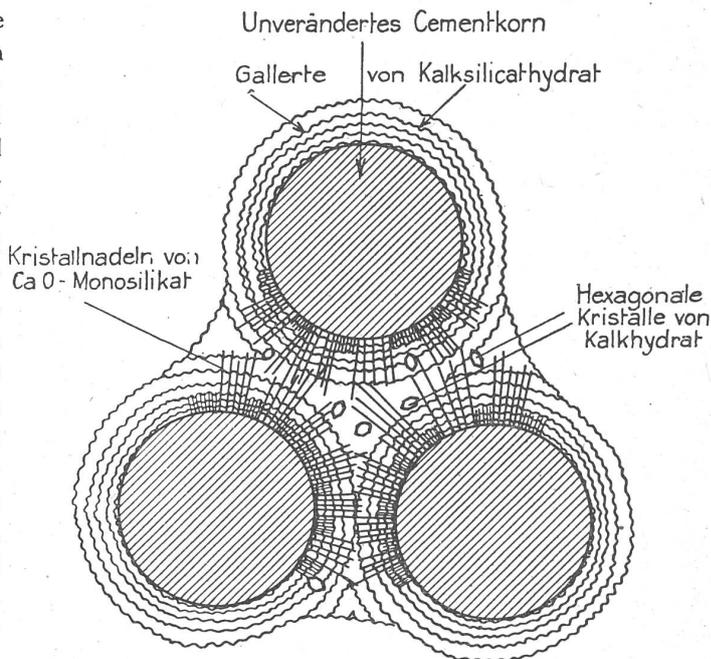


Tricalciumsilikat

Das entstandene Bicalciumhydroasilikat bildet nun, wie ebenfalls mikroskopisch nachgewiesen, eine den Kern des Cementkorns umhüllende gallertartige Masse, ein sog. „Hydrogel“ oder eine colloidale Lösung. Diese mit Aufquellung verbundene Hydratisierung des Cementkornes schreitet nun allmählich von aussen nach innen vorwärts. Teils durch Wassergabe nach innen an die noch unveränderten Teile des Kornes (Vorgang bei der Wassererhärtung), teils durch Verdunstung nach aussen (Lufterhärtung) geht nun das weiche, gallertartige Kalkhydroasilikat allmählich in eine unkristallinische, harte Masse (Gel) über, in welcher die oben erwähnten kristallisierten Verbindungen, ebenso wie das nach obiger Gleichung entstandene freie Kalkhydrat eingebettet sind; dieses Letztere wird, sei es aus der Luft, sei es, wenn es mit kohlen säurehaltigem Wasser in Berührung kommt, aus letzterem Kohlensäure aufnehmen und sich in Calciumcarbonat umwandeln.

Die Erhärtung des Portlandcementes basiert also im Wesentlichen auf drei Vorgängen:

1. auf der Bildung kristallisierter Verbindungen;
2. „ „ „ eines Hydrogels, das allmählich durch Austrocknen in einen wasserfreien, amorphen Körper übergeht;
3. auf der Bildung von Calcium- (eventuell auch etwas Magnesium) carbonat. Dieser letztere Prozess spielt allerdings, wenigstens bei der Luftlagerung von Beton, nur eine sekundäre Rolle und findet zur Hauptsache nur an der Oberfläche des Betons statt.



Man nimmt heute an, dass es hauptsächlich die sub 2. erwähnten physikalischen Vorgänge sind, welche die innige Verfilzung der Cementkörner unter sich, so wie ihre starke Adhäsion an den beige-mengten Sandkörnern und damit die hohe Festigkeit der hydraulischen Bindemittel bewirken. Es ist daher wohl möglich, dass die geschilderten Vorgänge beim Erhärten des Cementes auch einen gewissen Einfluss auf die Selbstdichtung des Betons haben dürften; denn in einem noch jungen Beton wird das Druckwasser sich noch einen Durchpass durch die mit weicher gallertartiger Masse gefüllten Poren zwischen den Cement- und Sandkörnern erzwingen können, während in dem Mass, als die Erhärtung des gebildeten Hydrogels fortschreitet, sich auch die Wasserdurchlässigkeit des Betons vermindern muss.

ad b) Wenn es auch als selbstverständlich betrachtet werden muss, dass in der Praxis, d. h. bei allen Fluss- und Seewässern, die darin stets suspendierten mineralischen Bestandteile und pflanzlichen Organismen (Plankton, Algen etc.) an der Kolmatierung von Betonmauerwerk einen wesentlichen Anteil nehmen, so ist dieser Einfluss bei den Wasserdurchlässigkeitsversuchen in der Versuchstation im „Letten“ vollständig ausgeschlossen, weil ja zu diesen Versuchen das filtrierte Trinkwasser der städtischen Wasserversorgung verwendet wird, welches vollständig frei von oben erwähnten mechanischen Beimengungen ist.

ad c) und d). Dass durch das Druckwasser feine Cement- und Sandpartikel im oberen Teil des Betonkörpers rein mechanisch losgelöst, dann nach den untern Partien des Blocks geschwemmt werden und dort vorhandene Poren verstopfen, ist ebenfalls sehr wahrscheinlich. Den Hauptanteil an der Kolma-

tierung bei dem eingangs erwähnten Versuch haben aber jedenfalls jene Produkte, die beim Anmachen des Cements und nachher noch in sehr beträchtlicher Menge auf chemischem Wege entstehen und sich später unter dem Einfluss der im Druckwasser enthaltenen Kohlensäure bezw. gelösten Bicarbonate weiter verändern.

Es ist schon weiter oben (Seite 2) erwähnt worden, dass bei der Zersetzung des Tricalciumsilikates durch Wasser sich beträchtliche Mengen von freiem Kalkhydrat abscheiden. Diese letztere Verbindung ist zwar in Wasser recht schwer löslich (bei 18° C. nur 1 Gew. Teil in 758 Gew. Teilen Wasser). Immerhin dürfte bei längerem Durchfliessen grösserer Wassermengen durch den Betonkörper ein beträchtlicher Teil gelöst und unverändert weggeführt werden, und zwar um so mehr, je weniger andere feste Bestandteile, und namentlich je weniger freie Kohlensäure und Bicarbonate im Druckwasser gelöst sind. Wohl der grösste Teil des gebildeten Kalkhydrates wird aber, teils wegen seiner Schwerlöslichkeit, namentlich aber zufolge der rasch erfolgenden Umwandlung in unlösliches Calciumcarbonat im Beton verbleiben, unter der Voraussetzung natürlich, dass das Druckwasser viel Bicarbonate gelöst enthält. Je nach der Menge, Grösse und Verteilung der Poren im Versuchskörper wird dieses feinpulverige Calciumcarbonat entweder schon im obern Teil des Blocks liegen bleiben und dort die Kolmatierung vollziehen, oder aber durch das Druckwasser in die untern Partien des Blockes geschwemmt werden, sich dort allmählich anhäufen und den Porenschluss bewirken. Auf alle Fälle beruht dieser letztere auf dem soeben geschilderten rein mechanischen Vorgang und nicht, wie man vielleicht erwarten könnte, auf einer bei der Umwandlung des Kalkhydrats in Calciumcarbonat entstehenden Volumenvergrösserung der Kalkteilchen; denn aus dem spec. Gewicht und dem Molokulargewicht von Kalkhydrat und Calciumcarbonat berechnet sich das Molecularvolumen des erstern zu 35,6, des letztern zu 36,7; die Volumenvergrösserung zufolge der Kohlensäureaufnahme ist also nur sehr geringfügig.

Betrachten wir nun diese Verhältnisse noch etwas eingehender: Das zu den Durchlässigkeitsversuchen im „Letten“ verwendete Zürcher Trinkleitungswasser hat nach einer im Herbst 1920, auf Veranlassung des Berichterstatters, durch die Eidg. Prüfungsanstalt für Brennstoffe vorgenommene Analyse folgende Zusammensetzung:

Kohlensäure (CO <sub>2</sub> )	=	21,7	mgr/p. Liter	
Sauerstoff (O)	=	9,8	„	
Calciumcarbonat				} Trockenrückstand 250,8 mg/p. L.
(Ca CO <sub>3</sub> )	=	179,4	„	
Magnesiumcarbonat				
(Mg CO <sub>3</sub> )	=	45,0	„	

Magnesiumsulfat				} Trockenrückstand 250,8 mg/p. L.
(Mg SO <sub>4</sub> )	=	10,1	„	
Natriumnitrat				
(Na NO <sub>3</sub> )	=	7,1	„	
Natriumchlorid				
(Na Cl)	=	1,6	„	
Kieselsäure (Si O <sub>2</sub> )	=	7,6	„	

wobei zu bemerken ist, dass diese Zusammensetzung nicht als eine unveränderliche zu betrachten ist, da das Mischungsverhältnis von weichem See- und harten Quellwasser, aus welchem das Zürcher Leitungswasser besteht, ein schwankendes ist.

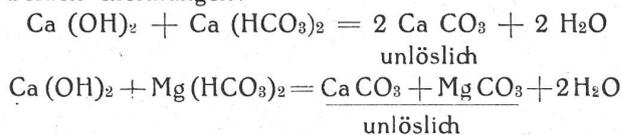
Wird angenommen, dass die gesamte (freie und gebundene) Kohlensäure an Kalk und Magnesia gebunden sei in Form der betreffenden löslichen Bicarbonate (was auch der Fall sein muss, da ja das Wasser völlig klar ist), so berechnet sich dessen Zusammensetzung wie folgt:

Calciumbicarbonat	Ca (H CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	=	290,6	mg/p. L.
Magnesiumbicarbonat	Mg (H CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	=	78,0	„
Magnesiumsulfat	(Mg SO <sub>4</sub> )	=	10,1	„
Natriumnitrat	(Na NO <sub>3</sub> )	=	7,1	„
Natriumchlorid	(Na Cl)	=	1,6	„
Kieselsäure	(Si O <sub>2</sub> )	=	7,6	„

Total 395,0 mg/p. L.

Das höhere Totalgewicht in dieser Analyse gegenüber der obigen (395,0 mgr gegenüber 250,8 mgr) rührt also von der durch die Bicarbonatbildung bedingten Kohlensäure- und Wasseraufnahme her.

Es geht aus dieser Analyse hervor, dass es sich um ein recht hartes Wasser handelt, das namentlich grosse Mengen Calcium- und Magnesiumbicarbonat gelöst enthält. Diese beiden Salze wirken nun aber auf das im Beton vorhandene, teils feste, teils in Wasser gelöste Kalkhydrat, unter Bildung der entsprechenden unlöslichen Carbonate ein, nach den beiden Gleichungen:



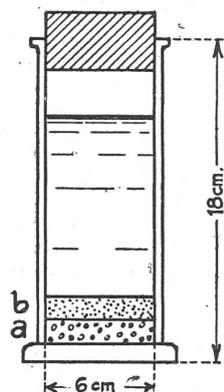
Dass Kalkhydrat mit dem Züricher Leitungswasser tatsächlich nach beiden obigen Gleichungen reagiert, ist auch durch einen kleinen Versuch leicht nachzuweisen:

Versetzt man eine völlig klare Lösung von Kalkhydrat mit Leitungswasser, so tritt sofort eine ziemlich starke Trübung ein und nach einiger Zeit bildet sich im Reagensglas ein weisser Niederschlag.

Um über die chemischen und physikalischen Vorgänge, die sich bei längerer Behandlung von erhärtetem Cement (bezw. Beton) mit Zürcher Leitungswasser und im Vergleich dazu mit chemisch reinem Wasser (destilliertem Wasser) abspielen, sich ein klares Bild zu machen, wurden folgende Versuche angestellt:

Portlandcement von der nämlichen Qualität, wie zum ersten Durchlässigkeitsversuch im Hochdruckapparat im „Letten“ verwendet worden,<sup>1)</sup> wurde ohne Sandzusatz mit 24% Leitungswasser zu einem Brei angemacht und dieser in messingene, würfelförmige Formen von  $7 \times 7 \times 7$  cm lichter Weite abgegossen. Von den auf diese Weise erstellten Cementwürfeln wurde einer nach 7tägiger, ein zweiter nach 35tägiger Lufthärtung im Zimmer, zerschlagen, pulverisiert und abgesiebt. Was von dem Pulver durch das 64-Maschensieb durchfiel und auf dem 144-Maschensieb liegen blieb, in seiner Korngrösse also dem Normal sand entspricht, wurde nun wie folgt behandelt:

Fig. 2



Je 30 gr Material beider Altersklassen wurden in einem cylindrischen Standglas (1) mit 350 ccm Leitungswasser von gewöhnlicher Temperatur, 30 weitere gr in einem andern Glas (2) mit ebensoviel destilliertem Wasser übergossen und die gut verschlossenen Gläser öfters umgeschüttelt. Nach 12stündigem Stehen hatten sich in erstem Glas über dem grau gefärbten, grobkörnigen Cementbodensatz (Schicht a in Abb. 2) ziemlich beträchtliche Mengen eines flockigen, voluminösen Schlammes von rein weisser Farbe gebildet, (Schicht b in Abb. 2), in Glas 2 dagegen nur eine sehr dünne Schicht von mehr grauer Farbe. Die Gläser wurden nun tüchtig durchgeschüttelt und nach dem sehr rasch erfolgenden Absetzen des Cements die darüber stehende Flüssigkeit, welche den erwähnten Schlamm in feinsten Suspension enthielt, abdekantiert. Die Cemente wurden hierauf neuerdings mit frischem Leitungswasser, bezw. destilliertem Wasser übergossen und mit diesem wiederum 12 Stunden sich selbst überlassen. Dabei bildete sich nur noch in den Gläsern mit Leitungswasser eine neue Schlamm-schicht, in den Gläsern mit destilliertem Wasser fand sozusagen keine Schlammabsonderung mehr statt. Die Operation des Auslaugens wurde bei allen vier Cementproben 10 mal wiederholt. Die ausgelaugten Cemente wurden schliesslich bei  $110^{\circ}$  getrocknet und gewogen, die abdekantierten und gesammelten Schlammengen abfiltriert, getrocknet und ebenfalls gewogen. Tabellarisch zusammengestellt, ergeben die Versuchsergebnisse folgendes Bild:

#### A. Versuche mit Zürcher Leitungswasser.

<sup>1)</sup> Spec. Gewicht 3,2. Glühverlust 10,86%.  
Erhärtungsbeginn nach 3 Stunden — Min.  
Bindezeit 13 Stunden — Min.  
Zugfestigkeit nach 28 Tagen =  $42,1 \text{ kg/cm}^2$ .  
Druckfestigkeit nach 28 Tagen =  $561,0 \text{ kg/cm}^2$ .  
Volumenbeständigkeitsproben bestanden.

#### 1. Alter der Versuchswürfel aus reinem Cement: 8 Tage.

Anfangsgewicht des Versuchsmaterials . . . . . = 30,000 gr  
Gewicht des ausgelaugten und getrockneten Cements . . . = 26,964 gr  
Totalgewichtsverlust durch Auslaugen (incl. weisser Schlamm) = 3,036 gr (10,12%)  
Gewicht des weissen Schlammes = 1,828 gr ( 6,09%)

#### 2. Alter der Versuchswürfel aus reinem Cement: 35 Tage.

Anfangsgewicht des Versuchsmaterials . . . . . = 30,000 gr  
Gewicht des ausgelaugten und getrockneten Cements . . . = 26,499 gr  
Totalgewichtsverlust durch Auslaugen (incl. weisser Schlamm) = 3,501 gr (11,67%)  
Gewicht des weissen Schlammes = 1,790 gr ( 5,97%)

#### B. Versuche mit destilliertem Wasser.

#### 1. Alter der Versuchswürfel aus reinem Cement: 8 Tage.

Anfangsgewicht des Versuchsmaterials . . . . . = 30,000 gr  
Gewicht des ausgelaugten und getrockneten Cements . . . = 26,085 gr  
Totalgewichtsverlust durch Auslaugen (incl. weisser Schlamm) = 3,915 gr (13,05%)  
Gewicht des weissen Schlammes = 0,337 gr ( 1,12%)

#### 2. Alter der Versuchswürfel aus reinem Cement: 35 Tage.

Anfangsgewicht des Versuchsmaterials . . . . . = 30,000 gr  
Gewicht des ausgelaugten und getrockneten Cements . . . = 26,629 gr  
Totalgewichtsverlust durch Auslaugen (incl. weisser Schlamm) = 3,371 gr (11,24%)  
Gewicht des weissen Schlammes = 0,223 gr ( 0,74%)

Aus dieser Zusammenstellung ergeben sich nun einige bemerkenswerte Resultate:

So zeigt sich erstens, dass der Versuchscement sehr beträchtliche Mengen (durchschnittlich etwa 12%) Substanzen enthält, die beim Behandeln des Cements mit kaltem Wasser zum Teil direkt in Lösung gehen, zum Teil in Form eines sehr feinen, weissen Schlammes aus dem grobkörnigen Cement abgeschieden werden. Dabei ist zu bemerken, dass bei ein und derselben Cementsorte dieser Prozentsatz natürlich in hohem Mass vom Zerkleinerungsgrad des Cementkörpers, der Zahl und Dauer der Auslaugungen, und der Beschaffenheit des Auslaugwassers abhängig ist. Bei der mit dem Versuchscement vorgenommenen Zahl von Auslaugungen (10 Operationen à 12 Stunden) war die Auslaugung noch nicht völlig beendet; denn

