

- KERL, B. Handbuch der gesammten Thonwaarenindustrie. 2. Aufl. Braunschweig 1879.
 TENAX, B. P. Die Steingut- und Porzellanfabrikation etc. Leipzig 1879.
 Notizblatt d. deutsch. Vereins f. Fabrikation v. Ziegeln, Thonwaaren, Kalk u. Cement Berlin. Erscheint seit 1865.
 Deutsche Töpfer- und Ziegler-Zeitung. Red. von F. HOFFMANN. Halle. Erscheint seit 1870.
Moniteur de céramique. Paris. Erscheint seit 1870.
 Der Thonwaarenfabrikant. Zeitschrift für Ziegler-, Hafner-, Kalk- und Cement-Industrie. Herausg. von
 J. BÜHRER. Stuttgart. Erscheint seit 1875.
 Zeitschrift für die gesammte Thonwaarenindustrie und verwandte Gewerbe. Red. von H. STEGMANN.
 Braunschweig. Erscheint seit 1876.
 Thonindustrie-Zeitung. Red. von H. SEGER. Berlin. Erscheint seit 1878.

3. Kapitel.

Die Mörtel und ihre Grundstoffe.

VON HANS HAUENSCHILD.

a) Allgemeines.

Unter Bindemittel oder Mörtel im weiteren Sinne versteht man plastische Substanzen, welche einerseits zur Ausfüllung der Fugen in den raumbegrenzenden Constructionstheilen, andererseits zur Verbindung derselben zu einem stabilen Ganzen dienen. Die Fugen-Ausfüllung durch eine plastische, allen Unebenheiten sich anschmiegende Masse bewirkt einmal die gleichmäsigere Vertheilung des Druckes auf die ganze Unterlage, vermehrt also die Stabilität in Folge Erhöhung der Druckfestigkeit des Mauerkörpers; ferner wird durch die Verbindung der einzelnen Theile zu einem Ganzen die aus der Reibung resultirende Stabilität wesentlich erhöht. Besitzt der Mörtel außerdem die Eigenschaft, selbst eine dem verbundenen Bauteile entsprechende Festigkeit anzunehmen, so tritt er nicht bloß indirect, sondern auch direct als Constructionsmaterial auf.

Die zu Mörtel tauglichen Substanzen verhalten sich verschieden, je nachdem ihre Plasticität bloß zeitweilig andauert oder eine Folge ihrer natürlichen Weichheit ist. Nur die ersteren sind Bindemittel im wahren Sinne des Wortes, weil sie sich, so lange sie plastisch sind, gegen die zu verbindenden Flächen wie benetzende und damit die Adhäsion derselben vermehrende Flüssigkeiten verhalten.

Als Bindemittel im eigentlichen Sinne sind zu unterscheiden:

1) Chemische Mörtel, welche in den festen Zustand übergehen, unter Abgabe von Breiflüssigkeit, aber auch unter chemischer Veränderung, indem ein Theil der zur Herstellung der Breiform verwendeten Flüssigkeit auch im festen Zustande damit verbunden bleibt, entweder stricte chemisch gebunden oder bloß intramolecular als Krytall- oder Colloid-Flüssigkeit. Diese Art von Bindemitteln allein wird im gewöhnlichen Leben Mörtel (Mörtel im engeren Sinne) genannt, und es gehören dahin die Kalk-, Cement- und Gypsmörtel.

2) Mechanische Mörtel, welche den Uebergang aus der halbfüssigen in die feste Aggregatform entweder durch Verlust mechanisch incorporirter Breiflüssigkeit, durch Austrocknen oder durch Erstarran aus dem Schmelzflusse durchmachen, ohne vorher und nachher zugleich chemische Veränderungen zu erleiden. Dahin gehören einerseits Lehm- und Chamotte-Mörtel, viele Kitte und Klebemörtel, andererseits der Asphalt- und Paraffin-Mörtel, der Schwefel und die Lothe. Von diesen Mörtelarten wird nicht weiter die Rede sein, da sie in den Rahmen der »wichtigeren Baustoffe« kaum einbezogen werden können.

Der Kalk, das aus kohlenfaurem Kalk gewonnene, durch das Brennen entcarbonisirte Calciumoxyd, auch Aetzkalk genannt, bedingt die Wirkfamkeit der weitaus wichtigsten und bedeutendsten Mörtelarten der ersten Gruppe. Seine Verwendbarkeit als Mörtelmaterial beruht darauf, dafs er, in Wasser aufgelöst und mit Sand vermifcht, allmählich wieder aus der Luft Kohlenfäure anzieht und hierbei zu einem festen, der Verwitterung widerstehenden Körper umgestaltet wird. Auch schwefelsaurer Kalk oder Gyps findet im Hochbauwesen als Mörtelmaterial ausgedehnte Anwendung; dagegen ist Magnesia dabei nur von beschränkter Bedeutung. Alle den Mörtelmassen hinzuzufügenden Basen müssen vor dem Zusammenbringen mit der Breiflüßigkeit in einen Zustand versetzt sein, welchen wir zuerst als den Colloid-Zustand bezeichnet haben, weil nur dadurch die Erzielung eines Breies, welcher in sich und mit den zu verbindenden Flächen eine gewisse Viscosität (Kittkraft, Klebrigkeit) besitzt, möglich ist.

52.
Mörtel-
Theorie.

Dieser Colloid-Zustand ist nur amorphen Körpern eigen, und alle Mörtel-Basen gehen durch Entziehung der krytallbildenden Bestandtheile in diesen über. Im Grunde genommen ist deshalb der Vorgang bei der Mörtelverwendung derselbe, wie beim Verkitten und beim Löthen, und bewirkt den Uebergang der scheinbaren Adhäsion, welche zwischen Flüssigkeiten und festen Körpern stattfindet, in die wirkliche Adhäsion.

Das *Stefan'sche* Gesetz der scheinbaren Adhäsion⁶⁶⁾ lautet: Zwei einander nahe gebrachte Platten haften mit einer Kraft auf einander, welche der zur Trennung nöthigen Zeit umgekehrt proportional ist; diese Zeit wächst im quadratischen Verhältniffe, wenn die Platten-Distanz im einfachen Verhältnifs abnimmt; ferner verhalten sich die Zeiten bei verschiedenen Plattenpaaren wie die vierten Potenzen des Radius der Platten, und die gedachten Zeiten verhalten sich wie jene, in welchen unter gleichem Drucke gleiche Flüssigkeits-Volumen durch Capillar-Röhren strömen. Wenn t die Zeit bezeichnet, die zur Zurücklegung eines Weges erforderlich ist, r den Berührungs-Radius, G das Gewicht, a die Entfernung der Platten und μ den Zähigkeits-Coefficienten, so ist nahezu

$$t = \frac{3\pi\mu r^4}{4Ga^2}.$$

Colloid-Substanzen strömen am langsamsten durch Capillar-Röhren; die Zeiten wachsen demnach proportional; die Bewegung an den benetzenden Wänden ist Null; im Inneren wird sie ebenfalls durch Uebergang in den festen Zustand gleich Null, daher die Zeit = ∞ , die dynamische Wirkung eine statische wird.

Um die Anwendbarkeit dieses Gesetzes auf die Wirkungsweise der Mörtel zu begründen, betrachten wir zuerst die Wirkungsweise der Mörtelsubstanzen vor der Verwendung, und zwar zunächst den Kalk als charakteristischen dieser Grundstoffe, als den eigentlichen Bindestoff.

Der Kalk wird als gebrannter oder Aetzkalk in Stücken vorliegend betrachtet. Gießt man Wasser darüber, so wird dieses in den sehr porösen Stein rasch eingefogen; sodann findet unter bedeutender, mit der Hydratirung desselben zusammenhängender Erhitzung eine Volumvermehrung statt, ein Aufquellen und Bersten, wodurch bei entsprechendem weiteren Wasserzusatz endlich eine dünne Breiflüßigkeit von milchiger Consistenz (Kalkmilch) entsteht, die bei ruhigem Stehen in eine käfige Masse übergeht, welche an ihrer Oberfläche einen Theil des verwendeten Wassers als gefättigte Lösung von Aetzkalk abstößt (Sumpfkalk). Der Brei besteht aus Körnchen von Kalkhydrat, welche ein ähnliches Verhalten zeigen, wie die zu Kleister aufgequollenen Stärkekörner, die mit ihren Anziehungssphären einander berühren und vollständig formlos, d. h. von ganz zufälliger amöboider Form sind. Zwischen sich und innerhalb der Aufquellungs-Sphäre selbst behalten sie gelöstes Kalkhydrat.

⁶⁶⁾ Vergl. Sitzungs-Ber. d. math.-nat. Cl. der kais. Akad. d. Wiss. in Wien. Bd. 69, Abth. II. 1874, Heft I--V, S. 713.

Dieses zieht bekanntlich mit großer Begierde Kohlenäure an, unter Bildung von krySTALLINISCHEM Kalkcarbonat. Eine Verdickung des Breies findet statt durch Verdunstung, Abfaugung oder Druck. Nur die Verdunstung vermag eine Bildung von krySTALLINISCHEM Kalkhydrat und damit einen Uebergang von dem breiartigen in den festen Zustand zu bewirken. Abfaugung und Druck entziehen gelöstes Kalkhydrat und bewirken nur einen höheren Grad von Dichte, einen Verlust an Plafticität ohne eigentliche Erhöhung der Festigkeit.

Die Aufnahme von Breiwasser geschieht so begierig, daß neben einander liegende Theilchen sehr verschieden aufgequollen sein können, innen noch einen festen Kern von Kalkhydrat oder selbst von Aetzkalk besitzen. Daraus erklären sich folgende Erscheinungen.

Setzt man nicht genug Wasser zu, so zerfällt der Kalk unter heftiger Erhitzung zu einem feuchten Staub, gedeiht ungleich weniger und fühlt sich hinterher mit Wasser zu Brei angerührt eine Zeit lang körnig, kurz und sandig an; man sagt dann, der Kalk sei verbrannt. Wird dagegen zu viel Wasser zugesetzt, so werden die Kalktheilchen zu weit von einander entfernt, und der Kalk heißt in diesem Falle erfäuft. Sonach erscheint es wichtig, die zum Löschen erforderliche und zulässige Wassermenge zu kennen, wovon bei der Ausgiebigkeit der Mörtel die Rede sein wird. Läßt man Kalk lange Zeit im gelöschten Zustande stehen, so nimmt seine gelatinöse Beschaffenheit und Viscosität bis zu einem gewissen Grade zu.

Mischt man zu einem Kalkbrei Pulver von ungelöschtem Kalk, so findet unter Erwärmung das statt, was man Abbinden nennt; der Kalk geht in den festen Zustand über, indem dem gequollenen Kalk das Quellwasser zur Bildung von Hydrat entzogen wird und dies unter Contraction und Flächenanziehung eine stabile Lagerung der Theilchen bewirkt.

Diese stabile Lagerung ist so in sich geschlossen, daß die Masse dadurch gegen weitere Einwirkung von Wasser unempfindlich wird, wahrscheinlich krySTALLINISCHE Structur annimmt, so daß sie als hydraulischer Mörtel benützt werden kann. *Loriot's* und *Artus'* Mörtel, welche vielfach praktische Anwendung fanden, beruhen auf dieser Wirkung der Flächenanziehung in Folge des Kampfes um das Wasser. (Vergl. Art. 66, S. 125.)

Enthält der Kalk als Rohstoff fremde Beimengungen, und dies sind hauptsächlich Sand oder Thon, also Kieselsäure, Thonerde, Eisenoxyd oder Magnesia, so wird er nach dem Brennen diese entweder in aufgeschlossener, d. h. quellungsfähiger Form oder in unverändertem Zustande oder aber als eine geschmolzene, glasartige Verbindung von Kalk mit Kieselsäure, bezw. Thonerde oder Eisenoxyd enthalten. Die Beimengungen können quantitativ in den verschiedensten Verhältnissen vorhanden sein und die Innigkeit der Mischung und die Korngröße ebenfalls sehr schwanken. Danach ist auch das Verhalten nach dem Brennen ein sehr verschiedenes. Bis zu einem Gehalt von 16 bis 18 Procent an Thon verwandelt sich der Kalk, feines Korn und innige Mischung vorausgesetzt, durch Wasser noch zu einem Brei, welcher aber unverhältnißmäßig weniger aufquillt, deshalb auch mehr feste Theilchen in sich hat und sich daher körnig, mager anfühlt. Daher der Ausdruck magerer Kalk für diese Gruppe. Ist dabei der Thon aufgeschlossen, so quillt nach einiger Zeit auch der Thongehalt durch Entziehung von Colloid-Wasser aus dem Kalk an und ruft hierdurch ebenfalls hydraulisches Abbinden hervor. Je mehr Thon vorhanden, desto energischer und rascher findet dies statt, aber nur dann, wenn in

vorher pulverisirtem Zustande, weil die Menge des Thonanteils dem Zerquellen des Kalkes bei Wasserzufatz schon entgegenarbeitet und eine allseitige Hydratirung hindert, andererseits aber in den Pulverkörnern neben dem Kalke eher zur Quellung und damit zur stabilen Lagerung der Körner gelangt. Je mehr die Porosität der gebrannten Stücke abnimmt, und dies geschieht mit Erhöhung der Brenntemperatur, je näher die Masse dem Zustande des Sinterns, der theilweisen Auflösung von Kalk in dem leichtflüssigen Thon kommt, desto mehr werden die Pulverkörner schieferige Structur und damit überwiegende Fläche gegen Masse erlangen, desto dichter wird die Aneinanderlegung erfolgen, desto geringer wird das Aufquellen, resp. die zum Hervorrufen des plastischen Zustandes benötigte Menge Wasser sein.

Enthält der Kalkstein so viel Thonerde-Silicate beigemengt, das er nach dem Brennen bei nicht bis zur Sinterung gesteigerter Temperatur unter Wasser erhärtungsfähig wird, wozu sich viele natürliche Kalk-Mergel eignen, so giebt er den sog. natürlichen Cement oder Roman-Cement, vielfach (besonders in Oesterreich) auch Cementkalk genannt. Ist bei einem natürlichen Stein oder einer künstlichen Mischung von Kalk und Thon der Gehalt an Thonerde-Silicaten eben genügend, um bei Weisgluth eine gefinterte, aber nicht völlig geschmolzene Schlacke zu geben, welche gepulvert unter Wasser erhärtet, so entsteht der Portland-Cement, der häufig auch im Gegensatz zum natürlichen Cement künstlicher Cement genannt wird.

Beim Roman-Cement oder Cementkalk ist die Bedingung der Porosität und der lockeren Structur erfüllt, das Abbinden findet deshalb rascher, oft unter Erwärmung statt. Beim Portland-Cement ist ein großer Theil des Kalkes legirt mit der geschmolzenen Thonmasse, aber ohne das sämmtlicher Kalk in eine wirkliche im Feuer entstandene Glasflußmasse übergegangen wäre, daher das langsame Binden ohne Erwärmung, dafür aber auch das weit energichere Binden, sobald dies einmal geschehen, wegen der bekanntlich schieferigen Structurform, daher Erzielung rascher bindenden Cementes bei gleicher Zusammensetzung entweder durch schwächeres Brennen oder durch staubeines Mahlen, wodurch verhältnißmäßig mehr Theile unmittelbar dem Wasser zugänglich bleiben. Steigt der Gehalt an Thon bis zur Hälfte des Kalkes im gebrannten Zustande, so tritt immer leichter völliger Schmelzfluß beim Brennen ein; der Mangel an verkittungsfähiger Substanz macht sich stärker geltend; die Berührungsflächen für Wasser vermindern sich; es tritt entweder erst nach längerer Zeit oder gar nicht mehr Quellung ein; der Stein wird unbrauchbar, für sich allein einen kittfähigen Mörtel zu geben. Dasselbe ist der Fall, wenn bei weniger, aber leichter schmelzbarem Thongehalt die Masse bis zum Verglasen gebrannt ist; dann lösen sich Stücke nicht mehr zu Kalkbrei oder nur äußerst langsam; der Stein ist todtebrannt.

Wenn hingegen die Mischung eine unvollkommene ist, gröbere Kalkkörner neben einander vorhanden sind, so kann nach dem Abbinden gerade das Entgegenquellen der Kieselsäure, Thonerde etc. dem Wasser neue Kalkpartien zugänglich machen, welche dadurch nachträglich aufquellen, den gewonnenen Zusammenhang einseitig gefährden oder aufheben; es tritt Zerbersten oder Treiben ein, die schädlichste Eigenschaft eines Mörtels.

Wird das Gestehen der gequollenen Masse durch fortgesetztes Umrühren und durch überflüssigen Wasserzufatz verhindert, so bildet sich ein Brei, welcher ähnlich, wie gelöschter reiner Kalk, unter Verdunstung, Absorption und Druck sein Volum vermindert und dadurch allmählich consistenter wird, der ohne eigentliches Abbinden unter Schwindung erhärtet.

Befinden sich inerte körnige Substanzen, sei es unaufgeschlossener Quarz oder Thon, sei es absichtlich zugesetzte Füllsubstanz, z. B. Sand, im Gemenge, so wird das Abbinden verzögert, aber die Zahl der sich berührenden und zu verkittenden Flächen vermehrt. Es ist leicht einzusehen, daß es für jedes Material gewisse günstigste Verhältnisse geben muß, unter denen das Bestreben zwischen Volumvermehrung und Schwindung sich neutralisiren muß; diese sind die volumbeständigen tadellosen Cemente. Bei dem kalkreichen, schweren Portland-Cement beträgt das Verhältniß von Kalk zu Thon stets nahezu genau 2 : 1; bei dem leicht gebrannten porösen Roman-Cement schwankt dasselbe von 3 : 2 bis zu gleichen Theilen; bei den mageren Kalken steigt es von 3 : 1 bis 5 : 1 unter steter Abnahme der Eigenschaft, im Wasser als fester Körper zu verharren oder unter Verminderung der Hydraulicität. Die Hydraulicität ist der Ausdruck des Widerstandes, den eine gestehende Colloid-Masse, welche in sich im Wasser theilweise lösliche Bestandtheile einschließt, dem Lösungswasser entgegensetzt.

Da nur durch Colloide eine wirkliche Verkittung stattfinden kann, wenn dem *Stefan'schen* Gesetz Genüge geleistet werden soll, so erklären sich all die complicirten Erscheinungen beim Erhärten ganz einfach. Die chemische Seite der Frage bleibt hier unberührt, und es genügt vollkommen der Hinweis auf die thatsächlich vorgehenden Proceße, ohne auf die verschiedenen Hypothesen von der Bildung mehr oder weniger complicirter Silicate während des Brennens oder während des Abbindens Rücksicht nehmen zu müssen.

Thatsächlich erhärten auch die Cemente nicht bloß in Wasser, sondern auch in anderen sie benetzenden Flüssigkeiten; thatsächlich wird das Gestehen oder die Herstellung eines Gleichgewichtszustandes zwischen den sich entgegen quellenden Theilchen durch manche Substanzen befördert, durch andere verzögert, genau so, wie es bei Leim und Gummi der Fall ist; thatsächlich lassen sich bereits erhärtete Cemente, wieder pulverisirt, abermals selbst ohne erneutes Glühen zum Erhärten bringen, und dies geschieht nahezu so energisch, wie das erste Mal; thatsächlich erlangt gewöhnlicher Kalkbrei durch Zusatz von Cement gerade so, wie durch Zusatz von Aetzkalk, Hydraulicität: es soll damit die vom Verfasser zuerst aufgestellte Colloid-Theorie oder, wie seine Anhänger sie nennen, Verkittungstheorie nicht als eine Hypothese, sondern als der auf Grund physikalischer Gesetze vor sich gehende, allgemein wirksame Proceß hingestellt werden, dessen einzelne Phasen zu beleuchten es noch mancher Beobachtungen bedarf⁶⁷⁾. Dies zum Verständniß der Wirkungsweise der Mörtel.

Die Classificirung der verschiedenen Mörtelarten wird demnach der Eintheilung der dabei verwendeten Bindstoffe zu folgen haben, welche wir deshalb — unter Benutzung der vom Cement-Comité des Oesterreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins am 10. April 1880 vorgeschlagenen präcisen Fassung — hier vorausschicken. Dieses Comité unterscheidet beim gebrannten Kalk zwei Hauptgruppen:

A) Lösbarer Kalk, welcher durch Bespritzen mit Wasser unter Wärmeentwicklung sich zu Pulver löst, bezw. mit Wasser gemengt einen Brei giebt. Dies geht bis zu einem Silicat-Gehalt von ca. 18 Procent; bei weniger löst er sich, bei mehr nicht mehr (vorausgesetzt feines Korn und gleichförmige Mengung; denn es kommen auch Mergel vor, welche sich noch mit 40 Procent Silicat und darüber lösen. — Zusatz des Verfassers). Die lösbaren Kalke werden wieder eingetheilt in:

53.
Lösbarer
Kalk.

⁶⁷⁾ Notizbl. d. deutsch. Ver. f. Fabr. von Ziegeln etc. 1879. II, S. 182 — und des Verfassers: Katechismus der Baumaterialien. II. Theil. Die Mörtelsubstanzen. Wien 1879.

Zur Wahrung der Priorität sei hier erwähnt, daß Verfasser bereits 1869 in der k. k. Akademie der Wissenschaften zu Wien eine Arbeit vorlegte, worin auf die Massenanziehung als die Verkittung bedingend hingewiesen wurde; das *Stefan'sche* Gesetz wurde erst 1874 aufgestellt, ohne Bezugnahme auf diesen Gegenstand; *Knapp* hatte die Massenanziehung verallgemeinert, ohne das Wie derselben erklären zu können. *Erdmenger* kam fast zu gleicher Zeit, wie Verfasser, zu ähnlichen Anschauungen bezüglich der Erhärtung von Portland-Cement.

- 1) Fettkalk (Weißkalk), welcher, wenn aus reinstem dichtem kohlenfaurem Kalk erzeugt, fein Volum beim Löffchen auf das Drei- bis Vierfache vermehrt. Fett wird ein Kalk noch genannt, wenn er beim Ablöffchen fein Volum wenigstens verdoppelt. Er giebt bei entsprechendem Sandzufatz einen Mörtel, welcher an trockener Luft nach einer gewissen Zeit erhärtet, wobei die Erhärtung unter dem Einflusse der Atmosphäre von der Oberfläche ausgehend nach und nach auch in das Innere des Mörtels eindringt. An feuchten Orten findet die Erhärtung nicht statt; im Wasser löst sich dieser Mörtel auf.
- 2) Magerer Kalk, welcher weniger als das doppelte Volum gelöfchten Kalk, aber immer noch mindestens um ein Viertel mehr giebt. Er giebt unter denselben Umständen, wie der Fettkalk, einen Mörtel, welcher rascher und vollständiger erhärtet, aber nicht so ergiebig ist.
Je nachdem im mageren Kalke fremde Beimengungen, insbesondere Verbindungen von aufgeschlossener Kieselsäure enthalten sind, ist das Verhalten im Mörtel verschieden. Jene mageren Kalke, welche innerhalb der Grenzen, wo sie sich noch löfchen lassen, in der Verwendung zu Mörtel nach einer gewissen Zeit hydraulische Eigenschaften annehmen, werden
- 3) hydraulische Kalke genannt. Diese sind entweder in Stücken oder in Pulverform auf den Markt gebrachter magerer Kalk, welcher die Eigenschaft besitzt, einige Zeit nach seiner Verwendung im Wasser zu erhärten. Er kann also entweder ganz wie Fettkalk zu Brei gelöfcht oder als Pulver mit Sand gemischt und unter nachherigem Wasserzufatz verarbeitet werden, erhärtet langsam an der Luft und widersteht dem Wasser erst nach einiger Zeit.

B) Unlöfchbarer Kalk. Dahin gehören:

- 4) Roman-Cement (hydraulischer Cement, Cementkalk), ein Kalk mit so wesentlich hydraulischen Eigenschaften, dafs das aus den gebrannten Steinen künstlich erzeugte Pulver unter Wasser anzieht und in ganz kurzer Zeit erhärtet.
Wenn die gebrannten Stücke von Roman-Cement mit Wasser besprengt werden, so zerfallen dieselben nicht, sondern müssen vor ihrer Verwendung gemahlen werden.
Die Structur des auf diese Weise gewonnenen Pulvers ist körnig, die Farbe gelblich in verschiedenen Nuancen bis zum Braunen und dunkler, als die der hydraulischen Kalke. Beim Anmachen erwärmt sich Roman-Cement schwach oder ganz unmerklich; derselbe soll volumbeständig fein und darf, der Luft oder dem Wasser ausgesetzt, nicht treiben, rissig werden oder abblättern; er hat unter allen hydraulischen Bindemitteln die kürzeste Bindezeit.
Der mit Roman-Cement erzeugte Mörtel eignet sich besonders zu Bauten unter Wasser.
- 5) Portland-Cement ist ein in bestimmten Verhältnissen aus Thon und Kalk zusammengesetztes Material, welches bis zum beginnenden Schmelzen (Sintern) gebrannt und dann gemahlen wird.
Der Portland-Cement, in Folge der Sinterung specifisch bedeutend schwerer als hydraulischer Kalk und Roman-Cement, hat eine graue Farbe und blättrig-schieferige Structur. Er zieht in der Regel langsamer an, als Roman-Cement, erreicht aber in viel kürzerer Zeit namhaft höhere Festigkeit und Luft- und Wasserbeständigkeit, als der Roman-Cement, welche Eigenschaften stetig zunehmen. Beim Abbinden darf Portland-Cement sich nicht wesentlich erwärmen; er soll volumbeständig fein und der Luft oder dem Wasser ausgesetzt nicht treiben, rissig werden oder abblättern. Portland-Cement wird zu allen jenen Bauarbeiten verwendet, bei welchen Wasser- und Wetterbeständigkeit, wie grofse Festigkeit und Dichtheit Hauptfordernisse sind, und eignet sich in Folge der längeren Abbindezeit vorzugsweise auch zu solchen Arbeiten, bei denen die Verwendung des Mörtels nur langsam stattfinden kann.
- 6) Hydraulische Zuschläge. Die hierher gehörigen Puzzolane, Santorinerde, Trafs (Druckstein) etc. sind meist vulcanische Massen mit nur geringem Kalkgehalt, die in der Natur in Pulverform oder als Stein vorkommen. Sie geben für sich allein keinen Mörtel, liefern dagegen, im gemahlten Zustande dem Fettkalk zugefetzt, ein hydraulisches Bindemittel, das zwar langsam erhärtet, aber in seiner Festigkeit stetig zunimmt, so dafs es nach mehreren Monaten der Festigkeit von Portland-Cement-Mörtel nahe kommt.

So weit das österreichische Cement-Comité. Wir fügen nunmehr noch jene sonstigen Bindestoffe, welche zu anderen, als den eigentlichen Kalkmörteln verwendet werden, und den Sand als weiteren Grundstoff der meisten Mörtelarten hinzu.

C) Magnesia.

55.
Magnesia.

- 7) Magnesia-Kalk (Dolomit-Cement, Weifs-Cement) ist entweder schwach — bis zur bloßen Entcarbonisirung der Magnesia und zur Umformung des krytallinischen in amorphes Kalkcarbonat — gebrannt, hernach pulverisirter Dolomit, welcher langsam ohne Wärmeentwicklung anzieht, sehr bedeutende Kittfestigkeit entwickelt und ähnlich den hydraulischen Kalken nach einiger Zeit dem Wasser widersteht, oder stark gebrannt und sodann zu Pulver gelöscht, wozu er sich wie magerer Kalk verhält. Er dient besonders zu künstlichen Blöcken bei Hafenbauten, zu künstlichen Steinen und zu gewöhnlichen Luftbauten. Gegenüber dem Fettkalk besitzt er in seiner Verwendung zu Mörtel die Eigenschaft, durch Absorption der Backsteine nicht so rasch zu erstarren, daher der Maurer mit einem einzigen Mörtelgusse mehr Steine verlegen kann; hingegen neigt er besonders in Fabriksstädten zur Aufnahme von schwefeliger und Schwefelsäure aus der Luft und sodann zur Bildung von nässenden Flecken durch lösliches Magnesia-Sulfat.
- 8) *Sorel'scher Cement* (Magnesia-Cement). Aus gebranntem amorphen Magnesit mittels dickflüssigen Chlormagnesiums zu Mörtel angemacht, übertrifft er sämtliche Bindemittel an Quellungsvermögen und Kittkraft. Dient zur Fabrikation von künstlichem hartem Sandstein, von künstlichen Mühlsteinen, Schleifsteinen, Schmirgelscheiben, Quadern und Ornamenten, Ausbefferung schadhafter Steinarten etc.

D) Gyps. Je nachdem der wasserhaltige schwefelsaure Kalk schwächer oder stärker gebrannt ist, erlangt der Gyps verschiedene Eigenschaften, und zwar entsteht

56.
Gyps.

- 9) gewöhnlicher Gyps bei schwachem Brennen von 120, höchstens 200 Grad, welcher fein gemahlen, besonders im Inneren von Gebäuden als Zusatz zu Fettkalk oder für sich als Gypspulver mit Wasser angerührt, ein rasch erstarrendes Bindemittel abgibt, im Wasser aber erweicht, daher keine Wetterbeständigkeit besitzt. Die Eigenschaft des raschen Erhärtens macht den Gyps zu vielfacher Anwendung geschickt.
- 10) Hydraulischer Gyps, bei beginnender Rothgluth gebrannt, langsam aber hydraulisch erstarrend.
- 11) Alaungyps (*Keene's Cement*), Material von Marezzo-Marmor, ist in Alaunlösung nach dem Brennen getränkter Gyps, welcher nochmals bei Rothgluth gebrannt und dann mit Alaunlösung angemacht wird.
- 12) Borax-Gyps (*Parian-Cement*) besteht ähnlich, wie *Keene's Cement*, aus in Borax getränktem und wieder gebranntem Gyps, der mit Boraxlösung angemacht wird. Bei beiden entsteht dadurch langsame Bindung unter Erzielung von dichter Aneinanderlagerung, so daß sie hoch politurfähig und zur Imitation von Marmor geeignet sind.
- 13) *Scott's Cement* (*selenitic mortar*) ist nichts weiter als Kalk, welchem beim Löschen einige Procent Gyps zugesetzt werden, etwas mehr, als in der zum Löschen des Kalkes nöthigen Wassermenge sich lösen kann. Der Kalk muß aber etwas langsam löslich sein. Derselbe wird dann nicht mit Wasser, sondern mit gefättigter Gypslösung gelöscht, der Gyps niedergeschlagen, die Quellung verhindert, dadurch hydraulisches Abbinden unter bedeutend verkittender Dichtigkeit erzielt.

E) Sand. Bei den meisten Mörtelarten spielt der Sand als Füllsubstanz, welche in größerer Menge, als der Bindstoff selbst, beigemischt wird, eine wichtige Rolle, oft eine wichtigere, als die Qualität des Bindstoffes selbst.

57.
Sand.

Sand ist ein loses Haufwerk von Mineralfragmenten, welche bei sehr verschiedener Korngröße von ca. 3 bis 0,1 mm auch sehr verschiedene Form an sich und sehr verschiedene Gestalt der Flächen zeigen.

Da die Natur der sandbildenden Gesteine auch auf diesen selbst übergeht, so sind die Sande schon deshalb in Bezug auf ihre Druckfestigkeit, Zugfestigkeit und Spaltbarkeit sehr verschiedenwerthig⁶⁸⁾.

Am besten eignet sich der, auch am meisten in der Natur verbreitete Quarzsand, welchen die Flüsse herbeiführen, welcher auch als Product älterer Anschwemmungen sich in mächtigen Ablagerungen vorfindet, nächst ihm Dolomit- und Kalksand aus krytallinischen Dolomiten und Kalken ohne Transport durch bloßes Zerfrieren entstanden. Auch andere mineralische Substanzen können als Mauerand verwendet werden, so der Grus, welcher durch Verwitterung kieselhaltiger Gesteine entsteht, auch der Bimssteinsand, welcher die Sohle des Neuwieder Thalkeffels unterhalb Coblenz bedeckt. Ein vorzügliches Mörtelmaterial giebt ferner manche zerstampfte Hochofenschlacke, eben so das Ziegelmehl aus hartgebrannten Backsteinen. Sand, welcher durch

68) Näheres in des Verfassers: Studien über die Physik des Sandes. Deutsche Töpfer- und Ziegl.-Ztg. 1877, S. 382.

Zerkleinern auffchließbarer Silicat-Gesteine gewonnen wird, giebt dem Mörtel, auch dem fetten Kalke, hydraulische Eigenschaften. In geringem Mafse thut dies bereits das Ziegelmehl, in höherem Mafse der Sand aus plutonischen Gesteinen, namentlich aus Phonolith, Basalt und Trachyt; im höchsten Mafse endlich eignen sich dazu die in Art. 54, S. 118 als hydraulische Zuschläge bezeichneten, meist vulcanischen Producte, namentlich manche Tuffsteine, zu feinem Sande zerstoßen.

Die wichtigsten Erfordernisse des Sandes sind, daß die Körner nicht zu klein und daß sie von möglichst scharfkantiger ebenflächiger Gestalt seien, ferner, daß der Sand rein von erdigen Bestandtheilen und zeretzten Gesteinsfragmenten sei. Eine feste Erhärtung des Mörtels findet nur bei inniger Berührung des Bindestoff-Breies mit den Oberflächen des Sandes statt. Diese wird aber verhindert, wenn ihm Schlamm- oder Staubtheile beigemischt sind, welche die einzelnen Körner überziehen und sich somit zwischen diese und den Bindestoff legen. Dieser Staub und Schlamm kann durch Wäschchen entfernt werden.

Die Zug- und Druckfestigkeit eines und desselben Mörtel-Bindestoffes mit gleich viel Sand kann bei verschiedener Qualität des Sandes viel stärker variiren, als innerhalb derselben Gruppe Festigkeitsdifferenzen in Folge verschiedener Güte der Bindestoffe vorkommen.

Es geht aus der *Stefan'schen* Formel hervor, daß die scheinbare und später die wirkliche Adhäsion um so größer sein muß, je näher die verbundenen Flächen gebracht werden können, d. h. je ebenflächiger sie sind, und je größer die 4. Potenz der Berührungsradien ist, andererseits je geringer die Masse der verkittenden Substanz gegenüber der Masse der Füllsubstanz ist, die verkittende Masse immer als Flüssigkeit betrachtet. Nun wächst aber die Zähigkeit nach *Pfaundler* mit dem Ueberwiegen der festen Moleküle gegen die flüssigen in zähen Flüssigkeiten, genau wie man das *Stefan'sche* Gesetz selbst darauf anwenden könnte. Da nun gerade Portland-Cement im angemachten Zustande eine Mischung halbglastiger, an den Außenflächen angequollener Splitter darstellt, welche, durch Wasserhüllen getrennt, gegen einander verschiebbar sind, andererseits Fettkalk eine Art Milch oder Emulsion außerordentlich kleiner, fester, aber benetzter Theilchen, welche in oberflächlicher Lösung begriffen leicht beweglich sind und physikalische Moleküle darstellen müssen, so ist einerseits der kolossale Unterschied in der Bindekraft beider Mörtelsubstanzen zwischen sich selbst, aber auch wieder die relativ größere Adhäsionskraft des Aetzkalkes zu Sand und Mauerflächen begreiflich, so wie die Thatfache erklärlich, warum eine Mischung von Portland-Cement und Fettkalkbrei eine bedeutend größere Quantität Sand eben so energisch, d. h. unter gleicher Zugfestigkeit verbindet als Portland-Cement allein.

Der beste Mörtel wird demnach jener sein müssen:

- 1) welcher entweder die kleinste Fuge überhaupt ausfüllt, vorausgesetzt daß beide Fugenflächen vollkommen benetzt sind, oder
- 2) welcher bei Verwendung von Füllsubstanzen zwischen denselben sie allseitig verbindend die geringste Masse ausmacht, selbst am feinkörnigsten ist,
- 3) dessen Sandzusatz völlig ebenflächig und leicht ohne große Zwischenräume in einander verschiebbar ist und mit dem Mörtel gut adhärirt, und
- 4) wenn sowohl Sand als Mörtel eine große Selbstfestigkeit erlangen.

Nach diesen Grundätzen ergibt sich die Classificirung und Charakteristik der verschiedenen Mörtelarten, so wie deren Verwendung, wie folgt.

b) Luftmörtel aus Fettkalk.

Je nachdem der Luftmörtel als constructiver Mörtel (Mauermörtel) oder als palliativer und decorativer Mörtel (Putzmörtel) verwendet werden soll, ist seine Bereitung und sein Gebrauch verschieden.

Das Aufquellen des durch das Brennen des kohlenfauren Kalkes erzeugten Aetzkalkes, das fog. Löfchen des Kalkes wird am gleichmäfsigften und ausgiebigften bewirkt, wenn man den zu höchstens fauftgrofsen Stücken zerfchlagenen gebrannten Kalk in der fog. Kalkbank oder Kalklöfchpfanne mit Waffer befpritzt und fogleich bei beginnendem Zerberften nach und nach, unter fleifsigem Rühren und Zertheilen mit der Kalkkrücke, die zur Erzielung eines dünnflüssigen Kalkbreis nöthige Wassermenge zufetzt. Regen-, Flufs- und Teichwaffer find hierzu am geeignetften; Brunnenwaffer ift weniger gut, kohlenfäurehaltiges und Seewaffer gar nicht verwendbar.

Zuweilen wird diefer dünnflüssige Kalkbrei, der häufig Kalkmilch genannt wird, ohne Weiteres zur Herstellung von Mörtel verwendet; da er jedoch unaufgefchlossene Theile von Aetzkalk enthält, ift feine fofortige Benutzung nicht ökonomifch. Es empfiehlt fich vielmehr, befonders wenn Putzmörtel erzeugt werden foll, die Kalkmilch einzufumpfen. Zu diefem Zwecke wird diefelbe aus der feitlich mit einem Schieber verfehenen Kalklöfchpfanne in die darunter befindliche Kalk- oder Sumpffgrube abgelaffen. Die Wände der letzteren follten gemauert oder verfchalt fein, damit das Eindringen von Regen- und Schneewaffer verhütet ift; die Sohle bleibt offen, fo dafs ein Theil des Waffers in den Boden verfickern kann. Der in der Sumpffgrube befindliche Kalkbrei wird gehörig bedeckt und verbleibt dafelbft einige Wochen lang, oft während eines ganzen Winters und noch länger. Während diefer Zeit verfickert oder verdunstet das überfchüssige Waffer; die früher nicht aufgefchlossenen Kalktheilchen löfen fich auf, und unter einer Haut von kohlenfaurem Kalk, welche für die Mörtelbereitung unbrauchbar ift und deshalb vor der Verwendung abgenommen werden mufs, erlangt der eingefumpfte Kalk (wie fchon auf S. 115 angedeutet wurde) eine teigartige Confistenz; er kann alsdann aus der fteifen Maffe ausgeftochen werden und ift als fteifer Kalkbrei oder Kalkteig zur Mörtelbereitung geeignet.

Der in der Kalkgrube befindliche Kalkbrei enthält zwischen 60 und 64 Procent Breiwaffer. Ein Theil davon verdunstet; ein anderer Theil, wie eben gefagt wurde, verfickert in den Boden unter Lösung und Wegführung der im Kalk vorhandenen Alkalien. Schon aus diefem Grunde ift zu empfehlen, niemals frifch gelöfchten Kalk zu Putzmörtel zu verwenden, weil durch die noch vorhandenen Alkalien näffende Stellen an den Mauerflächen entftehen. Auferdem kommt, befonders bei nicht ganz frifchem Kalk, eine Anzahl griefiger, erft allmählich fich zertheilender Körner vor, welche im Mörtel der Mauer felbft aufquellen und fo Abblättern erzeugen könnten. Die Urfache hiervon liegt in der grofsen Begierde, womit Aetzkalk aus der Luft Waffer und dabei auch Kohlenfäure anzieht, wodurch das rafche tiefere Eindringen des Löfchwaffers verzögert wird.

Damit hängt auch die fcheinbar verfchiedene Ausgiebigkeit eines und deffelben Kalkes nach verfchieden langer Ablagerungszeit vor dem Löfchen zufammen. Will man gebrannten Kalk ohne Schaden länger aufbewahren, fo bedeckt man ihn mit einer dicken Lage an der Luft zerfallenen Kalkes, wodurch der Feuchtigkeit und Kohlenfäure der Zutritt verwehrt wird.

Durch blofses Befpritzen mit Waffer bis zum Zerberften gedeiht der Kalk natürlich viel weniger; er behält aber dabei eine gröfsere Dichte und kann in Pulverform, in gefchlossenen Gefäfsen oder Räumen und vor weiterer Feuchtigkeit gefchützt, fehr lange aufbewahrt werden, wie es in Holland und Schweden allgemein gebräuchlich ift⁶⁹⁾. Dann aber verliert der Kalk viel von feiner Ausgiebigkeit, da es fcheint, als ob das völlige Aufquellen nur *in statu nascendi* des Hydratfifrens eintrete. Dafür aber fchwindet auch folcher Mörtel ungleich weniger, wie einer aus Grubenkalk.

58.
Naffes
Löfchen und
Einfumpfen.

⁶⁹⁾ Notizbl. d. deutfeh. Ver. f. Fabr. v. Ziegeln etc. 1870, S. 77.

Diese Löschweise ist im Wesentlichen identisch mit dem bei den hydraulischen Kalken allgemein üblichen Verfahren der Trockenlöschung (siehe Art. 65, S. 125), welche auch für Fettkalk manchmal Anwendung findet. In allen diesen Fällen beträgt das Gedeihen des Kalkes bedeutend weniger als beim nassen Löschen nach der ersteren Weise.

59.
Ausgiebigkeit.

Die Wassermenge, welche der Kalk hierbei benötigt, um das Maximum der Aufquellung und colloidalen Vertheilung zu erlangen, ist abhängig von feiner Ausgiebigkeit und diese von der Reinheit und unverändert frischen Beschaffenheit des Kalkes. Da diese aber verschieden sind, so erscheint es gerathen, die Wassermenge, welche eine unbekannte Kalkforte erfordert, vor dem Löschen zu ermitteln⁷⁰⁾. Nach *Stingl* geben 50 g reiner Aetzkalk vom specifischen Gewichte = 2,2396 oder rund 2,24 mit 580 g Wasser unter Contraction 572,3 cbcm Kalkbrei von einem specifischen Gewicht = 1,1007 und von so dünner Consistenz, daß der Brei bequem aus einem Glase ausgegossen werden kann, aber doch noch einen Glasstab aufrecht stehen läßt, ohne daß eine Trennung von Wasser und Brei dabei erfolgte. Mit steigender Verunreinigung zeigen sich folgende Ausgiebigkeiten:

Gehalt an Calcium-Oxyd	98,06	97,96	94,68	Procent
50 g brauchen an Wasser	552,5	452,0	249,0	Cubik-Centim.
50 g geben dünnen Kalkbrei	543,8	438,4	233,5	„ „
Specifisches Gewicht desselben	1,107	1,145	1,280.	•

Dieser Kalkbrei ist beträchtlich dünner, als man gewöhnlich in der Praxis arbeitet; daher erscheinen auch die Ausgiebigkeiten viel bedeutender. Denn für die Ausgiebigkeit des Mörtels ist nicht der dünnflüssige Breizustand, sondern der wassersteife Zustand des Grubenkalkes das richtige Maß. Dieser zeigt, wie schon gesagt, eine Zusammenfassung von 64 bis 60 Procent Wasser auf 36 bis 40 Procent Kalkhydrat⁷¹⁾. Es verbleiben somit in dem, aus 1 Gewichtstheil Aetzkalk erhaltenen steifen Kalkbrei von dem beim Löschen zugesetzten Wasser:

zunächst als Hydratwasser chemisch gebunden, je nach der Reinheit des verwendeten Kalkes		0,32 bis 0,25	Gewichtstheile
Sodann das nach dem Verfließen und Verdunften noch festgehaltene Wasser, welches nach obiger Zusammenfassung $\frac{64}{36}$ bis $\frac{60}{40}$ des Kalkhydrat-Gewichts beträgt, also von 1,32 bis 1,25 Gewichtstheilen		2,35 bis 1,88	„ „
		<hr/>	
		zusammen:	2,67 bis 2,13 Gewichtstheile.

Diese Zahlen stimmen mit der praktischen Regel ziemlich überein, auf 1 Gewichtstheil gebrannten Kalk 2 bis 3 Gewichtstheile reines Wasser zuzusetzen. Man kann daher aus 1 Gewichtstheil gebrannten Kalk 3,67 bis 3,18 Gewichtstheile steifen Kalkbrei oder durchschnittlich aus 100 kg gebrannten Kalk 340 kg Kalkbrei gewinnen.

Viel schwankender und unsicherer sind die Ermittlungen bezüglich der Volumverhältnisse, da besonders das Gewicht des gebrannten Kalks bei gleichem Volum sehr verschieden angegeben wird⁷²⁾, während das Gewicht des steifen Kalkbreis beständiger

⁷⁰⁾ Wie hierbei zu verfahren, siehe: Scheffers, A. Handbuch des bürgerlichen und ländlichen Hochbauwesens. Leipzig 1865. S. 125.

⁷¹⁾ Nach *Stohmann-Kerl* 62 bis 58 Procent Wasser auf 38 bis 42 Procent Kalkhydrat.

⁷²⁾ Für 1^{hl} gebrannten Kalk in Stücken und mit Zwischenräumen gemessen 80 bis 108 kg, für gebrannten Kalk ohne Zwischenräume 125 bis 180 kg, für gepulverten Aetzkalk 130 bis 140 kg, comprimirt 230 kg.

ift. Wenn das Gewicht von 1 hl gebrannten Kalkfteinfücken fammt Zwischenräumen wie gewöhnlich zu 80 bis 90 kg, das Gewicht von 1 hl steifen Kalkteigs zu 130 bis 140 kg angefetzt wird, fo ergibt fih aus den fo eben ermittelten Gewichtsverhältniffen, dafs 1 Volumtheil gemeffene Kalkfteinfücke mit 1,7 bis 2,4 Volumtheilen Waffer 1,8 bis 2,5 Volumtheile steifen Kalkteig liefern.

Auch dieses Ergebnis stimmt mit den in der Praxis geltenden Zahlen für die Ausgiebigkeit des Fettkalks ziemlich überein. Eine doppelte Ausbeute an gelöfchtem und eingefumpftem Kalk aus dem im Handel vorkommenden gemeffenen Kalk ift als eine gute zu bezeichnen.

Da der Fettkalk nur mit Sand, und zwar mit beträchtlichem Sandzufatz zur Verwendung kommt, ift die Befchaffenheit des letzteren von grofser Wichtigkeit.

Zu Grundmauern und über der Erde ftehemdem Bruchsteinmauerwerk, welches großem Druck ausgefetzt ift, verwendet man zweckmäfsig groben Sand (von 1 bis 2 mm Durchmesser der Körner), untermifcht mit feinerem Sand. Die hierzu erforderliche Menge Kalkbrei ift fehr wechfelnd, je nach den Zwischenräumen deffelben, und ift für Mauerwerk unter der Erde zu $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{4}$, bei Mauerwerk über der Erde zu $\frac{1}{2}$ bis $\frac{2}{5}$ des Sandquantums anzunehmen. Dabei beträgt das erhaltene Mörtelquantum nach *Ziurek*, wenn man 1 hl Kalkbrei (von 131 kg Gewicht) mit 3 hl Bauwand (von 344,5 kg Gewicht) zufammenmifcht, 2,5 hl Mörtel.

60.
Mauermörtel.

Zu Tagmauerwerk aus undurchläffigen Steinen verwendet man den Mörtel möglichft feif, weil ja bei diefen das Breiwaffer nicht durch Abfaugung der Wafferflächen, fondern blofs durch allmähliche Verdunstung entweichen kann. Insbefondere ift dies bei Mauern aus Klinkern deßhalb nöthig, weil durch den Druck der Steine direct Waffer ausgeprefst, die Reibung an den Berührungsfächen dadurch fehr vermindert und die Steine felbft dadurch beweglich, »schwimmend« würden. Hingegen ift zu Mauern aus Backfteinen und poröfen Haufteinen ein fatter, zwar nicht mit blankem Waffer in der Mörteltruhe ftehender, aber leicht beweglicher Mörtel angezeigt, damit das Porenwaffer in die Steine langfam, unter Mitnahme der feinften Breitheilchen und dadurch Vergrößerung der Adhäfion, ohne Entziehung der Plafticität hinwandern kann. Dagegen wird oft und vielfach gefehlt, befonders durch zu grofse Düninflüffigkeit bei gleichzeitig zu hohem Sandzufatz, wodurch meift die Plafticität und damit die Bedingung der Verkittung fchon aufgehört hat, bevor der deckende Stein aufgefetzt wird, was natürlich zur Folge hat, dafs eine Verbindung überhaupt nicht stattfindet und der Stein fih von der Fuge trennt. Wie oft fieht man diese Erfcheinung beim Abbrechen von Mauern. Der hiezu verwendete Sand foll mittelkörnig fein (0,5 bis 1 mm Durchmesser der Körner) und wird durchfchnittlich im Verhältnifs 1 : 2,5 verwendet. Nach *Ziurek* beträgt die Ausgiebigkeit einer folchen Mifchung bei gleichen Materialien wie oben: 1 Volumtheil Kalkbrei + 2,5 Volumtheile Sand = 2,2 Volumtheile Mörtel.

Nach *Neumann*⁷³⁾ trägt der fette Kalk nichts zur Maffebildung bei, fondern verfchwindet in den Zwischenräumen der Sandkörner. Auch bei Anwendung weniger fetter Kalkarten kann dieses feftgehalten werden, da nicht lösliche, zur Maffebildung beitragende Nebenbestandtheile in zu geringer Qualität vorhanden find, um berücksichtigt zu werden. Da nun der in lockerem Zuftand gemeffene Sand mit Kalkmilch durchgerührt fehr zufammenfällt, da ferner viel Sand beim Bauen verloren geht, fo kann angenommen

⁷³⁾ Manger, J. Hülfsbuch zur Anfertigung von Bau-Anfchlägen etc. 4. Aufl. Von R. Neumann. Berlin 1879. Erste Abtheilung, S. 104.

werden, daß 4^{cbm} lockerer Sand nur 3^{cbm} Mörtel geben, und es ist daher die Ausbeute bei der Mischung von 1^{hl} Kalkteig zu 3^{hl} Sand etwa 2,25^{hl} Mörtel, bei der Mischung von 1^{hl} Kalkteig zu 2,5^{hl} Sand nur 1,9^{hl} Mörtel.

61.
Putzmörtel.

Zu Putzmörtel nimmt man beim ersten Bewurf mittelgroben (mit Kies gemengten) Sand, und zwar Kalk zu Sand im Verhältniß von 1 : 2; man nimmt den Bewurf stets dünn, nicht über 5 mm stark, und so oft, bis annähernd die gewünschte Dicke erreicht ist. Zwischen jedem Auftragen der groben Mörtelmasse wird gewartet, bis das Abfaugen des Breiwassers bis zur Oberfläche gelangt und daselbst ein gewisser Erstarrungszustand eingetreten ist. In dieser Weise begegnet man ungleichmäßigem Schwinden und damit der Bildung von Schwindungsrisfen.

Darüber bringt man, je nachdem bloße Fläche oder Gesimsprofile etc. gefordert werden, einen zweiten Bewurf von einem fetteren Mörtel mit feinem Sande, 1 : 1½ bis 1 : 1, wobei ebenfalls auf geringe Dicke der Anwürfe und Anziehenlassen der ganzen Fläche genau Rücksicht zu nehmen ist, oder noch einen dritten mit feinstem Sande, im Verhältniß 1 : 1, der ebenfalls dünnföchtig in zwei Lagen aufgetragen wird.

Am sichersten wird der Bildung von Schwindungsrisfen jedoch vorgebeugt, wenn man zu jeder Lage eine Quantität Roman- oder Portland-Cement giebt und zwar von innen nach außen weniger, so daß dem inneren Rohbewurf am meisten Cement, etwa ¼, dem äußeren am wenigsten Cement, etwa 1/20 von der verwendeten Menge Kalkbrei zugesetzt wird. Ein ähnlicher Putz von *Ambroselli* erhielt vom Verein zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen einen Preis ⁷⁴⁾.

Es kommt hiernach vor Allem auf gleichmäßige Porosität der Mauer und auf gleichmäßigen Gehalt der Masse an Breiwasser, sowohl der Fläche als der Dicke nach, an.

Die künstlerische Verwendung des Luftmörtels zur Wanddecoration bezieht sich auf die Ausführung von Sgraffiti und auf die Herstellung des Grundes für Fresco-Malerei. Von der Technik beider, so wie auch vom Wandputz überhaupt wird noch im III. Theile dieses »Handbuches« (Abth. III, Abschn. 1, A. Kapitel über »Putzbau«), vom Deckenputz in demselben Theile (Abth. IV, Abschn. 5, Kapitel über »Behandlung der Deckenflächen«) eingehend die Rede sein.

62.
Stuck.

Der feinste Mörtel aus Fettkalk dient zu Stuck. Man versteht darunter gewöhnlich eine Mischung des Fettkalkes mit Gyps, welcher letzterer, selbst in geringer Quantität zugesetzt, den Putzmörtel geschmeidiger, zum Ziehen von Gesimsen geeigneter macht und die Erhärtung beschleunigt. Zu 2 bis 3^l Fettkalk wird dabei 1^l Gyps zugesetzt. Hierher gehört ferner der in der Barock-Zeit häufig verwendete Relief-Stuck; dies ist altabgelagerter Fettkalk, welcher mit gesiebtem Marmorstaub in solchem Verhältniß gemengt und zu lange plastisch bleibendem Teig geformt wurde und aus welchem die Relief-Decorationen bossirt wurden. Heute wendet man hierzu an Außenwänden meist Cement- oder Terracotta-Verzierungen, im Inneren Gyps an.

63.
Stucco
lustro.

Als Stucco lustro ist eine Marmor-Imitation bekannt und neuerer Zeit wieder mehrfach im Schwunge, welche in der Weise hergestellt wird, daß man sehr fetten alten Kalk mit 2 Theilen eines polirfähigen Mineralstaubes, aus Marmorstaub oder Alabasterstaub etc. bestehend, mengt und der Masse den Grundton des zu imitirenden Marmors giebt.

Dieser feine Mörtel wird auf einem Rohputz ca. 5 mm dick aufgetragen und

⁷⁴⁾ Polyt. Journ. Bd. 215, S. 565.

zuerst nach dem Ebenen mit einem mit Flanell überzogenen Reibbrette verrieben, sodann mit einer Polirkelle oder mit Glasreibbrettern geglättet.

Die Adern, Flecken und Wolken werden auf den noch nassen Verputz gemalt mit einer Maffe aus dünnflüssigem feinsten Stucco-Mörtel, welcher die Farben nebst Ochfengalle oder Casein-Lösung eingerührt werden; dabei fucht man nur auf dem Kalkgrund zu malen, ohne die Farben einander deckend zu verwenden. Sind die Farben so eingefogen, daß sie mit dem Finger nicht mehr abfärben, so überzieht man die Fläche mit einer Politur aus einer Lösung von 20 Theilen Wachs in siedendem 60-procentigem weinsteinaurem Ammoniak (Sal tartari), wozu noch ca. 20 Theile geschnittene Seife kommen. Der Glanz wird durch höchst sorgfältiges, strichweises Bearbeiten mit der Polirkelle hervorgebracht, und erfordert dies große Uebung und geduldige Sorgfalt.

Schließlich sind hier unter den aus Luftmörtel hergestellten Baustoffen noch jene künstlichen Steine zu nennen, welche aus einer Mischung von frischgelöschtem Kalk, scharfem reinen Quarzsand (Mischungsverhältnis 1 : 6) und Wasser geformt werden; es sind dies die sog. Kalksandsteine.

64.
Kalksandsteine.

Quarzsand und Kalkpulver werden abwechselnd über einander geschichtet und durch Maschinen innig vermengt. Hierauf erfolgt die Benetzung mit Wasser, jedoch nur in solchem Grade, daß die Maffe unter Druck etwas Feuchtigkeit, keinesfalls Tropfen abgibt. Die Maffe bleibt 1 bis 2 Tage zum Zweck des Abtrocknens liegen, worauf das Pressen der Steine erfolgt. Das Trocknen der geformten Steine geschieht an der Luft, am besten an sonnigen Orten mit Luftzug. Obwohl das eigentliche Erhärten erst nach vielen Wochen vollendet ist, können die Steine häufig schon nach 8 bis 12 Tagen zum Vermauern verwendet werden ⁷⁵⁾.

c) Mörtel aus magerem und aus hydraulischem Kalk.

Die Mörtel aus magerem und aus hydraulischem Kalk werden hier gemeinschaftlich behandelt, weil ihre Verwendung ganz die gleiche ist und eine scharfe Grenze zwischen beiden überhaupt nicht existirt.

65.
Trockenes
Löfchen.

Beim Löfchen des mageren Kalkes wird die Methode des Trockenlöfchens mit Vortheil in Anwendung gebracht. Das Verfahren hierbei ist verschieden, je nachdem er activ, d. h. während des Löfchprocesses zur Verwendung gelangt, oder je nachdem er passiv als gelöschtes Pulver verwendet wird.

Im ersten Falle werden die Stücke auf einem ebenen Bretterboden in runde, flache, 50 cm hohe Haufen gelegt und ringsherum der zur Mörtelbereitung nöthige Sand in abgemessener Quantität gegeben. Sodann wird er mit Wasser bespritzt und während des Löfchens unter sorgsam abgemessener Wasserzugabe mit dem Sande vermengt und nach tüchtigem Durchkrücken als ganz steifer Mörtel noch warm vermauert. Auf diese Weise giebt er rasch anziehenden, der Feuchtigkeit und je nach der Hydraulicität auch dem Wasser rasch widerstehenden Mörtel von größerer Festigkeit, aber geringerer Ausgiebigkeit.

66.
Active
Kalk-
verwendung.

Diese besonders bei den Italienern und Franzosen beliebte Manier ist uralt und hat sich bei Brücken- und Wasserbauten hauptsächlich bewährt. Im Grunde genommen ist sie nahezu identisch mit der Herstellung des schon in Art. 52, S. 115 erwähnten *Loriot'schen* Mörtels aus Fettkalk.

⁷⁵⁾ Näheres über Erzeugung und Verwendung der Kalksandsteine in: Krause, F. Anleitung zur Kalksandbaukunst. 1851. — Engel, Der Kalk-Sand-Pfeilerbau. 3. Aufl. Leipzig 1855. — Bernhardt, A. Die Kalkziegelfabrikation und der Kalkziegelbau auf ihrem gegenwärtigen Standpunkt etc. 4. Aufl. Eilenburg 1873.

Obwohl der *Loriot'sche* Mörtel heute nicht mehr benutzt wird, so müffen wir doch feiner Wichtigkeit für die Klärung des Mörtel-Proceffes halber ihn hier erwähnen.

Wir citiren eine ältere Quelle »Bautechnologie und Bauökonomie von *F. Sax* (Wien 1814)« aus dem Grunde, weil der Gewährsmann, ein gründlicher Praktiker, es felbst »bewährt gefunden«. Danach (§ 159) »macht man mit gelöfchtem Kalke in einem Troge, welcher ungefähr 2 Cubikfuß faft, einen gewöhnlichen Mörtel, um Platz genug zu erhalten, denfelben von Neuem abzarbeiten, welches mit Kellen gefchieht, die einen 3 bis 4 Fuß langen Stiel haben. Kann man nun urtheilen, dafs nach Befchaffenheit des Mörtels, welcher zu machen, alle Theile des Sandes oder der zermalnten Ziegel (welche beide Materien hiezu brauchbar find) von dem flüffigen Kalke durchdrungen find, fchüttet man Waffer hinzu, um den Mörtel ein wenig flüffiger zu machen, als es gewöhnlichermafien gefchieht. Ift dieses vorbereitet, fo bleibt nichts weiter übrig, als die gehörige Quantität des lebendigen Kalkes in das Gemifch zu bringen, und dieses gefchieht auf folgende Weife. Man füllt ein rundes Mafs, das 6 Zoll in der Höhe und im Durchfchnitte hat, folglich ungefähr den 8. Theil der Maffe des vorher im Troge gewefenen Mörtels, mit gepulvertem Kalke an, fchüttet diesen auf die Oberfläche des erften Gemifches und rührt ihn hernach vermittels der langen Kellen recht in einander ein, und verbraucht es gefchwind, um der Wirkung des lebendigen Kalkes zuvorzukommen; denn diese muß erst in der mit dem neuen Mörtel gemachten Arbeit gefehen. Dieser fo zubereitete Mörtel fängt gleich nach der Bearbeitung fich zu erhitzen an und erhärtet in einer kurzen Zeit.«

Wir haben diese von *Gibb*, *Smirke*, *Artus* u. A. beftätigte und vielfach erprobte und unter Beibehaltung des Grundgedankens variierte Verwendungsart genau nachgemacht und einerfeits sie vollkommen beftätigt, aber auch andererseits gefunden, warum der fo hoch verdienstvolle Begründer der Erhärtungstheorie der hydraulifchen Bindemittel (in Deutschland *J. N. Fuchs* und Andere nach ihm) fo ablehnend dagegen fich verhielt. Es ift eben buchtftäblich nothwendig, den Mörtel nur mit einem Minimum von überfchüffigem Waffer anzumachen, die erwähnten Mifchungsverhältnisse einzuhalten und ihn während der Periode des Erhitzens zu verwenden. Nimmt man zu viel Waffer, fo wird dem Kalkbrei zu wenig entzogen; arbeitet man zu langsam, fo wird die von den halbgequollenen Kalktheilchen ausgehende Stabilifirung wieder unterbrochen, ein Ausgleich mit den fatt gequollenen eingeleitet und das Abbinden überhaupt verhindert. Dann verhält fich folcher Mörtel genau, wie ein fetter steifer Kalkmörtel, während er fonft ein trockener, fester, dem Waffer mit Erfolg widerstehender Mörtel ift, der mit vollem Fug und Recht ein hydraulifcher genannt werden kann. Wie wichtig dieses verschiedene Verhalten für die dadurch nahegelegte Analogie mit dem theilweise hydratirten, während des Quellens noch unter Mauerdruck gebrachten mageren und hydraulifchen Kalke und consequenter Mafien auch für Roman-Cement (Cementkalk) und Portland-Cement ift, wie dadurch infondere die vom chemifch-theoretifchen Standpunkte für unzuläffig erklärte hydraulifche Verwendung von Mifchungen aus Fettkalk und Cement als vollberechtigt dafteht und welch koloffale Erfparungen an Material unter Erzielung ficherer Refultate erreicht werden können und bereits in neuerer Zeit erreicht worden find, wird dadurch zur Evidenz einleuchtend. Der lebendige, d. h. ungelöfchte Kalk fpielt überhaupt fchon bei den alten Recepten des *Palladius* zum Verkitten eine wichtige Rolle und zwar ftets in Verbindung mit einer echten Colloid-Subftanz oder einer Paracolloid-Subftanz, d. h. einer folchen, die allmählich bis zur Verflüffigung in einer Flüssigkeit aufquillt, bei Entziehung derfelben aber als feste Hülle fich niederfchlägt. Dahin gehören befonders Ochfenblut, Eiweiß, Milch, Oel etc. Ja, wie wir fehen werden, bedingt die beste Methode der Verwendung der Puzzolane geradezu die Verwendung von lebendigem Kalk, ein Umftand, der bisher merkwürdiger Weife als belanglos überfehen wurde und viel mit zum falchen Urtheil über Puzzolane, Trafs und Santorin-Mörtel beitrug, welches jetzt fo oft maßgebend erfcheint.

Eine andere Methode des Löfchens und Verarbeitens von magerem und von hydraulifchem Kalk ift die, dafs er paffiv verwendet wird. Dabei werden Körbe mit grobem Mafchenwerk bis zu Dreiviertel mit Kalk gefüllt, der zu Stücken von Eigröfse zerfchlagen ift, und diese unter Waffer getaucht. Dort beläft man den Kalk einige Minuten, überhaupt aber fo lange, bis das Waffer einige Secunden aufwallt, hebt die Körbe wieder heraus und leert dieselben in grofse Behälter, welche mit grober Leinwand, Strohecken oder mit einer Sandfchicht bedeckt werden. Dadurch wird er zu Pulver gelöfcht, welches fpäter noch weiter Hydrat- und Breiwaffer benöthigt, um genügend plattifchen Mörtel zu geben.

Dabei wird ein weniger fester, gering hydraulischer, aber ausgiebigerer Mörtel erzielt.

Der Sache nach hiermit identisch ist das vielfach gebrauchte Trockenlöfchen unter Sanddecke. Es werden dabei lange, etwa 1 m breite und $\frac{3}{4}$ m hohe Haufen von Kalkstücken mit einer Sanddecke versehen und auf den festgeschlagenen Sand die nöthige Menge Wasser aus Spritzkannen möglichst gleichmäßig geschüttet ⁷⁶⁾. Dies wird in einem Zeitraum von etwa 6 Stunden mehrmals wiederholt und der so gelöschte Kalk einige Tage sich selbst überlassen. Anstatt den Kalk erst auf dem aufgeschütteten Haufen zu begießen, werden die Kalkstücke auch in dünnen Lagen von 5 bis 6 cm aufgebracht und jede Lage einzeln so lange mit Wasser übergossen, als der Kalk dasselbe noch ansaugt. Der auf diese Weise entstehende kegelförmige Haufen wird sodann gleichfalls mit einer Sandschicht zugedeckt ⁷⁷⁾.

Bei den zwei letztgenannten Methoden des Trockenlöschens zerfallen die Kalkstücke allmählich zu feinem Pulver von Kalkhydrat, welches dann unmittelbar zur Mörtelbereitung benutzt, nöthigenfalls vorher durch Sieben von den ungelöschten Stücken befreit wird. Der zu Staub gelöschte magere oder hydraulische Kalk wiegt lose gemessen pro 1 hl 65 bis 70 kg ⁷⁸⁾ und giebt mit 40 Procent Wasser für sich ca. 70 l Mörtel, mit 3 hl Sand je nach der Beschaffenheit des Sandes 3, 2,95 und 2,88 hl Mörtel; als Kalk wurde hiebei der bei Hafengebäuden zu Betonblöcken so gefuchte *Chaux du Theil* benutzt, als Sand verschieden feinkörniger mit steigender Korngröße.

d) Mörtel aus Roman-Cement.

Die Verwendungsweise von natürlichem oder Roman-Cement (hydraulischem Cement, Cement-Kalk) ist einfach. Er wird nur gewöhnlich trocken mit Sand, je nach der beabsichtigten Wasserdichtigkeit mit 1 bis 3 Theilen Sand, gemengt; ein ringförmiger Haufen dieses Gemenges wird alsdann innen mit Wasser gefüllt und hierauf Alles so lange durchgearbeitet, bis ein gleichmäßiger Brei entsteht. Diese Methode des Anmachens ist deshalb die beste, weil sie von vornherein verbietet, zu viel auf einmal anzumachen und weil man ohne Mörtelverlust den Brei nicht zu dünnflüssig machen kann, was stets der Dichtigkeit des Mörtels und damit auch seiner Festigkeit schadet, während das Anmachen von zu großen Quantitäten ein Gestehen oder Abbinden vor der Verarbeitung zur Folge hat und demnach ein neues Durcharbeiten unter neuem Wasserzusatz. Die günstigste Verwendungsform, um volumbeständigen und dichten Roman-Cement-Mörtel zu erzielen, bleibt deshalb auch hier die des activen Verarbeitens vor dem Abbinden.

Bei direct im Wasser auszuführenden Bauten wird diese Methode auch regelmäßig angewendet; für diese Zwecke verdient der Roman-Cement wegen seiner meist raschen Bindung und Billigkeit den Vorzug vor allen anderen Mörtelarten, da es mit ihm angeht, aufsteigende Quellen, durchbrechende Sickerwässer etc. rasch zu verstopfen.

Die Methode bei Verwendung zu Fundirungen in feuchtem Grunde und zu Wandputz, wozu er jetzt besonders in Wien so allgemeine Benutzung findet, arbeitet jedoch in erster Linie auf dünnflüssigen in

⁷⁶⁾ Vergl. auch: Panzer. *Bereitung des Mörtels aus hydraulischem Kalke.* 1852.

⁷⁷⁾ Manger, J. *Hilfsbuch zur Anfertigung von Bau-Anschlagen etc.* 4. Aufl. Von R. Neumann. 1879. Erste Abtheilung, S. 90.

⁷⁸⁾ Nach *Dyckerhoff* wiegt 1 hl zu Staub gelöschter hydraulischer Kalk, im 50-Liter-Maßgefäß mit der Schaufel lose eingefüllt und abgeftrichen, bei Beckumer Kalk 55 kg (spec. Gewicht 2,445), bei Afchaffenburg Kalk 60 kg (spec. Gewicht 2,718), bei Metzger Kalk 65 kg.

alle Fugen dringenden Mörtel hin, und man erreicht dies durch Anmachen großer Quantitäten in einer Kalklöfchbank, nachdem vorher Roman-Cement-Pulver und Sand schaufelweise über einander in Haufen gemischt wurden, unter Zusatz von so viel Wasser, daß eine Menge reinen Wassers darüber steht, und der Mörtelbrei mit Löffeln geschöpft und mit Löffeln auf die Mauer gegossen wird, deren Ziegel nur ungenügend oder gar nicht genetzt sind. Dadurch wird einerseits ermöglicht, sehr viel Sand zu incorporiren, weil das Pulver unbefchränkt aufquellen und auch ein eigentliches präcises Abbinden gar nicht eintreten kann; hingegen wird dabei die vielen Roman-Cementen innewohnende Neigung, zu treiben, d. h. hinterher im Flächenputz aufzuquellen und Verkrümmungen und Risse zu erzeugen, aufgehoben, dahingegen die Kittkraft so herabgedrückt, daß hinterher durch den entgegengesetzten Proceß des Schwindens die kreuz- und querklaffenden Risse an den sorgsam hergestellten Putzflächen sichtbar werden, wie hunderte von wiener Neubauten trauriger Weise zeigen.

Die beabsichtigte Abhaltung des Grundwassers vom Fundament wird durch einen so porösen Mörtel, wie er gegenwärtig in Wien hergestellt wird, absolut nicht erzielt werden, wie denn auch so manches Palais in den niederen Stadttheilen, trotzdem es in hydraulischem Mörtel fundirt ist, eben weil dieser Mörtel nicht hydraulisch abschließend hergestellt ist, bis in das Mezzanin nasse Mauern zeigt, die nun wieder durch allerlei Mittel trocken gelegt werden sollen, wodurch die Feuchtigkeit nur noch höher hinaufgetrieben wird. Und was die wahrscheinliche Dauer eines solchen Cementputzes, in dessen klaffenden Wunden jeder Regentropfen willige Behaufung findet, anbelangt, so liegt es zu Tage, daß die Zeit nicht fern ist, wo diese Cementputz-Façaden auf dem Straßenspflaster liegen werden.

Dennoch giebt es viele Häuser, welche sorgfältig gebaut, tadellose Façaden zeigen, so daß dem Material selbst die Schuld nur in den seltensten Fällen zur Last fällt, sondern fast immer dem — Mörtelmacher, und, zur Steuer der Wahrheit sei es gesagt, vielfach auch dem rasch auf trocknenden Ostwinde und den brennenden Sonnenstrahlen. Indessen ließen sich auch diese Uebelstände bei verständnisvollem Eingehen in die Natur der zur Verwendung kommenden Materialien beseitigen oder wenigstens vermindern. Schatten und Feuchtigkeit schafft einfach eine vorgehängte, nass erhaltene Matte, und Kalkbrei statt Wasser giebt eine größere Sandcapacität und daher größere Billigkeit ohne Schaden, und Billigkeit ist es ja wohl, was die Cementputz-Methode von heute ins Leben gerufen hat. Allerdings giebt sich Verfasser nicht der Hoffnung hin, daß seine Rolle als Rufer in der Wüste damit ausgespielt sei; aber einige Ueberlegung und ein unbefangener Versuch könnte doch möglicher Weise allmählich dadurch angeregt und so der erste Schritt zur Bekehrung gethan werden.

69.
Gufs-
Ornamente.

Außer als Mörtel wird Roman-Cement auch vielfach zur Herstellung von Gufs-Ornamenten und zur Façaden-Decoration verwendet. Man verlangt hiezu allgemein sehr rasch bindenden Cement, um die Modelle möglichst auszunutzen zu können.

Rasch bindender Cement hat aber zwei üble Eigenschaften: er giebt schwer zu vermeidende, der Oberfläche ein pockenartiges Aussehen verleihende Gufsblasen, von eingefschlossener Luft herrührend, und ist häufig treibend. Da außerdem wegen der geringen Anfangsfestigkeit scharfe Kanten und Contouren möglichst vermieden werden, und der nachherige Pinselanstrich und Cementbrei die Sünden der Flächen verdecken muß, so giebt dies schon anfangs ein unedles stumpfes Ansehen, das durch die immer wieder nothwendigen Anstriche allmählich zu unbestimmten verwaschenen Contouren führt. Allerdings lassen sich solche Ornamente sehr billig herstellen; auch können und werden sie bei einiger Umsicht in Auswahl des Materials und Sorgfalt der Anfertigung und nachherigen Behandlung tadellos hergestellt; aber die Dutzendwaare aus unverständigen Händen ist einmal keine glückliche und rationelle Verwendungsart dieses sonst vortrefflichen Materials.

Ganz ausgezeichnet geeignet ist Roman-Cement zur Herstellung von künstlichen Steinen, meist in Verbindung mit Portland-Cement, besonders zu solchen, welche mit Flüssigkeiten in Berührung bleiben.

70.
Künstliche
Steine.

Während die meisten Gufs-Ornamente in Leim- oder Gypsformen gegossen werden, erscheinen die künstlichen Steine am besten in Holzmodellen aus langamer bindendem Cement gestampft und zwar unter reichlichem Sandzusatz und sparsamem Wasserzusatz, werden daher a priori schon dichter. Am naturgemäsesten eignet sich Roman-Cement zur Herstellung von Wasserläufen, Brunnenrändern, Canalröhren und Canalinnen, Drainröhren, Pferdenufcheln und Futterbarren, zu Dachsteinen (nur bei sorgfältiger Arbeit

und gutem Material dauerhaft, z. B. die vielbewährten Staudacher Cement-Dachziegel), Piffoir-Platten, Tropffnein (Siebplatten) für Papierfabriken, Brunnenfein etc. etc. Bei allen Roman-Cement-Waaren gilt der Grundfatz, daß sie sorgfältig fabricirt und in der ersten Zeit der Erhärtung, am besten mindestens 3 bis 4 Wochen lang, an feuchten und schattigen Orten, welche von Zugluft frei sind, aufbewahrt werden sollen und überhaupt keine solche Anwendung erhalten, welche allzu rapide Austrocknung und Erhitzung gestattet.

Weitere Verwendungsarten werden wir im nächsten Kapitel kennen lernen.

Das Gewicht eines Hectoliters Roman-Cement ist je nach der Zusammenfetzung, der Schärfe des Brandes und der Feinheit der Mahlung zwischen 70 und 90 kg. Beim Anmachen mit Wasser schwindet das Pulver sehr beträchtlich, um so beträchtlicher, je geringer das Gewicht des Hectoliters locker gemessenen Pulvers war. Daher ist die MörtelAusgiebigkeit keineswegs dem Hectoliter-Gewicht umgekehrt proportionirt; im Gegentheil zeigt die Ausgiebigkeit gleicher Gewichte Roman-Cement, gleichen Wasserzufatz vorausgesetzt, nicht bedeutende Differenzen, selbst bei den Extremen. Hingegen kann ein und derselbe Cement ganz beträchtlich verschieden ausgiebig erscheinen, wenn verschiedener Wasserzufatz und verschiedenartiger Sand genommen wird. So ergaben z. B. drei verschiedene Cemente auf je 1 hl:

71.
Ausgiebigkeit.

Verfuch.	Gewicht von 1 hl losem Cement.	Ausbeute an Mörtel bei Zufatz von						
		Wasser:				Sand zu Cement 3 : 1		
		0,30	0,40	0,60	0,90	a (fein)	b (gemischt)	c (grob)
A.	80	0,61	0,73	0,91	1,10	3,00	2,95	2,90
B.	85	0,62	0,75	0,92	1,10	2,95	3,00	2,90
C.	90	0,64	0,76	0,92	1,11	2,95	3,00	2,90
	Kilogr.	Hectoliter.				Hectoliter.		

Rasch bindende Cemente benöthigen, um auf gleiche Mörtelsteife gebracht zu werden, bedeutend mehr Wasser, als langsam bindende, schwinden aber hierbei auch stärker. Im Mittel genügen 30 bis 35 Volumprocente oder 40 bis 43 Gewichtsprocente Wasser, um einen steifen Mörtel, 55 bis 60 Volumprocente oder 68 bis 75 Gewichtsprocente Wasser, um einen flüssigen Mörtel aus reinem Roman-Cement herzustellen. Bei Sand lassen sich wegen der außerordentlich schwankenden Qualität desselben, bezüglich der Benetzungssumme und des oft bis über 10 Procent steigenden Feuchtigkeitsgehaltes desselben allgemein zutreffende Zahlen nicht aufstellen, doch muß der Wasserzufatz stets um einige Procente höher sein, als bei reinem Roman-Cement-Mörtel.

Da das specifische Gewicht der Roman-Cemente 2,7 ist und kaum um $\pm 0,05$ differirt, so erklärt sich einfach das Ausgiebigkeitsverhältniß aus

$$V = \frac{P}{\delta}$$

d. h. das Volum ist gleich dem Quotienten aus dem absoluten Gewicht P dividirt durch das specifische Gewicht δ . Sind nun P_c , P_w und P_s die absoluten Gewichte, δ_c , 1 und δ_s die specifischen Gewichte von bez. Roman-Cement, Wasser und Sand, so ist offenbar

$$V = \frac{P_c}{\delta_c} + P_w + \frac{P_s}{\delta_s}$$

d. h. das Mörtel-Volum ist gleich der Summe der angewandten Gewichte von Cement, Wasser und Sand dividirt durch ihre entsprechenden specifischen Gewichte, vorausgesetzt, daß keine Contraction stattfindet und der Mörtel vollkommen satt, d. h. homogen ohne Zwischenräume ist. Die durch Messen gefundenen Mörtel-Volumen differiren von den berechneten nur unbedeutend, aber stets im Sinne einer Volumvermehrung um so stärker, je weniger Wasser und je mehr Sand genommen wird.

e) Mörtel aus Portland-Cement.

72.
Bereitung
und
Verwendung.

Der Portland- oder künstliche Cement ist vermöge seiner dichten, schieferig-splinterigen Structur, dem hohen specifischen Gewicht (meist über 3,0) und der damit zusammenhängenden energischen Erhärtung das ausgezeichnetste und unentbehrlichste Material, wo es sich um wichtige, grose Festigkeit, Wasserdichtigkeit und Dauerhaftigkeit erfordernde Arbeiten handelt. Da sich seine Theilchen in einem halbgläserigen Zustande befinden, dauert es in der Regel längere Zeit, bis das Aufquellen bis zum Abbinden gediehen ist, und zwar um so länger, je schärfer der Brand, und da dies stets bei höherem Kalkgehalte der Fall ist, je höher der Kalkgehalt ist, eben so auch in der Regel, je länger die Dauer der Ablagerung vor dem Verarbeiten ist. Guter Portland-Cement, wie er jetzt, Dank der regen Concurrenz und Dank der höchst verdienstvollen Anregungen, die in Deutschland von *Michaelis* u. A., in England von *Grant* u. A. ausgegangen sind, allgemein in nahezu gleich ausgezeichneter Qualität aus den verschiedensten Rohmaterialien als das Product einer chemischen Großindustrie künstlich erzeugt wird, steht unübertroffen da wegen der Vielseitigkeit seiner Verwendung und der ausgezeichneten Härte, Festigkeit, Dichte, welche er bei fachgemäßer Verarbeitung erlangt. Sachgemäße Verarbeitung ist aber auch nothwendig; es sind leider Fälle genug bekannt, wo Portland-Cement geradezu schädliche Wirkungen äußerte.

Leider wiederholen sich neuestens solche Klagen über mißlungene Anwendungen öfter, und es finden sich sogar bedeutende Stimmen, welche der Anwendbarkeit von Portland-Cement, namentlich für Hochbauten, überhaupt eine Zukunft absprechen. Es ist von der größten Wichtigkeit, solche Klagen objectiv zu untersuchen und den Grund der hervorgehobenen Uebelstände aufzufuchen.

Die Ursache liegt zweifelsohne in dem angewandten Material. Da aber mit eben demselben aus dem gleichen Faße entnommenen Cement andere Verfuche tadellose Resultate geben, so liegt der Grund jedenfalls tiefer, nicht in dem Material als solchem, sondern in dem angewandten Mörtel und in der Art der Verwendung.

Der Portland-Cement-Mörtel hat in sich selbst stets größeren Zusammenhang, als Adhäsion zu den Flächen der Mauer; er ist specifisch schwer und kann deshalb an lothrechten Wänden vor dem Abbinden schon, ohne daß er abfällt, sich theilweise loslösen. Man muß deshalb wohl auf diesen Umstand Rücksicht nehmen und das Auftragen in kleinen Partien und möglichst kräftig vornehmen. Da der Portland-Cement-Mörtel beim Anwurf ähnlich, wie die übrigen Mörtel, nach Außen zu fetter genommen wird, so wird an der Oberfläche grose Dichtung, aber auch mehr Breiwasser vorhanden sein. Beim Erhärten wird hier im günstigen Falle, wenn dasselbe durch den ganzen Putz gleich rasch erfolgt, außen größere Dichte, als innen vorhanden sein; namentlich kann kein Wasser aus der Mauer mehr entweichen. Tritt in diesem Falle scharfer Frost ein, so kann, von den nicht haftenden Partien angefangen, ein Lossprengen des ganzen Putzes in größeren Platten vorkommen. Tritt hingegen starke Insolation oder trocknender Wind auf, so muß die colloidal festgehaltene größere Wassermenge der Außenseite entweichen; die Berührungssphären entfernen sich; es nimmt der Zusammenhang ab, und es kann bei kalkreichen, im frischen Zustande treibenden Cementen effective Staubbildung eintreten, wie manchmal an Statuen aus Portland-Cement zu sehen ist, die mit einem rasch bindenden Portland-Cement gegossen sind.

Geschehen diese schädlichen Einflüsse schon während des Mauerns, so äußert sich bei Frost, in Folge der stärkeren Anziehung des Wassers zur Colloidbildung, (sehr hohe Kältegrade ausgenommen) zwar in der Mörtelmasse selbst, wenn sie nicht dünnflüssig ist, keine Destruction; desto sicherer tritt sie aber an der Mauerfläche ein. Beim Aufthauen fällt dann meist mit abgeblätternen Ziegelschalen, bezw. anderen Mauertheilchen der Putz ab; bei einseitiger Austrocknung durch Sonne und Zugluft bilden sich bei fettem Putz leicht jene Schwindungs- oder Windrisse, welche früher häufig mit den Rissen in Folge von Treiben verwechselt wurden, und die bereits bei den Roman-Cementen erwähnt wurden, welche aber hier um so schädlicher sind, weil die glasharten, spröden Elemente des Portland-Cementes nach völligem Ineinanderwachsen erst ihre spröde, dem Ab Sprengen so günstige Natur wieder äußern. Je langsamer das Abbinden und je stärker die Austrocknung, desto klaffender erscheinen die Risse. Von den Rissen, welche in Folge von Treiben entstehen, unterscheiden sie sich charakteristisch dadurch, daß durch Treiben entstandene Risse immer mit einer Krümmung der Unterfläche, mit aufgeworfenen Rändern und eingefunkenen Flächen versehen sind und meist kreidige Anflüge zeigen; bei Kuchen, zur Probe angemacht, klaffen die Risse am weitesten am Rande und verlaufen radial, während die Schwindungsrisse in der Mitte am breitesten sind, nach den Rändern zu sich verlieren und ganz unregelmäßig verlaufende Curven bilden.

73-
Treiben,
Windrisse.

In Folge dieser für die richtige Beurtheilung der Qualität des Cementes wichtigen Thatsache hat der deutsche Cementfabrikanten-Verein am 6. Februar 1880 über Antrag *Schumann's* empfohlen: »Luftrisse, welche bei der Probe auf Treiben während des Abbindens am Cementkuchen entstehen, lassen nicht auf fehlerhafte oder gar treibende Eigenschaften des Cements schließen. Zu ihrer Vermeidung empfiehlt es sich, um Irrthümern vorzubeugen, die Cementkuchen bis zum Einlegen ins Wasser vor Sonnenschein und Luftzug zu schützen. Das bauende Publicum ist auf den Unterschied zwischen Treibrissen und Luft- oder Schwindungsrisseu speciell aufmerksam zu machen.«

Auch *Michaëlis* betont das Verfehlt zu fetter Ueberzüge aus Portland-Cement in der 17. These seines trefflichen Schriftchens: Zur Beurtheilung des Cementes (Berlin 1876), welche lautet: »Das Aufreiben eines sehr fetten, dichten Ueberzuges bei allen der Luft und Witterung ausgesetzten Arbeiten ist verwerflich, da ein solcher Ueberzug schon seiner Sprödigkeit entsprechend rissig werden muß.« Eben so wichtig für die Praxis ist der Inhalt der 16. These: »Magere Mörtel sind gegen spülendes Wasser durch einen fetten Ueberzug zu schützen.« Desgleichen These 13: »Reiner Kalkmörtel ist ein sehr untergeordnetes Material vom Standpunkte der Festigkeit und der Gesundheitspflege. Die Anwendung von Kalk-Cementmörtel ist für Hochbauten auf das Wärmste zu empfehlen, ganz besonders auch für sämtlichen Putz.

Die erwähnten kreidigen Anflüge oder Efflorescenzen an Cementarbeiten rühren nach *Dyckerhoff* weniger von dem Cement, als von den bei den Arbeiten verwendeten Steinen her, welche in Folge ihrer Porosität die in Lösung befindlichen Alkalien des Mörtels auffaugen und später beim Abtrocknen wieder ausblühen lassen.

74-
Efflorescenzen
u. Anfriche.

Sie lassen sich entfernen, wenn man die mit denselben bedeckten Stellen erst mit verdünnter Salzsäure (10 Theile käufliche Säure auf 100 Theile Wasser) und dann mit Wasser abwäscht. Soll die Cementfläche einen Oelfarbanstrich erhalten, so ist es das beste, den Cementputz mindestens ein, auch zwei Jahre unangefruchtet stehen zu lassen, und es wird dann die Oelfarbe gut darauf haften bleiben. Von den bekannten Mitteln, mit denen man die Cementoberfläche imprägnirt, um dann den Oelfarbanstrich früher auftragen zu können, wie verdünnte Schwefelsäure, Eisenvitriol etc. etc., hat sich bis jetzt keines fonderlich bewährt.

Die neueste rationellste und wichtigste Verwendungsart des Portland-Cementes ist seine Verbindung mit Weiskalk-Mörtel, wodurch der sog. Kalk-Cementmörtel oder verlängerte Cementmörtel entsteht.

75-
Kalk-
Cementmörtel.

Lange Zeit war es nur eine verpönte Praktik, die geradezu als chemischer Nonfens, als Betrug und Verwendungsgebrandmarkt wurde, wenn unter Cementmörtel Kalkbrei gemischt wurde. Man konnte von einseitig chemischem Standpunkte abolut nicht absehen, wie der Zusatz des schlechtesten Mörtelmaterialies das »beste« verbeffern könne; allerdings hatte man dabei vergeffen, dafs auch das beste Mörtelmaterial doch schließlic in feiner Güte als Mörtel vom Sandzusatz abhängt und dafs mit der Steigerung des letzteren über eine gewisse Grenze hinaus die Verwendbarkeit zu Mörtel einfach aufhört, weil zu wenig Bindstoff oder Kittmaterial vorhanden ist. So richtig demnach auch die 12. *Michaëlis'sche* These: »Kalkzusatz verschlechtert eben so sehr den Cementmörtel, als umgekehrt Cementzusatz den Kalkmörtel verbeffert«, für fetten Cementmörtel ist, so grundfalsch und durch die Praxis glänzend widerlegt ist sie für magere Mörtel.

In den höchst werthvollen Versuchen *R. Dyckerhoff's*, aus Portland-Cement, Kalkbrei und viel Sand einen besseren Mörtel zu erzielen — sowohl in Bezug auf Wasserbeständigkeit, als auch auf Adhäsion, Druck und Zug — wie aus den gleichen Theilen Cement und Sand allein, ist auch die volle Bestätigung der richtigen Actualität der Mörtel-Theorie des Verfassers enthalten, wie auch *Dyckerhoff* bei Bekanntgabe seiner Versuche richtig bemerkte. Die fortgesetzten neueren Versuche und die Anwendung dieser Mischungen zu den sämtlichen Betonirungen der Fundamente der Straßburger Universität, zu den Fortificationen von Mainz etc. haben ganz evident die überraschende Bestätigung der nunmehr unzweifelhaften Ueberlegenheit eines mageren Kalk-Cementmörtels über den reinen Cementmörtel mit denselben Theilen Sand dargethan.

Solcher Mörtel zeichnet sich natürlich in erster Linie durch seine Billigkeit aus; es kostet nach *Dyckerhoff* 1 cbm Kalk-Cementmörtel, welcher selbst noch bei Frostwetter mit bestem Erfolg zu verschiedenen Bauten angewendet wurde, und der aus 1 Gew.-Theil Cement, $\frac{1}{2}$ Gew.-Theil Kalkhydrat (= 1 Gew.-Theil Kalkbrei, welcher bei 100 Grad C. getrocknet) und 7 Gew.-Theilen Sand besteht, nur 14,58 Mark. Für Gewölbbauten läßt sich kein besserer Mörtel denken und sollte hierzu wohl ausschließlich Kalk-Cementmörtel genommen werden.

Ferner sind dabei die starken hydraulischen Eigenschaften interessant. Die Versuche von *Dyckerhoff* ergaben, dafs ein Mörtel aus 1 Cement, 6 Sand und 1 Kalkteig schon nach 2 Stunden dem Wasser widerstand, während ein Mörtel aus 1 Theil gleichen Cement und 6 Theil gleichen Sand ohne Kalkteig erst nach 12 Stunden im Wasser hielt; ein Mörtel aus 1 Trass, 2 hydraulischen Kalk und 2 Sand 2 Tage, hydraulischer Kalk rein 4 bis 7 Tage brauchte, um nicht mehr im Wasser zu zerfallen, sondern allmählich zu erhärten.

Eben so auffallend ist die rasche Erhärtungsfähigkeit, gemessen durch das Wachsen der Druckfestigkeit bei den Kalk-Cementmörteln, sowohl an der Luft als im Wasser gegenüber den Trass-Mörteln und den Mörteln aus hydraulischem Kalk. Die Zugfestigkeit nimmt ebenfalls durch Zusatz von Kalkteig zu magerem Cementmörtel deutlich zu. Während eine Mischung aus 1 Cement und 7 Sand nach 28 Tagen im Durchschnitt 3,5 kg ergab, brachte ein Zusatz von 1 Kalkteig nach gleicher Zeit eine Festigkeit von 4,1 kg hervor.

Noch auffallender ist die Erhöhung der Druckfestigkeit. 1 Cement und 7 Sand gaben nach 28 Tagen 58,1 kg, nach 84 Tagen 69,3 kg Druckfestigkeit, die gleiche Mischung und 1 Kalkteig nach 28 Tagen 131,5, nach 84 Tagen 167,2 kg Druckfestigkeit.

Die Adhäsion an Backsteinen ist am allereclatantesten der directe Ausdruck der erhöhten Kittkraft. Zwei Backsteine, über Kreuz mit 144 qcm Kittfläche gemauert, gaben bei 1 Cement zu 3 Sand nach 1 Woche 64,0 kg, nach 3 Wochen 90,5 kg Rifsbelastung, 1 Cement zu 5 Sand nach 1 Woche 18,8, nach 3 Wochen 28,3 kg, hingegen 1 Cement zu 7 Sand und 1 Kalkteig nach 1 Woche 62,2, nach 3 Wochen 84,7 kg Rifsbelastung.

Verfasser kann dies aus seinen eigenen vielfachen Versuchen vollständig bestätigen und noch hinzufügen, dafs er für 1 Cement, 5 Sand und 1 Kalkteig nach 1 Woche für die gleiche Kittfläche von 144 qcm 110,2 kg Tragfähigkeit ohne Rifs, sodann bei stets bleibender Belastung nach 4 Wochen eine Tragfähigkeit von 165,3 kg, ebenfalls ohne Rifs, erhielt; erst bei einer Belastung von 169 kg trat die Trennung mitten in der Fuge ein, während bei weitaus den meisten Proben mit 1 Cement und 3 Sand die Trennung am Backstein eintrat, unter Mitnahme einzelner Ziegelfplitter, und zwar bei einer durchschnittlichen Belastung nach 4 Wochen von 150 kg. Die praktische Tragweite dieser Erfahrungen ist eine

immense und wird sicher dazu führen, endlich bei der Stabilitätsberechnung auch die Mörtelbindekraft mit Sicherheit in Rechnung zu ziehen⁷⁹⁾.

Durch die vorstehenden Betrachtungen wären zugleich die Urfachen des Mißlingens mancher Portland-Cement-Arbeiten im Hochbauwesen beleuchtet und die Mittel zur Abhilfe gegeben.

Die weiteren Verwendungsarten des Portland-Cementes können kaum mehr andeutungsweise begrenzt werden. Insbesondere macht ihn seine große Härte und die daraus folgende Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung zu Fußboden-Estrichen und Pflasterungen, welche stark begangen werden, geeignet, und daraus hat sich eine blühende und berechnete Cementwaaren-Industrie entwickelt, welche besonders in dem künstlerischen Süden, in Italien und Südfrankreich, aber auch in Deutschland und in Oesterreich eine eigene künstlerisch veredelnde Behandlung des Materials hervorgerufen hat. Entweder werden die Pflasterungen in ganzen Flötzen als zusammenhängende Decke (Estrich) ausgeführt, oder sie werden aus einzelnen Cementplatten zusammengesetzt.

76.
Estrich
und
Pflaster.

Im ersten Falle hat man die Vorsicht zu gebrauchen, daß man den Cementmörtel nicht zu fett macht, besonders an der Oberfläche nicht; noch besser verhindert man das Entstehen von Schwindungsrisfen, wenn man nach dem Vorgange *Schillingers* die Pflasterung in großen Quadraten von etwa 4 qm ausführt, welche durch elastische Zwischenlagen (dünne Theerpappe) getrennt sind; hierdurch kann der Estrich der Ausdehnung bei Temperaturerhöhung und umgekehrt der Zusammenziehung bei Temperaturniedrigung ohne Schaden folgen.

Ist ein Flötzpflaster künstlerisch auszuführen, so wird es meist in Terazzo-Mosaik gelegt, worin die Italiener Meister sind und seit der Verwendung von Portland-Cement hierzu statt des früheren Mörtels (frisch gelöschter Kalk mit Ziegelmehl) ganz vortreffliche, widerstandsfähige und kaum abnutzbare Pflaster für Hausflure und Gänge liefern.

Mit dem Terazzo concurriren lebhaft die Marmor-Mosaik-Platten, welche ebenfalls, wenigstens an der Oberfläche, aus Portland-Cement geformt werden; darin bleiben die verschiedenen Muster ausgepart, ähnlich wie bei den Mettlacher Platten. Die weitere decorative Behandlung ist eben so wie beim Terazzo; nur daß auch häufig die Cementmasse selbst verschiedene Färbemittel erhält, wie es namentlich bei den italienischen und südfranzösischen Mosaik-Fliesen der Fall ist.

Diese Platten werden entweder von der Hand aus fast ganz trockenem, bloß erdfeuchtem Cement geformt und so lange geschlagen, bis sie plastisch werden und Wasser absetzen, oder sie werden unter hydraulischem Druck oder auf Spindel-Schwengelpressen gepreßt, wodurch eine größere Dichtigkeit und glattere Oberfläche erzielt wird, ohne aber, wie häufig geglaubt wird, durch beliebige Steigerung des Druckes eine beliebig größere Festigkeit erzielen zu können, weil plastische Massen, nach Erlangung ihrer Maximaldichte wie Flüssigkeiten nicht mehr zusammendrückbar sind. Ernstlich muß an dieser Stelle vor einem Mißbrauch gewarnt werden, wodurch mancher Schaden entstanden ist. Manche Cementwaaren-Dilettanten benutzen zur Erzeugung von lichter Steinfarbe Kalkasche, das Zerreibsel und den Abfall der Kalkhochöfen, ohne besondere Sorgfalt auf völliges Ablöschen und Absieben zu verwenden, und nehmen hiervon sehr viel in die Mischung. Sind, wie häufig der Fall, gröbere unabgelöschte Körner darunter, so bewirken diese oft erst nach dem Verlegen als Pflaster Treiben der bösesten Art, so daß fogar Mauern ausweichen können, was dann natürlich dem Portland-Cement zugeschrieben wird.

Weitere Details über Cement-Estriche, Terazzo und Plattenpflasterungen, insbesondere über die entsprechenden Unterlagen etc. werden im III. Theile des vorliegenden »Handbuchs« (Abth. IV, Abfchn. 5, Kapitel über »Fußböden« und Abth. V, Abfchn. 3, Kapitel über »Behandlung der Hofflächen und Trottoirs«) gebracht werden.

Eine ganz erfreuliche Entwicklung hat auch die Imitation von Breccien-Marmor, Granit und Porphyr erfahren; schön polirte Säulen, Vasen, Grabmonumente etc. werden in ganz vorzüglicher Qualität geliefert.

77.
Sonstige
Cement-
Fabrikate.

⁷⁹⁾ Näheres über diesen wichtigen Gegenstand: Notizbl. d. deutsch. Ver. f. Fabr. v. Ziegeln etc. 1879. II, S. 189 und 1880. I, S. 120.

Der übrigen Cementwaaren ist schon beim Roman-Cement gedacht worden; nur soll hier wiederholt werden, daß in Cementwaaren, wegen der verlockenden Einfachheit der Herstellung und der Härte des Productes, bereits nahezu Alles bis auf Champagnerstöpsel herunter daraus gegossen und gestampft wird. »Alles schickt sich nicht für Einen« gilt hier in hohem Maße und giebt auch den Schlüssel zu dem Räthsel der Sphinx, warum denn einerseits die Cementwaaren so gelobt und verhimmelt, andererseits so getadelt und verwünscht werden. Wo beständige oder vorherrschende Trockenheit unbedingt nicht zu vermeiden ist, sollte man derlei Producte weglassen oder wenigstens nach dem Vorgange solider Cementwaaren-Fabriken dieselben unter sorgfältiger Anfertigung aus wohlgeprüften Materialien so lange unter günstigen Bedingungen erhärten lassen, bis sie volle Widerstandsfähigkeit erlangt haben.

78.
Ausgiebigkeit.

Die Ausgiebigkeit von Portland-Cement wurde seiner Zeit wegen der falschen Anschauung, daß dieselbe dem Hectoliter-Gewicht proportional sei, mit für einen wichtigen Werthfactor gehalten. Seither hat sich durch zahlreiche Versuche von verschiedenen Seiten herausgestellt, daß die Gewichts-differenzen im Hectoliter-Gewicht von Portland-Cement maximal nie so gross sind, daß sie nicht bei Verwendung verschieden ausgiebigen Sandes wenigstens ausgeglichen werden könnten.

Verfasser fand z. B. die Ausgiebigkeit von drei verschiedenen schweren Portland-Cementen wie folgt:

Ver- such.	Gewicht von 1 hl losem Cement.	Ausbeute an Mörtel in Hectolitern bei einer Mischung von Cement zu Sand											
		1 : 0		1 : 3			1 : 0		1 : 3				
			a (fein)	b (gemischt)	c (grob)		a (fein)	b (gemischt)	c (grob)		a (fein)	b (gemischt)	c (grob)
A.	120	0,83	3,00	3,10	2,93	0,74	2,86	2,65	2,08				
B.	130	0,86	3,05	3,10	2,95	0,72	2,35	2,60	2,08				
C.	140	0,88	3,05	3,12	2,95	0,70	2,30	2,55	2,08				
	Kilogr.	In Volumtheilen gemischt, 0,4 Volumtheile Wasserzuzatz					In Gewichtstheilen gemischt, 0,75 Gewichtstheile Wasserzuzatz.						

Die Mörtelausbeute mit *Dyckerhoff'schem* Cement ist folgende: Es ergeben 1 hl loser Cement von 140 kg Gewicht⁸⁰⁾ mit 140 kg losem Sand und Wasser in Volumtheilen gemischt

bei Cement zu Sand zu Wasser	1 : 0 : 0,45	1 : 1 : 0,53	1 : 2 : 0,80	1 : 3 : 1,04
an Mörtel	0,90	1,51	2,31	3,08

Für die Mischungen mit anderen Sandverhältnissen lassen sich auch aus der angegebenen Formel (Art. 71, S. 129) unter Substitution des specifischen Gewichts von Portland-Cement = 3,13 und von Sand = rot. 2,65 die erforderlichen Anhaltspunkte gewinnen.

f) Kalkmörtel mit hydraulischen Zuschlägen.

Man kann einem gewöhnlichen Kalkmörtel hydraulische Eigenschaften verleihen, wenn man demselben gewisse Stoffe wie Puzzolane, Trafs, Santorinerde, Ziegelmehl, gewisse Schlacken etc. beimengt.

Die Römer haben großartige Wasserbauten aufgeführt mit ihrem *Pulvis puteolanus*, der heute noch vielgebrauchten Puzzolane; der Trafs vom Brohl- und Nette-Thal ist seit dem Mittelalter am Rhein und in

⁸⁰⁾ 1 Tonne Portland-Cement von 180 kg brutto und 170 kg netto enthält etwa 90 l fest gepresste Maffe. Je nach der Feinheit des Cementes und der Art des Einfüllens erhält man beim lofen Messen 110 bis 135 l aus der Tonne. Die Mehrzahl der im Handel vorkommenden Portland-Cemente ergibt 140 kg Gewicht für 1 hl lose eingefüllten Cement; somit enthält die Tonne 121,4 l, der Sack von 60 kg = 43 l lofen Cement, welche Zahlen für die Ausführung zu Grunde gelegt werden können, um über die Ungenauigkeiten, welche das bloße Messen ergibt, hinauszukommen.

Holland als Substrat für dauerhaften Waffermörtel bekannt, und die Santorinerde sollen schon die alten Griechen zu Wasserbauten verwendet haben, während sie in neuerer Zeit erst in diesem Jahrhundert nachweisbar wieder Eingang bei Hafenbauten fand.

- 1) Die Puzzolane soll, wenn sie echte römische ist, braunrothe Farbe haben und ist um so besser, je feiner gemahlen oder gesiebt sie ist und je mehr in Salzsäure gelatinirende Kieselsäure sie enthält. Sie wird meist mit lebendigem, frisch zu Pulver gelöschtem Kalk zu gleichen Volumtheilen und möglichst fett in Verwendung genommen. Ein Hectoliter feingesiebter Puzzolane wiegt lose 88 kg und hat ein spec. Gewicht von 2,40.
- 2) Der Trafs kommt in seiner besten, aufschliefsbarsten Sorte (von Plaidt und Krufft) im Nette-Thal vor, von wo er fein gemahlen und gesiebt oder in Stücken verandt wird; die Holländer vermahlen ihn häufig selbst auf Kollergängen. Er bildet ein lichtgraues, scharfes Pulver und wird meist mit zu Pulver gelöschtem Kalk im Verhältnifs von 1:1 oder mit Fettkalk im Verhältnifs von 1:2 und außerdem mit 1 bis 2 Theilen Sand vermengt, ohne weiteren Wasserzusatz, als steifer Brei verwendet, welcher dem Wasser erst nach zwei Tagen vollkommen widersteht. Ein Hectoliter wiegt lose 90 kg und hat ein spec. Gewicht von 2,23.
- 3) Die Santorinerde ist in ihrem hydraulischen Verhalten am schwächsten, da sie nur zum Theile aus aufgeschlossenen Silicaten besteht, und bildet ein sehr lockeres mit Bimssteinstücken vermengtes, grauweißes Pulver und wird dem Kalkteig in größeren Quantitäten ($3\frac{1}{2}:1$) zugefetzt. Sie widersteht dem Wasser erst nach Wochen, erhärtet aber dann sehr dauerhaft, verliert jedoch an der Luft sehr rasch ihr Colloidwasser, so dafs Santorin-Mörtel an der Luft bald pulvrig und mürbe wird. Das Hectoliter wiegt 83,3 kg, das spec. Gewicht beträgt 2,37.
- 4) Schon die Römer nahmen als Ersatz für ihre Puzzolane Ziegelmehl; in neuerer Zeit lernte man Steinkohlenschlacken und geeignete Hochofenschlacken hierzu zu verwenden; insbesondere sind letztere die Grundlage einer in England und im Osnabrückischen blühenden Industrie zur Herstellung künstlicher Steine geworden. Die Osnabrücker Schlackensteine haben einen wohlverdienten Ruf und weite Verbreitung. Hierher gehören auch die sog. Schwemmsteine von Neuwied und Umgebung, welche aus vulcanischem Tuff und Trier'schem hydraulischen Kalk angefertigt werden. Nach einer Verfügung der berliner Baudeputation vom 15. November 1873 sollen dieselben aus 90 Gewichtstheilen Bimssteinfand und 10 Gewichtstheilen Trier'schem Kalk kunstgerecht angefertigt und vor der Vermauerung mindestens 6 Monate ausgetrocknet werden. Das Format beträgt $250 \times 115 \times 100$ mm, das Gewicht eines Steines nur 2,25 kg; solche Steine geben höchst poröse, gefunde und leichte Wände ab; allerdings dürfen sie nicht sehr auf Druckfestigkeit beansprucht werden ⁸¹⁾.

79.
Puzzolane,
Trafs.

80.
Santorinerde,
Ziegelmehl.

81.
Schlacken- u.
Schwemm-
steine.

⁸¹⁾ Versuche von *Böhme* (vgl. Deutsche Bauz. 1880, S. 39), welche mit den von der Firma *Hubaleck u. Co.* in Neuwied-Weiffenthurm erzeugten Schwemmsteinen von den oben angegebenen Abmessungen angestellt wurden, ergaben nachstehende Durchschnitts-Resultate.

Gewicht pro Stein: bei gewöhnlichem Trockenzustande 2,47 kg, nach künstlicher Trocknung 2,37 kg, nach 50-stündigem Liegen im Wasser 3,29 kg, nach 125- und 150-stündigem Liegen im Wasser 3,25 kg, daher Gesamtaufnahme an Wasser pro Stein 0,98 kg oder pro 1 kg Steingewicht 0,42 kg.

Druckfestigkeit (bei Wirkung des Druckes gegen die Lagerfläche des Steines): für den Eintritt der Risse 18 kg, für die Zerstörung 29 kg pro 1 q^{cm}.

Von allen hydraulischen Zuschlägen, überhaupt von jeder Verbindung von Kalk mit einer hydraulischen Substanz gilt das Gesetz von *Vicat*: »Ganz aufschliessbare Puzzolane (und Portland- und Roman-Cement) soll man mit Fettkalk, weniger aufschliessbare Puzzolane und aufschliessbare Sande (z. B. Feuerstein sand) soll man mit hydraulischem Kalk, die schwächsten Puzzolane und halb aufschliessbare Sande (von Phonolith, Pechstein etc.) mit Roman-Cement, die chemisch unwirksamen Sande mit Portland-Cement mischen, um stark erhärtende Wassermörtel zu erhalten.«

g) Magnesia- und Gyps-Mörtel.

Die Magnesia-Kalk- und die reinen Magnesia-Cemente haben gegenwärtig eine geringe Bedeutung, verdienen jedoch wegen ihrer außerordentlichen, das Colloid-Wasser oder die Colloid-Flüssigkeit länger, d. i. energischer als die Kalkmörtel feithaltenden Kittfähigkeit, besonders bei Arbeiten, wo große Adhäsion des Mörtels Bedingung ist, besondere Beachtung. Die Entwicklung der betreffenden Industrie schreitet langsam, aber sicher vor und hat in Amerika ihr Hauptgebiet, wo der Mörtel aus Magnesia-Kalk geradezu dominiert⁸²⁾.

Ausgedehnter und mannigfaltiger ist in Europa die Anwendung des Gyps-Mörtels. Will man Gyps, wie er gewöhnlich in der rasch bindenden Form im Handel vorkommt, langsamer bindend machen, so mischt man ihn mit Leimlösung, Pflanzenschleim oder anderen Colloiden, statt mit Wasser, wodurch die Aufnahme von KrySTALLwasser mehr verlangsamt und dadurch der Uebergang in den starren Zustand aufgehoben wird. — Alle Mittel, welche verwendet werden, um Gyps haltbarer, schöner, insbesondere polirbar zu machen, bezwecken eine Verminderung der Porosität und eine dichte, nicht sperrige Ineinanderlagerung der sich bildenden KrySTALLE. Insbesondere ist möglichste Beschränkung des Wasserzusatzes, kräftiges Umrühren, um Luftblasen zu entfernen, Zusatz von Fettkalk — wenig, wenn es sich um Gufs, über 15 Procent, wenn es sich um Modellirung handelt — für dichte Gypsmörtel erforderlich.

Die Verwendung des Gyps-Mörtels ist die älteste unter allen chemischen Mörteln. Die Aegypter haben ihn schon beim Pyramidenbau verwendet. Die verschiedenen Modificationen der technischen Verwerthbarkeit haben es mit sich gebracht, daß der Gyps, besonders unter ungeübten Händen, in Verruf kam. In Gypsgegenden, wie in Paris, am Harz etc. findet der Gyps allgemeine Anwendung statt Fettkalk-Mörtel oder doch als ausgiebiger Zusatz zu solchem. Wandbelege, Decken, Estriche, Façaden werden dafelbst gewöhnlich aus Gyps, und zwar meist aus der langsamer bindenden hydraulischen Modification hergestellt; selbst als Beton unter dem Namen Annalith wird er am Harz mit vorzüglichem Erfolge verwendet. So hat man ganze Fabrikchornsteine daraus gebaut. Die vielfach behauptete und auch beobachtete Empfindlichkeit gegen Witterungseinflüsse ist anderwärts wieder durch vollständig gegenheilige Beobachtungen neutralisirt worden.

Wahrscheinlich ist hier die gleiche Ursache vorhanden, wie beim Portland-Cement; die fachgemäße Verarbeitung guten Materials erzeugt auch beim Gyps dauerhafte Arbeit, wie die Schloßruinen bei Osterode am Harz beweisen, wo die Backsteine ausgewittert und die Gypsfugen stehen geblieben sind, oder die Hauptgesimse des Kreml in Moskau, welche den Brand vom Jahre 1813 überstanden und trotz bedeutender Ausladung bis jetzt unverfehrt dem russischen Klima Stand halten. Vielleicht hängt auch hier die Dauerhaftigkeit mit der Größe der Porosität zusammen. Es giebt Gypsgüsse, welche bis 66 Procent Porosität besitzen; von solchen ist es leicht begreiflich, daß sie dem Froste nicht widerstehen können.

Die Alaun- und Borax-Gypfe oder *Keene's* und *Parian-Cement* finden vielfach zu ornamentalen und figuralen Decorationen Anwendung; herrliche Stuck-Marmore mit feinstem Luftre werden daraus hergestellt. In London sind die bedeu-

⁸²⁾ Näheres über diese Mörtelarten in des Verfassers: Die Dolomite und ihre praktische Verwendung. *Techniker* 1872. — Die dolomitischen Cemente und ihre Bedeutung für Bauwissenschaft und Architektur. *Zeitschr. der Oeff. Ing.- u. Arch.-Ver.* 1873, S. 201.

82.
Magnesia-
Mörtel.

83.
Gyps-
Mörtel.

84.
Keene's
u. *Parian-*
Cement.

tendsten öffentlichen Bauten mit Parian-Cement decorirt. Letzterer soll sich besonders auch indifferent gegen Aufnahme von Miasmen zeigen und wird daher dafelbst in vielen Spitalern als Wandputz verwendet.

Der als Marezzo-Marmor bekannte Stuck-Marmor, welcher in Berlin viele Anwendung fand, ist ein verbesserter *Keen'scher* Alaungyps.

Der Stuck-Marmor ist in Bezug auf künstlerische Wirkung das beste Decorationsmittel, erfordert aber verständige und geübte Bearbeitung. Es lassen sich alle natürlichen Decorationssteine auf das Täuschendste damit nachahmen und eine Politur erzielen, welche der des schönsten Marmors nicht nachsteht.

85.
Stuck-
Marmor.

Die Grundmasse wird aus einem Gypsteig gemacht, dem man unter dem Anmachen mit Leimwasser die gewünschte Nuance mittels Mineralfarbe giebt. Gewöhnlich macht man von jeder Farbe mehrere Nuancen. Um nun wolkigen Marmor zu machen, formt man aus dem Grundteig Kugeln verschiedener Größe, die man über einander wirft und dann die Zwischenräume mit der beabsichtigten Aderungsfarbe in Form dünnen Gypsbreies ausfüllt. Breccien-Marmor wird durch walzenförmiges Ausziehen, Kantigformen und dann Zerreißen in unregelmäßige eckige Stücke vorgebildet. Zum Anfertigen von Granit und Porphyrr werden die nach dem hervortretenden Mineral roth, dunkelgrün oder weiß gefärbten Gypspasten in Platten geformt, anziehen gelassen, sodann in Stücke von gewünschter Größe zerbrochen und der Grundmasse beigemischt. Zu Weiß nimmt man auch direct Stücke aus ungebranntem Alabafter.]

Das Ganze wird dann zu einem Ballen geformt und dieser in flache Scheiben geschnitten, welche auf den schon aufgetragenen Grundputz von Gyps-Mörtel mit Sand und Leimwasser angedrückt, nachdem beide zu verbindende Flächen gut genetzt waren. Dann beginnt, nach völligem Abbinden, zuerst das Abhobeln, wodurch die größten Unebenheiten weggebracht werden, sodann das Ausfüllen der gebliebenen Löcher mit verständig gewählter Gypspaste und sorgsamem Glätten mittels Holzspateln. Sodann wird geschliffen, zuerst mit gröberem, sodann mit stets feinerem Sand- und Bimsstein, bis zuletzt Achat und Blutstein an die Reihe kommen, wodurch schon Hochglanz erzeugt wird. Jedesmal wird die Wand wieder trocken gelassen. Um die Politur zu erhalten, wird die Mauer mit Leinöl getränkt und zuletzt nach dem Einziehen mit Terpentinöl und etwas Wachs überzogen und mit Flanellappen die Politur neuerdings hervorgerufen. Intarsien und Mosaik werden in ähnlicher Weise wie bei den Cementplatten durch Ausparen der Zeichnung und nachheriges Ausfüllen hergestellt.

In ähnlicher Weise wird Gyps auch zu Terazzo benutzt. (Vergl. Art. 76, S. 133.)

Um Gyps zu härten und abwaschbar zu machen, wird er entweder mit einer Lösung von Paraffin oder Stearin in Petroleum-Aether behandelt oder nach *Filfinger* mit Barytwasser und Borflure getränkt.

Literatur

über die »verschiedenen Mörtelarten und ihre Grundstoffe«.

- PANZER. Ueber das Vorkommen des hydraulischen Kalkes etc. 1836.
 LEBRUN. Der Steinmörtel etc. Aus dem Französischen. Ulm 1837.
 BECKER. Erfahrungen über den Portland-Cement. Berlin 1853.
 GÖRZ, R. Chemische und praktische Untersuchung der wichtigsten Kalke des Herzogthums Nassau. Wiesbaden 1854.
 COHN, J. Ueber die Wichtigkeit der Cemente in Beziehung auf gesunde Wohnungen, dauerhafte Wasser- und Prachtbauten, Kunststeine, Anlegung von Silos, sowie auf Fabriks-Industrie. etc. Breslau 1855.
 MANGER, J. Die Portland-Cemente etc. Berlin 1859.
 HERTEL, A. W. Die Lehre vom Kalk und Gyps in ihrem ganzen Umfange. 3. Aufl. Weimar 1860.
 AUSTIN. *Practical treatise on the preparation, combination and application of calcareous and hydraulic limes and cements.* London 1862.
 ORBACH, J. v. d. Tuffstein, Trafs und hydraulischer Mörtel. 2. Aufl. Coblenz 1863.
 HEUSINGER v. WALDEGG, E. Der Gypsbrenner, Gypsgieser und Gypsbaumeister. Leipzig 1863.
 ZIUREK. Ueber Mörtel. Zeitsch. des Arch.- und Ing.-Ver. zu Hannover. 1863, S. 381.
 MIHALIK, J. v. Die hydraulischen Kalke und Cemente. Pest 1865.

- REID, H. *Practical treatise on the manufacture of Portland cement*. London 1868.
 Färbung von Kalk-Mörtel. Deutsche Bauz. 1868, S. 436.
- MICHAËLIS, W. Die hydraulischen Mörtel, insbesondere der Portland-Cement in chemisch-technischer Beziehung. Leipzig 1869.
- BECKER, W. A. Praktische Anleitung zur Anwendung der Cemente zu baulichen, gewerblichen, landwirthschaftlichen und Kunst-Gegenständen. 2. Ausg. Berlin 1869.
- Hydraulische Mörtel. Deutsche Bauz. 1869, S. 275.
- LOEFF, P. Gründliche Anleitung zum Bau von Kalk-, Cement-, Gyps- und Ziegelöfen, sowie zum Betriebe von Kalk-, Cement-, Gyps- und Ziegelbrennereien. Berlin 1870.
- BÖHMER, E., u. F. NEUMANN. Kalk, Gyps und Cement. Handbuch für Anlage und Betrieb von Kalkwerken, Gypsmühlen und Cementfabriken. 4. Aufl. von Hertel's »Lehre von Kalk und Gyps« in gänzl. Umarbeitung. Weimar 1870.
- Kalk-Cement-Mörtel. Deutsche Bauz. 1870, S. 165.
- GILMORE, Q. *Practical treatise on limes etc. 4th edit.* New-York 1872.
- LOEFF, P. Entwürfe zum Bau von Kalk-, Cement-, Gyps- und Ziegelbrennereien, in vollständig ausgeführten Zeichnungen nebst gründlicher Anleitung zum Betriebe derartiger Anlagen. 2. Aufl. Leipzig 1873.
- GERSTENBERGK, H. v. Die Cemente, ihre Bereitung aus natürlich-hydraulischen und künstlich-hydraulischen Kalken, sowie ihre Anwendung zu baulichen, gewerblichen und landwirthschaftlichen Zwecken, wie auch zu Kunstgegenständen. 2. Aufl. Weimar 1874.
- Mörtel mit Sägespänen gemischt. Deutsche Bauz. 1870, S. 75; 1876, S. 150.
- HEUSINGER v. WALDEGG, E. Die Kalk-, Ziegel- und Röhrenbrennerei. In ihrem ganzen Umfang und nach den neuesten Erfahrungen. 3. Aufl. Leipzig 1876.
- KLOSE, H. Der Portland-Cement und seine Fabrikation. Wiesbaden 1876.
- BEHRMANN, Th. Beiträge aus Rußland zur Kenntniß des Portland- und Roman-Cements. Riga 1876.
 Nutzwert verschiedener hydraulischen Mörtelmaterialien. Deutsche Bauz. 1878, S. 29.
- Rheinischer Trafs. Deutsche Bauz. 1878, S. 311.
- ZWICK, H. Kalk- und Luftmörtel etc. Wien 1879.
- ZWICK, H. Hydraulischer Kalk und Portland-Cement etc. Wien 1879.
- HAUENSCHILD, H. Katechismus der Baumaterialien. II. Theil. Die Mörtelsubstanzen. Wien 1879.
- STEGMANN, H. Die Kalk-, Gyps- und Cementfabrikation. Berlin 1879.
- WOLFF, E. W. Ueber Mörtel-Mischungen und Mörtel-Proben. Deutsche Bauz. 1879, S. 292.
- NAGEL, H. Die Bereitung und Verwendung der Cemente, ferner die Zusammensetzung und Verwendung des Glases. Stuttgart 1880.
- Deutsche bautechnische Taschenbibliothek. 58. Heft. Der Portland-Cement. Von W. W. MACLAY.
 Deutsch von B. STAHL und R. RUDLOFF. Leipzig 1880.
- DYCKERHOFF, R. Eigenschaften und Festigkeit verschiedener hydraulischer Mörtel- und Betonarten, insbesondere aus Portland-Cement. Deutsche Bauz. 1880, S. 120.

h) Mörtel-Bereitung.

Im Vorhergehenden ist bereits Mehreres über die Bereitung des Mörtels, namentlich in so weit sie durch Handarbeit geschieht, gefagt worden; insbesondere sind die Hauptgrundsätze, die bei der Mörtel-Bereitung maßgebend sind, angegeben worden. Einige hier einschlägige Einzelheiten wird auch noch der Anhang zum III. Theile dieses »Handbuches« (Die Bauführung) bringen. Demgemäß werden wir uns an dieser Stelle ziemlich kurz fassen können.

Es geht aus dem Begriffe der Wirkungsweise der Mörtel hervor, daß Alles, was die Annäherung der einzelnen Bestandtheile des Mörtels befördert und was die Gleichmäßigkeit der Mischung erhöht, die Qualität des Mörtels verbessern müsse, und zwar in einem Grade, welcher genau durch die Elemente des *Stefan'schen* Gesetzes gegeben ist.

Bei der Schwierigkeit, einen vollkommen gleichmäßigen Mörtel mittels Handarbeit zu erzielen und bei dem kolossalen Mörtelbedarf der großen Bauten der Neuzeit hat auch hier die Benutzung von Maschinen schon frühzeitig Eingang gefunden.

Unter den verschiedenen Constructionen von Mörtel-Maschinen lassen sich im Wesentlichen drei Systeme unterscheiden: Maschinen mit Zinken, mit Quetschwerk und mit Messern.

1) Mörtel-Maschinen mit Zinken haben den Vortheil, daß bei ihnen alle Zwischenmechanismen, wie Räder, Riemen etc. entbehrlich sind, da man einen der Arme, welche die mischenden Zinken tragen, verlängern und die Pferde direct daran spannen kann; dagegen wird die Arbeit des Mengens von ihnen nicht gehörig vollführt.

Hierher gehört die älteste Construction einer Mörtelmaschine, jene von *Perronet*; sie ist nichts als ein kreisrunder, flacher Rührapparat nach Art der Thon-Rührwerke, entweder mittels Göpel für Pferdebetrieb oder für Maschinenantrieb eingerichtet. Das Mischen vollbringen nach abwärts bis auf die ringförmige Mischbahn reichende Zinken, welche an einem Querarm gut verankert sind und schaufelartige Fortsätze tragen, wodurch ein stetes Umwenden und Durchmischen bewirkt wird.

2) Mörtel-Maschinen mit Quetschwerk. In einer offenen Pfanne wird die Mischung durch umlaufende Quetschwalzen bewirkt, oder aber es wird die Pfanne unter den rotirenden Walzen in Umdrehung gesetzt; der Nutzeffect ist den neueren Maschinen mit Messern gegenüber ein geringer; auch macht man solchen Apparaten den Vorwurf, daß der Sand zerdrückt wird, was allerdings bei Sanden, die sehr grobe Körner enthalten, kein Nachtheil ist.

Man hat auch die beiden Systeme mit Quetschwerk und mit Zinken combinirt und damit eine Maschine erzielt, welche einen besseren Nutzeffect giebt und sich für Pferdebetrieb gut eignet.

Als Beispiel diene die Maschine von *Le Brun*, welche, wie die *Perronet*'sche, eine kreisrunde Mischbahn mit lothrechter Welle besitzt; aber an der Welle sitzen an Armen 4 Paar schwere Wagenräder, welche den Mörtel kneten und die Knollen zerdrücken, während 4 Arme mit Zinken die niedergewalzte Mörtelmasse hinter jedem Rade wieder aufrühren und umwenden. Nachdem die Masse genügend gemischt ist, werden zwei die ganze Mischbahn quer durchsetzende Schaufeln, welche, bisher aufgehangen, mitrotirten, herabgelassen und gleichzeitig ein Schieber am Boden derselben geöffnet. Dadurch wird der fertige Mörtel prompt entfernt.

In das vorliegende System sind auch die Kollergänge einzureihen, welche namentlich in England üblich sind; hinter jedem Kollerrad wendet eine Art Pflugschar den Mörtel einmal nach einwärts, das andere Mal nach auswärts, und ein ebenfalls suspendirter Abstreicher entfernt nach der nöthigen Anzahl Touren die Masse durch ein Loch am Umfange der Kollerpfanne. — *Grothe* in Luxemburg hat eine Maschine construirt, die gleichfalls aus einem Kollergang mit zwei schweren eisernen Walzen besteht und stündlich ca. 6,2 cbm Mörtel liefert.

3) Mörtel-Maschinen mit Messern. Es war naheliegend, das Princip der Thonschneider für die Mörtelbereitung zu verwenden; die neueren Maschinen sind fast ausschließlich nach diesem System construirt. Der Mörtel wird in cylindrischen Trommeln, die im Inneren mit Messern besetzt sind, gemischt. Man hat Maschinen mit lothrecht, mit schräg und mit wagrecht liegender Mischtrommel.

Roger in Paris hat den stehenden Thonschneider für die Zwecke der Mörtelbereitung umgeändert, und die französischen Architekten und Ingenieure arbeiten vielfach mit seinen Maschinen. Diese sind nichts als stehende Cylinder mit einer oberen trichterförmigen Mündung und lothrechter rotirender Messerwelle im Inneren. Drei Kränze von spiralförmig gestellten Armen mit Seitenzinken, wovon der mittlere an der Außenwand festsetzt, kneten und mengen den Mörtel, indem sie ihn zugleich nach dem Boden zu drücken. Dasselbst befindet sich ein sternförmiges System von breiten Flacheisen, welches durch eine Anzahl Schlitze im Boden den fertigen Mörtel durchpreßt. Die Leistung ist durchschnittlich die von 8 Mörtelarbeitern. Am Hafengebäude von Algier wurden sehr günstige Erfahrungen damit gemacht. — Die von *Boué* construirt Mörtelmaschine hat einen Eisenblech-Cylinder von ca. 1 m Höhe und 0,85 m Durchmesser,

worin sich eine mit den radial gestellten Meßern besetzte verticale Welle dreht; damit die Masse nicht zu schnell durch die Trommel hindurchgehe, sind im Inneren der letzteren noch ein paar feste Arme angeietet. Mittels einer 4-pferdigen Locomobile können in 10 Stunden ca. 60 cbm Mörtel erzeugt werden. Aehnliche lothrecht stehende Mörtelmaschinen für Handbetrieb werden jetzt beim Bau der Gotthardbahn verwendet.

Die lothrechten Mörtelmaschinen haben aber nothwendig einen unvermeidlichen Fehler, nämlich das besonders anfangs die Mischung wegen des Durchfallens der zu mischenden Mörtelbestandtheile nicht gleichmäßig genug ist. Dieser Uebelstand fällt bei den Mörtelschneidern liegender Construction weg, welche gegenwärtig in Deutschland am gebräuchlichsten sind, obwohl die stehenden Maschinen einen geringeren Kraftaufwand erfordern.

Bei den Maschinen mit schräg liegender Trommel wird die letztere, nachdem sie mit den Mörtelsubstanzen gefüllt ist, in Rotation gesetzt. Solche Maschinen werden häufig vorgezogen, wenn der Mörtel sofort zur Betonbereitung verwendet werden soll, weil er alsdann direct aus der Trommel in die unterhalb liegende Betontrommel geleitet werden kann.

Unter den Maschinen mit horizontaler Trommel ragt besonders jene von *Schlickeysen* hervor.

Die Mörtel-Maschine von *Schlickeysen* hat sich bei vielen Bauten in Berlin, Hamburg etc. seit Jahren bewährt und ist jetzt so verbessert und hat solche unleugbare Vortheile gebracht, das man nach dem Vorgange Berlins schon hie und da eigene Mörtelfabriken angelegt hat, welche, mittels Dampf betrieben, überall auf die Bauten hin den fertigen Mörtel liefern.

Ein liegender Cylinder mit spiralförmig an einer centralen Achse und an den Außenwänden angeordneten Knetmessern empfängt aus einem Trichter mit Regulirvorrichtung immer die entsprechende Menge Kalkbrei und Sand, welche beide durch verhältnismäßige Becherwerksaufzüge zugeführt werden; der Sandaufzug ist außerdem noch mit einer Siebvorrichtung zur Entfernung des groben Kiefes versehen. Der fertige Mörtel verläßt am entgegengesetzten Ende des Cylinders denselben und fällt gleich in die Transportwagen. Gewöhnlich ist zur Erhaltung vollkommen sicher continuirlichen Betriebes eine Reservemaschine mit aufgestellt. Eine 6-pferdige Dampf-Mörtel-Anlage leistet in 10 Arbeitsstunden gegen 100 cbm Mörtel, ersetzt demnach reichlich 50 Mörtelmacher und versorgt 300 Maurer, angenommen, das ein Maurer pro Tag 500 Backsteine (Normalformat) vermauert und auf 1000 Ziegel $6\frac{2}{3}$ hl Mörtel benöthigt.

Die unzweifelhaft und schlagend, besonders beim Bau der Berliner Börse und des anhalter Bahnhofes in Berlin hervorgetretenen Vortheile sind: Ersparungen an Arbeitslohn, Ersparung an Raumbedarf (der Hauptgrund der raschen Einbürgerung der Mörtelfabriken), stets gleich bleibende egalste Mischung und besonders auch Ersparung an Kalk, resp. Cement.

Literatur

über »Mörtelmaschinen«.

- LECOINTE, A. Bemerkungen über einige mechanische Verfahrungsarten zur Bereitung des Mörtels und Betons. Allg. Bauz. 1843, S. 399.
- Mörtelmaschine von ROGER. *Journ. de l'arch.* 1850, S. 93. *Polyt. Centralbl.* 1850, S. 1356.
- OPPERMANN. Notiz über eine bei dem Baue der Innerste-Brücke im Gebrauch befindliche Mörtelmaschine. *Notizbl. des Arch.- und Ing.-Ver. zu Hannover.* 1852—53, S. 11.
- LENTZE. Mörtelmühle für den Bau der Weichfelbrücke bei Dirschau. *Zeitschr. für Bauw.* 1861, S. 378.
- FRANZIUS. Kritik der gebräuchlichen Mörtelmaschinen. *Deutsche Bauz.* 1868, S. 136.
- Mörtelbereitungsmaschine. ROMBERG's *Zeitschr. für prakt. Bauk.* 1870, S. 199.
- KOPKA. Die mechanische Mörtel- und Beton-Bereitung. *HAARMANN's Zeitschr. für Bauhdw.* 1871, S. 97, 116, 131, 145.
- Ueber Mörtelmaschinen. *Maschinenbauer* 1871, S. 375.
- Mörtelmühle mit Selbstentleerungsapparat. *HAARMANN's Zeitschr. für Bauhdw.* 1871, S. 188.
- Ueber Mörtelmaschinen. *Deutsche Bauz.* 1873, S. 226.
- Fabrikmäßige Mörtelherstellung für Berliner Bauten. *Deutsche Bauz.* 1876, S. 230.

RÜHLMANN, M. Allgemeine Maschinenlehre. 2. Band. 2. Aufl. Braunschweig 1876. S. 296—307.
 SCHLICKEYSEN. Verbesserungen an Ziegel-, Torf- und Mörtelmaschinen. Polyt. Journ. Bd. 234, S. 181.
 Transportable Mörtelmühle. Maschinenbauer 1880, S. 185.

i) Prüfung und Festigkeit der Mörtel.

Die Wichtigkeit des Mörtels als Baumaterial hat zur Prüfung der Qualität desselben geführt, und zwar wurde und wird, je nach der verschiedenen Beanspruchungsweise, welche die eine oder die andere Art der Festigkeit oder sonstige Eigenschaften erfordert, bald die Bindekraft in sich oder mit Sand oder die Adhäsion an Steinflächen, also die Zugfestigkeit, bald die am meisten in Anspruch genommene Druckfestigkeit, bald die Bruchfestigkeit, bald die Wasserdichtheit, Volumbeständigkeit und Witterungsbeständigkeit erprobt.

Besonders sind es in neuerer Zeit die außerordentlichen Fortschritte in der Fabrikation und Anwendung von Cement, welche zur Entwicklung möglichst einheitlicher rationeller Prüfungsmethoden und zur Vervollkommnung der Prüfungsapparate geführt haben. Auf Grund sehr zahlreicher Versuche, welche ursprünglich *Grant* in England, sodann insbesondere *Michaëlis* in Berlin durchführten, hat als nun allgemein übliche Prüfungsmethode die Prüfung auf Zerreißfestigkeit Platz gegriffen, einerseits weil dieselbe thatsächlich der Ausdruck der wirklichen Cohäsion ist, von der aus auch auf alle anderen Arten der Beanspruchung mit praktisch hinreichender Sicherheit geschlossen werden kann; andererseits weil diese Prüfungsmethode gestattet, mit verhältnismässig einfachen und billigen Apparaten in kurzer Zeit eine große Anzahl von Proben durchzuführen, während die Prüfung auf Druckfestigkeit große Unzukömmlichkeiten in der Ausführung bietet, sowohl wegen der Schwierigkeit, homogene, mit völlig parallelen Druckflächen versehene Probekörper herzustellen, als auch wegen der hohen Kosten der hiezu nöthigen Prüfungsapparate.

Die Verhältnisse zwischen Zugfestigkeit und Druckfestigkeit sind variabel mit der Aenderung der maßgebenden Factoren: Art des Bindestoffes an sich, Qualität desselben, Zeit der Erhärtung, Medium derselben, Art und Menge des Sandzufatzes und des Wasserzufatzes. Deshalb ist es gefährlich, von einem gesetzmässigen Verhältniß der Druck- zur Zugfestigkeit zu sprechen: es wird dabei immer Gleichheit aller wirksamen Factoren vorausgesetzt, und entstehen deshalb bei einem und demselben Material je nach der Zeit der Erhärtung, nach der Art des Anmachens, nach dem Sand- und Wasserzufatze und nach dem Medium, in welchem die Erhärtung stattfindet, verschiedene Zahlen. Deshalb giebt auch die jetzt eingeführte Normen-Prüfung nur über die relative Werthbestimmung verschiedener Mörtelsubstanzen Aufschluss.

Bei Fettkalk und bei schwach hydraulischem Kalk ist nach eingetretener Erhärtung, etwa nach 3 Monaten, das Verhältniß von Druck- zur Zugfestigkeit bei Lusterhärtung und einem Mischungsverhältniß von 1 Volumtheil Kalk auf 2 Volumtheile reinen Sand 1 : 2,5; bei Erhärtung in wasserdurchränktem Sande 1 : 6, wobei noch zu bemerken, dass die Zug- und Druckfestigkeit ohne Sandbeimengung nahezu unmessbar klein ist, weshalb diese Classe mit Recht nach *Hoffmann* unselbständige Mörtel genannt wurde.

Bei manchem Roman-Cement und bei manchem natürlichen Portland-Cement tritt der Fall ein, dass die Eigenfestigkeit in einer gewissen Zeit gleich ist der Festigkeit mit 2 bis 3 Theilen Sand, während die Druckfestigkeit etwa anfangs sich als das 11-fache, dann das 7-fache und nach sehr langer Erhärtung wieder steigend bis zum 16-fachen der Zugfestigkeit darstellt.

Bei Portland-Cement sind die Verhältnisse nach der Zeit, dem Sande etc. noch mehr verschieden; dazu kommt hier die nicht seltene Erscheinung des Treibens nach einiger Zeit, wodurch die Zugfestigkeit

87.
Prüfung
der
Festigkeit.

88.
Zug- u.
Druckfestigkeit.

gegenüber der Druckfestigkeit sehr herabgedrückt wird, und die Erfcheinung der Nachhärtung beim Wechsel zwischen Wasser und Luft als Medium.

Bei den unten beschriebenen Normen-Proben fand sich im großen Ganzen einmal das Verhältniß von Zug zu Druck = 1 : 6, dann mit der Zeit der Erhärtung steigend bis nach 3 Monaten auf 1 : 8,5; nach mehr als 2 Jahren hingegen kann es auf 1 : 20 gehen. Mit steigendem Sandzufatze sinkt allmählich die Druckfestigkeit gegen die Zugfestigkeit, und der Einfluß des Sandzufatzes auf die Zugfestigkeit nach Grant ist in 1 Jahre, reiner Cement = 100 gesetzt,

bei 1 Cement und 1 Sand	= ca. 75 Procent
» 1 » » 2 »	= » 50 »
» 1 » » 3 »	= » 33 »
» 1 » » 4 »	= » 25 »
» 1 » » 5 »	= » 17 »

89.
Zugfestigkeit
d. Cement-
Mörtels.

Die Festigkeit des reinen Roman-Cement-Mörtels und Portland-Cement-Mörtels ist in der Regel — aber mit Ausnahme — unter Wasser anfangs geringer, später gleich groß mit der an der Luft, während sich magere Cement-Mörtel überhaupt an der Luft günstiger stellen, als im Wasser. Die Zunahme der Erhärtung erfolgt bei Roman-Cementen langsam, aber je nach der Beschaffenheit in ab- und aufwärts steigenden Curven, so daß z. B. ein rasch bindender Roman-Cement-Mörtel unmittelbar nach dem Abbinden eine eben so große Festigkeit haben kann, wie in einem Monat, während er in der Zwischenzeit bedeutend geringere Werthe aufweist. Die Erhärtung ist eine lang andauernde und das Endresultat doch absolut geringer, als beim Portland-Cement.

Dieser bindet in der Regel langsam, erhärtet aber um so rascher, je langsamer er bindet, gute Qualität überhaupt vorausgesetzt, so daß alle Normen-Bestimmungen auch auf die Bindezeit Rücksicht nehmen mußten.

Dies gilt gleichermaßen von der Erhöhung der Selbstfestigkeit, wie der Sandfestigkeit.

Die Zahl der hierüber angestellten Versuche ist ungemein groß; fast jeder Tag bringt trotz der jetzt bereits eingebürgerten Prüfung nach bestimmten Normen neue Gesichtspunkte und Erfahrungen und lehrt uns, daß das große Gebiet der Festigkeitslehre auch hier erst in feinen Grenzlinien bekannt ist.

90.
Normen f.
Cement-
Lieferungen.

Es dürfte sich nunmehr empfehlen, die einschlägigen schon mehrfach genannten Normen, welche in Deutschland bereits eine weit gehende Verwerthung gefunden haben, hier aufzunehmen.

Normen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement.

Nach den Beschlüssen des Architekten-Vereins zu Berlin. Vereins Berliner Bau-Interessenten: Berliner Baumarkt. Deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln, Thonwaaren, Kalk und Cement. Vereins deutscher Cement-Fabrikanten. Beschlossen 1877.

I.

Das Gewicht der Tonnen und Säcke, in welchen Portland-Cement in den Handel gebracht wird, soll ein einheitliches sein; es sollen nur Normal-Tonnen von 180 kg brutto und 170 kg netto, halbe Tonnen von 90 kg brutto und 83 kg netto, so wie Säcke von 60 kg Brutto-Gewicht von den Fabriken gepackt werden.

Streuverlust, so wie etwaige Schwankungen im Einzelgewicht können bis zu 2 Procent nicht beanstandet werden.

Die Tonnen und Säcke sollen die Firma der betreffenden Fabrik und die Bezeichnung des Brutto-Gewichtes tragen⁸³⁾.

⁸³⁾ Motive zu I. Ein einheitliches Gewicht der im Handel vorkommenden Tonnen und Säcke existirt bis jetzt nicht. Während die norddeutschen Fabriken sowohl von 200 kg, als auch solche von 180 kg packen, haben die Tonnen der west- und süddeutschen, so wie die der meisten englischen Fabriken ein Gewicht von 180 kg brutto; es kommen indess auch noch leichtere Tonnen, namentlich im Kleinverkehr beim Wiederverkauf vor. Da nun der Preis pro Tonne gestellt wird, so ist die Ein-

II.

Je nach der Art der Verwendung ist Portland-Cement langsam oder rasch bindend zu verlangen. Für die meisten Zwecke kann langsam bindender Cement angewandt werden, und es ist diesem dann wegen der leichteren und zuverlässigeren Verarbeitung und wegen seiner höheren Bindekraft immer der Vorzug zu geben.

Als langsam bindend sind solche Cemente zu bezeichnen, welche in $\frac{1}{2}$ Stunde oder in längerer Zeit erst abbinden⁸⁴⁾.

III.

Portland-Cement soll volumbeständig sein. Als entscheidende Probe soll gelten, daß ein dünner, auf Glas oder Dachziegel ausgegoffener Kuchen von reinem Cement, unter Wasser gelegt, auch nach längerer Beobachtungszeit durchaus keine Verkrümmungen oder Kantenrisse zeigen darf⁸⁵⁾.

IV.

Portland-Cement soll so fein gemahlen sein, daß eine Probe desselben auf einem Sieb von 900 Maschen pro 1 qcm höchstens 25 Procent Rückstand hinterläßt⁸⁶⁾.

V.

Die Bindekraft von Portland-Cement soll durch Prüfung einer Mischung von Cement und Sand ermittelt werden. Die Prüfung soll auf Zugfestigkeit nach einheitlicher Methode geschehen, und zwar mittels Probekörper von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitt und mit gleichen Zerreißungs-Apparaten.

Die Zerreißungs-Proben sind an Probekörpern von 5 qcm Querschnitt der Bruchfläche vorzunehmen⁸⁷⁾.

Führung eines einheitlichen Gewichts im Interesse der Consumenten und des realen Geschäfts dringend geboten. — Hierzu ist das weitaus gebräuchlichste und im internationalen Verkehr fast ausschließlich geltende Gewicht von 180 kg brutto = ca. 400 Pfd. engl. gewählt worden. Die theilweise noch übliche Tonne von 200 kg soll aus praktischen Gründen ausnahmsweise noch bis zum Schlufs des Jahres 1879 zulässig sein.

Nachdem die wesentlich billigere Verpackung in Säcken sich seit einer Reihe von Jahren in Süddeutschland, Holland, Belgien, England u. s. w. für sehr viele Fälle als durchaus genügend erwiesen hat, ist diese Verpackungsweise wegen der großen, für den Consumenten zu erzielenden Ersparnis, namentlich für größere Lieferungen, ganz besonders zu empfehlen. Für das zur einheitlichen Einführung zu bringende Gewicht von 1 Sack wurde 60 kg als das geeignetste befunden, weil ein solches Gewicht mit Leichtigkeit zu transportieren ist und weil dann das Brutto-Gewicht von 3 Säcken dem von 1 Tonne entspricht.

⁸⁴⁾ Erklärungen zu II. Um die Bindezeit eines Cements zu ermitteln, rühre man den reinen Cement mit Wasser zu einem steifen Brei an und bilde auf einer Glas- oder Metallplatte einen etwa 1,5 cm dicken, nach den Rändern hin dünn auslaufenden Kuchen. Sobald der Kuchen so weit erstarrt ist, daß derselbe einem leichten Druck mit dem Fingernagel oder mit einem Spatel widersteht, ist der Cement als abgebunden zu betrachten.

Da das Abbinden von Cement durch die Temperatur der Luft und des zur Verwendung gelangenden Wassers beeinflusst wird, in so fern höhere Temperatur dasselbe beschleunigt, niedere Temperatur es dagegen verzögert, so sollten die Versuche, um zu übereinstimmenden Resultaten zu gelangen, bei einer mittleren Temperatur des Wassers und der Luft von etwa 15 bis 18° C. vorgenommen, oder, wo dies nicht angängig, die jeweiligen Temperatur-Verhältnisse immer in Berücksichtigung gezogen werden.

Während des Abbindens darf langsam bindender Cement sich nicht wesentlich erwärmen, wohingegen rasch bindende Cemente eine merkliche Temperatur-Erhöhung aufweisen können.

Portland-Cement wird durch längeres Lagern langsamer bindend und gewinnt bei trockener, zugfreier Aufbewahrung an Bindekraft. Die noch vielfach herrschende Meinung, daß Portland-Cement bei längerem Lagern an Qualität verliere, ist daher eine irrige, und es sollten Contracts-Bestimmungen, welche nur frische Waare vorschreiben, in Wegfall kommen.

⁸⁵⁾ Erklärungen zu III. Der zur Bestimmung der Bindezeit angefertigte Kuchen wird sammt der Glasplatte unter Wasser gebracht. Bei rasch bindenden Cementen kann dies schon nach $\frac{1}{4}$ bis 1 Stunde nach dem Anmachen der Probe geschehen; bei langsam bindenden dagegen darf es, je nach ihrer Bindezeit, erst nach längerer Zeit, bis zu 24 Stunden nach dem Anmachen, stattfinden. Zeigen sich nun nach den ersten Tagen oder nach längerer Beobachtungszeit an den Kanten des Kuchens Verkrümmungen oder Risse, so deutet dies unzweifelhaft »Treiben« des Cements an, d. h. es findet, in Folge einer allmählichen Lockerung des zuerst gewonnenen Zusammenhangs, unter Volum-Vermehrung eine beständige Abnahme der Festigkeit statt, welche bis zu gänzlichem Zerfallen des Cements führen kann.

Eine weitere Probe zu gleichem Zweck ist die folgende: Es wird der zu untersuchende Cement mit Wasser zu einem steifen Brei angerührt und damit auf einem Dachziegelstück, welches mit Wasser vollständig getränkt, jedoch äußerlich wieder abgetrocknet ist, ein nach Außen hin dünn auslaufender Kuchen gegossen; je nach der Bindezeit des Cements wird diese Probe, wie oben angedeutet, nach kürzerer oder längerer Zeit unter Wasser gelegt. Wenn der Kuchen weder in den ersten Tagen, noch später sich vom Stein ablöst, noch auch Verkrümmungen oder Risse zeigt, so wird der Cement beim Bau nicht treiben.

⁸⁶⁾ Motive und Erklärungen zu IV. Da Cement fast nur mit Sand, in vielen Fällen sogar mit hohem Sandzufatz verarbeitet wird, die Festigkeit eines Mörtels aber um so größer ist, je feiner der dazu verwendete Cement gemahlen war (weil dann mehr Theile des Cements zur Wirkung kommen), so ist die feine Mahlung des Cements von nicht zu unterschätzendem Werth. Es erscheint daher angezeigt, die Feinheit des Korns durch ein feines Sieb von obiger Maschenweite einheitlich zu controliren.

Es wäre indeß irrig, wollte man aus der feinen Mahlung allein auf die Bindekraft eines Cements schließen, da geringe, weiche Cemente weit eher sehr fein gemahlen vorkommen, als gute, scharf gebrannte; letztere aber werden selbst bei gröberer Mahlung doch stets eine höhere Bindekraft aufweisen, als die ersteren.

⁸⁷⁾ Motive zu V. Da man erfahrungsgemäß aus den mit reinem Cement gewonnenen Festigkeits-Resultaten nicht einheitlich auf die Binefähigkeit zu Sand schließen kann, namentlich wenn es sich um Vergleichung von Cementen aus ver-

VI.

Guter Portland-Cement soll bei der Probe mit 3 Gew.-Theilen reinem scharfem Sand auf 1 Gew.-Theil Cement nach 28 Tagen Erhärtung — 1 Tag an der Luft und 27 Tage unter Wasser — eine Minimal-Zugfestigkeit von 8 kg pro 1 cm^2 haben. Für besondere Zwecke kann eine höhere Zugfestigkeit verlangt werden.

Der zu dieser Probe zu verwendende Normal-Sand von bestimmter Korngröße wird dadurch gewonnen, daß man den in der Natur vorkommenden Sand durch ein Sieb von 60 Maschen pro 1 cm^2 sibt, dadurch die größten Theile ausscheidet und aus dem so erhaltenen Sand mittels eines Siebes von 120 Maschen pro 1 cm^2 noch die feinsten Theilchen entfernt.

Die Probekörper müssen sofort nach der Entnahme aus dem Wasser geprüft werden.

Bei schnell bindenden Cementen kann die Zugfestigkeit von 8 kg pro 1 cm^2 nach 28 Tagen nicht beansprucht werden⁸⁸⁾.

Beschreibung der Proben zur Ermittlung der Bindekraft.

Da es vor Allem darauf ankommt, daß bei Prüfung desselben Cementes an verschiedenen Orten möglichst übereinstimmende Resultate erzielt werden, so mußten bestimmte Normen für eine durchaus gleichmäßige Behandlung der Probekörper aufgestellt werden. Nur bei genauer Einhaltung dieser im Nachstehenden gegebenen Regeln wird es möglich sein, zu übereinstimmenden Zahlen zu gelangen.

Man legt auf eine zur Anfertigung der Proben dienende Metall- oder Marmorplatte 5 mit Wasser getränkte Blättchen Fließpapier und setzt hierauf 5 vorher gut gereinigte und mit Wasser angenetzte Formen. Man wiegt 250 g Cement und 750 g trockenen Normal-Sand ab und mischt beides in einer Schale gut durcheinander. Hierauf bringt man $100\text{ ccm} = 100\text{ g}$ Wasser hinzu und arbeitet die ganze Masse mit einem Spatel so lange durch, bis dieselbe ein gleichmäßiges Ansehen zeigt. Man erhält auf diese Weise einen sehr steifen Mörtel, welcher das Aussehen von frisch gegrabener, feuchter Erde hat und sich in der Hand gerade noch ballen läßt. Mit diesem Mörtel werden die Formen auf ein Mal so hoch angefüllt, daß sie stark gewölbt voll werden. Man schlägt nun mittels eines eisernen Anmach-Spatels (im Gewicht von ca. 150 bis 200 g) anfangs schwach, dann stärker den überstehenden Mörtel in die Formen so lange ein, bis derselbe elastisch wird und an seiner Oberfläche sich Wasser zeigt. Ein bis zu diesem Moment fortgesetztes

chiedenen Fabriken handelt, so erscheint es geboten, die Prüfung von Portland-Cement auf Bindekraft mittels Sandzusatz vorzunehmen.

Obgleich in der Praxis Portland-Cement fast nur auf Druckfestigkeit in Anspruch genommen wird, so ist doch, wegen der Kostspieligkeit der bis jetzt bekannten Apparate und der schwierigeren Ausführbarkeit der Proben, von der Prüfung auf Druckfestigkeit Abstand genommen, und die weit leichtere und einfachere Prüfung auf Zugfestigkeit gewählt, um so mehr, als die hier empfohlenen Proben vor Allem die leicht ausführbare Controlirung der Eigenschaften des zum Bau gelieferten Cementes bezwecken sollen und die Zugfestigkeit einen hinlänglich sicheren Schluß auf die Druckfestigkeit zuläßt.

Um vollständige Einheitlichkeit bei den Prüfungen zu wahren, wird empfohlen, für den Bezug der Normal-Formen, Zerreißungs-Apparate und der übrigen zur Prüfung erforderlichen Geräte nur diejenigen Quellen zu benutzen, welche von dem Vorstande des »Deutschen Cement-Fabrikanten-Vereins« nachgewiesen werden; hierzu sollen Bekanntmachungen in Fachblättern erfolgen.

⁸⁸⁾ Motive und Erklärungen zu VI. Da verschiedene an und für sich gute Cemente hinsichtlich ihrer Bindekraft zu Sand, worauf es in der Praxis ja vorzugsweise ankommt, sich sehr verschieden verhalten können, so ist insbesondere beim Vergleich mehrerer Cemente eine Prüfung mit hohem Sandzusatz unbedingt erforderlich. Als geeignetes Verhältniß wurde angenommen: 3 Gew.-Theile Sand auf 1 Gew.-Theil Cement, da mit 3 Theilen Sand der Grad der Binfähigkeit bei verschiedenen Cementen in hinreichendem Maße zum Ausdruck gelangt.

Es ist, um übereinstimmende Resultate zu erhalten, durchaus erforderlich, überall den oben beschriebenen Normal-Sand anzuwenden, da die Korngröße des Sandes auf die Festigkeits-Resultate von großem Einfluß ist. Der Normal-Sand soll rein und trocken verwendet werden und sind lehmige und andere fremdartige Bestandtheile unbedingt vorher durch Auswaschen zu entfernen.

Bei einem bereits geprüften Cement wird die 7-Tags-Probe sowohl des reinen Cementes als des Cementes mit Sandmischung als Controlprobe ein relatives Urtheil über die gleichmäßige Güte der Waare gewähren.

Von ganz besonderem Werth würde es sein, wenn da, wo dies zu ermöglichen ist, die Zerreißungs-Versuche an vorrätigen zu diesem Zweck angefertigten Probekörpern auf Monate und selbst Jahre ausgedehnt würden, um das Verhalten verschiedener Cemente auch bei längerer Erhärtungs-Dauer kennen zu lernen.

Behufs Erzielung übereinstimmender Resultate ist es ferner geboten, alle Probekörper nach deren Anfertigung während 24 Stunden an der Luft liegen zu lassen und sie dann bis zur Prüfung unter Wasser zu legen, weil ein kürzeres oder längeres Liegenlassen an der Luft zu beträchtlichen Differenzen in den Festigkeits-Resultaten führt.

Die Probekörper dürfen, wie in obiger Resolution erwähnt, erst direct vor der Prüfung dem Wasser entnommen werden, weil ein längeres Verbleiben an der Luft hier ebenfalls zu Schwankungen in den Festigkeitszahlen Veranlassung geben würde.

Bei rasch bindenden Cementen kann die Festigkeit von 8 kg mit 3 Theilen Sand nicht beansprucht werden, weil sehr rasche Cemente ihrer Natur nach in der Regel so hohe Bindekraft nicht besitzen, als langsam bindende Cemente.

Einschlagen ist unbedingt erforderlich. Ein nachträgliches Aufbringen und Einschlagen von Mörtel ist nicht statthaft, weil Probekörper von gleicher Dichtigkeit hergestellt werden sollen. — Man streicht nun das die Form Ueberragende mit einem Messer ab und glättet mit demselben die Oberfläche.

Nachdem die Proben hinreichend erhärtet sind, löst man durch Oeffnen der Schrauben die Formen ab und befreit die Proben von dem noch anhaftenden Fließpapier.

Um richtige Durchschnitzzahlen zu erhalten, sind für jede Prüfung mindestens 10 Probekörper anzufertigen.

Nachdem die Probekörper 24 Stunden an der Luft gelegen haben, werden dieselben unter Wasser gebracht, und hat man nur darauf zu achten, daß sie während der ganzen Erhärtungsdauer stets vom Wasser bedeckt bleiben.

Am Tage der Prüfung werden die Proben unmittelbar vor der Prüfung aus dem Wasser genommen und auf dem Apparat sofort zerrissen. Das Mittel aus sämtlichen 10 Bruchgewichten ergibt die Festigkeit des geprüften Cement-Mörtels.

Befinden sich jedoch unter den erhaltenen Zahlen abnorm niedrige, so sind diese, als durch Fehler in der Darstellung der Probekörper verursacht, von der Berechnung auszuschließen.

A n h a n g.

Will man — wie in den Motiven zu VI. erwähnt — schon nach sieben Tagen eine Controle an der abgelieferten Waare vornehmen, so kann dies durch eine Vorprobe geschehen, und zwar auf zweierlei Art. Entweder:

a) Mit Sandmischung; jedoch muß dann die Verhältniszahl der 7-Tags-Festigkeit zur 28-Tags-Festigkeit am betreffenden Cement erst ermittelt werden, da die Festigkeits-Resultate verschiedener Cemente bei der 28-Tags-Probe einander gleich sein können, während sich bei der 7-Tags-Probe noch wesentliche Unterschiede zeigen. Oder:

b) Mit reinem Cement, indem man auch hier das Verhältniß der 7-Tags-Festigkeit des reinen Cements zur 28-Tags-Festigkeit bei 3 Theilen Sand an dem betreffenden Cement ermittelt.

Die 7-Tags-Probe mit Sand ist einfach dadurch auszuführen, daß man nach obiger Vorschrift 10 Probekörper mehr anfertigt, und diese nach 7 Tagen schon prüft.

Macht man die 7-Tags-Probe aber mit reinem Cement, so können die Probekörper auf verschiedene Weise hergestellt werden: Entweder auf undurchlässigen Unterlagen (Metall- oder undurchlässigen Steinplatten) oder auf abtaugenden Unterlagen (Gyps- oder schwach gebrannten Ziegelplatten). Bei der letzteren Probe erreicht man bedeutend höhere Zugfestigkeiten, und es ist bei Vergleichung von Zugfestigkeiten der reinen Cemente sowohl, als der Cemente mit Sandmischung stets darauf Rücksicht zu nehmen, ob die betr. Probekörper auf die eine oder die andere Weise angefertigt sind.

Bei der Probe auf undurchlässiger Unterlage nimmt man auf 1000 Gew.-Theile Cement 200 bis 275 Gew.-Theile Wasser, je nach der Bindezeit des betreffenden Cements, arbeitet die Masse gut durch einander, füllt dieselbe in die Formen, welche von der Unterlage durch Blättchen Löschpapier getrennt sind, und rüttelt die Masse durch Schläge mit dem Spatel gegen die Form derartig zusammen, daß alle Luftblasen entfernt werden und ein zusammenhängender Körper ohne Hohlräume sich bildet. Man streicht hierauf den überschüssigen Mörtel ab und zieht die Form vorsichtig ab. Proben mit dem gleichen Cement müssen hinsichtlich des Wasser-Zufatzes, so wie beim Gusse stets gleich behandelt werden, da jedes Moment, welches auf eine Vergrößerung oder Verringerung der Verdichtung der Masse einwirkt, auch sofort die Festigkeit verändert.

Will man die Probe auf absaugender Unterlage machen, so nehme man auf 1000 Gew.-Theile Cement 330 Gew.-Theile Wasser; der Ueberschuss von Wasser wird hier von der Unterlage aufgesaugt und dadurch eine bedeutende Verdichtung der ganzen Masse herbeigeführt. Selbstverständlich müssen die Unterlagen, um die abtaugende Eigenschaft zu behalten, öfter gewechselt und getrocknet werden. Nachdem die Masse in die Form gegossen ist, werden durch Anklopfen an die Form die Luftblasen entfernt. Nachdem die Oberfläche abgetrichen und eine leichte Erstarrung eingetreten ist, kehrt man die Form um, so daß nun auch die obere Seite abgefaugt wird. Die Masse sinkt in Folge der Verdichtung in der Form. Man füllt dann von Neuem Cement auf, streicht bei beginnender Erstarrung ab und zieht die Form vorsichtig vom Probekörper ab. Haftet hierbei der Cement zu fest an der Form, so klopft man die Form von allen Seiten leise an, wodurch eine Lösung von den Wandungen bewirkt wird. — Es gehört einige Uebung dazu, um auf diesem Wege zu guten, gleichmäßige Festigkeit zeigenden Probekörpern zu gelangen.

Die weitere Behandlung und Prüfung der Probekörper hat dann wie oben beschrieben zu geschehen.

Der preussische Minister für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten hat unterm 12. November 1878 angeordnet, daß die vorstehenden Normen — nach einer

geringfügigen Abänderung der Pof. VI — den Lieferungen von Cement zu Grunde gelegt werden sollen.

Pof. VI lautet darin:

Guter, langsam bindender Portland-Cement soll bei der Probe mit 3 Gewichtstheilen Normal-Sand auf 1 Gewichtstheil Cement nach 28 Tagen Erhärtung — 1 Tag an der Luft und 27 Tage unter Wasser — eine Minimal-Zugfestigkeit von 10 kg pro qcm haben.

Bei einem bereits geprüften Cement kann die Probe nach 7 Tagen sowohl des reinen Cements als des Cements mit Sandmischung als Controle für die gleichmäßige Güte der Lieferung dienen.

Der Normal-Sand wird dadurch gewonnen, daß man einen möglichst reinen Quarzsand wäscht, trocknet, durch ein Sieb von 60 Maschen pro 1 qcm siebt, dadurch die größten Theile ausscheidet und aus dem so erhaltenen Sand mittels eines Siebes von 120 Maschen pro 1 qcm noch die feinsten Theile entfernt.

Die Probekörper müssen sofort nach der Entnahme aus dem Wasser geprüft werden.

Cement, welcher eine höhere Festigkeit als 10 kg pro 1 qcm (s. oben) zeigt, gestattet in den meisten Fällen einen größeren Sandzusatz und hat aus diesem Gesichtspunkte betrachtet, so wie oft schon wegen seiner größeren Festigkeit bei gleichem Sandzusatz, Anrecht auf einen entsprechend höheren Preis.

Bei schnell bindenden Portland-Cementen ist die Zugfestigkeit nach 28 Tagen im Allgemeinen eine geringere, als die oben angegebene.

Auch innerhalb des Ressorts des preussischen Kriegsministeriums haben diese Normen officiële Geltung erhalten.

Der österreichische Ingenieur- und Architekten-Verein ließ im Jahre 1878 ebenfalls Normen für Lieferung von Portland-Cement und sodann 1880 auch für Roman-Cement ausarbeiten und acceptirte dieselben als für seine Mitglieder bindend. Das österreichische Ministerium des Inneren empfahl die Anwendung derselben den Behörden.

Die österreichischen Normen (deren Wortlaut im Secretariat des Vereins in Wien zu haben ist) schließen sich im Wesentlichen den deutschen Normen an; jedoch schreiben sie ein Normmaß von 250 kg und Säcke von 50 kg vor, ferner nach 7 Tagen Erhärtung für Portland-Cement 8 kg, nach 28 Tagen 12 kg Minimal-Zugfestigkeit pro 1 qcm, aber nehmen den Durchschnitt nur aus den 6 höchsten Resultaten von 10 angefertigten Proben und überlassen die Fixirung des Wasserzusatzes der Angabe der Fabrikanten, resp. Submittenten.

Für Roman-Cement schreiben die österreichischen Normen bei rasch bindenden (von höchstens 15 Minuten Bindezeit), genau nach den Normen, wie Portland-Cement behandelt, nach 7 Tagen 1,5 kg, nach 28 Tagen 4 kg, bei langsam bindenden nach 7 Tagen 3 kg, nach 28 Tagen 6 kg Minimal-Zugfestigkeit pro 1 qcm vor.

Die Maximal-Ziffern für Portland-Cement sind im reinen Zustand nach 7 Tagen ca. 60 kg, nach 28 Tagen 75 kg, nach 1 Jahr nahezu 100 kg. Bei der Normen-Prüfung ergaben staubfein gemahlene Cemente vorzüglichster Qualität nach 7 Tagen bis über 21 kg, nach 28 Tagen sogar 32 kg Zugfestigkeit pro 1 qcm.

Neuestens hat der Verein deutscher Cementfabrikanten nach verschiedenen Erfahrungen beschlossen, einen vollkommen einheitlichen, von einer Centralstelle zu beziehenden Normal-Sand zu benutzen und als Bezugsquelle das »Chemische Laboratorium für Thon-Industrie« von Dr. H. Seger und Dr. Julius Aron in Berlin (N., Fennstraße 14) vorgeschrieben, wo auch die Normalapparate zu beziehen sind.

Die Druckfestigkeit des Portland-Cementes nimmt ab, je mehr Sand zugesetzt wird. *Böhme* fand durchschnittlich als Druckfestigkeit für die Mischungsverhältnisse (Cement zu Sand) 1 : 0, 1 : 1, 1 : 2 und 1 : 3 bezw. 330, 250, 200 und 170 kg pro 1 qcm, *Bauschinger* für dieselben Mischungsverhältnisse bezw. 300, 210, 160 und 120 kg pro 1 qcm. *Mank* fand für verschiedene Cemente (das Maximum beim Stettiner Stern-Cement):

	1 : 0	1 : 1	1 : 2	1 : 3	1 : 4
Maximum	310	250	230	180	120 kg pro 1 qcm.
Minimum	130	80	60	30	30 kg pro 1 qcm.

Die in Art. 4, S. 57 schon gedachte »Denkschrift« enthält auch Vorschläge für die Claffificirung von Cementen auf Grundlage ihrer Druckfestigkeit.

92.
Claffificirung
der
Cemente.

Es wird ein Gemifch von 1 Volumtheil Cement und 3 Volumtheilen Sand vorausgefetzt. Die Portland-Cemente werden in rafch und langfam bindende unterschieden; rafch bindende werden folche mit höchstens halbfündiger, langfam bindende folche mit mehr als zweiftündiger Bindezeit genannt. Hierfür werden folgende Minimal-Druckfestigkeiten (nach einer Erhärtungsdauer von 4 Wochen) vorgeschlagen:

	Für langfam bindende Portland-Cemente.	Für rafch bindende Portland-Cemente.
Qualität I. Minimal-Druckfestigkeit	150 kg pro 1 qcm	90 kg pro 1 qcm
Qualität II. Minimal-Druckfestigkeit	110 kg pro 1 qcm	75 kg pro 1 qcm
Qualität III. Minimal-Druckfestigkeit	75 kg pro 1 qcm	50 kg pro 1 qcm

Die Roman-Cemente binden in der Regel rafch ab. Ihre Festigkeit, eben fo geprüft, wie die der Portland-Cemente, ift bedeutend geringer als bei diefen.

Qualität I. Minimal-Druckfestigkeit	10 kg pro 1 qcm.
Qualität II. Minimal-Druckfestigkeit	5 kg pro 1 qcm.

Die Abscherungsfestigkeit der Cement-Mörtel ift erft in neuerer Zeit geprüft worden. *Böhme* fand für Portland-Cement mit 0, 1, 2 und 3 Theilen Sand gemengt bezw. 52, 50, 45 und 34 kg pro 1 qcm, *Bauschinger* für die gleichen Mifchungsverhältniffe 18, 28, 26 und 23 kg pro 1 qcm. Das Verhältnifs der Abscherungsfestigkeit zur Druckfestigkeit und zur Zugfestigkeit fchwankte zwischen 1 : 0,6 : 1,2 und 1 : 0,22 : 2,1; im Mittel beträgt die Abscherungsfestigkeit das 0,017-fache der Druckfestigkeit und das 1,8-fache der Zugfestigkeit.

93.
Scher- etc.
Festigkeit
der Cement-
Mörtel.

Die Bruchfestigkeit der Cemente fand *Böhme* durchschnittlich zu 0,18 der Druckfestigkeit und *Köpcke* den Elasticitäts-Coefficienten (oder -Modul) zu 147 bis 168^t, im Mittel zu 157^t pro 1 qcm.

Für hydraulifche Kalke existiren keine Normen. Da die Erhärtung derfelben noch langfamer vor fich geht, als die der Roman-Cemente, fo ift eine erhebliche Festigkeit erft nach längeren Zeiträumen zu constatiren.

94.
Festigkeit
anderer
Mörtel.

Verfaffer hat bei leitmeritzer Schwarzkalk nach den Normen-Proben, aber bei 6-tägiger Erhärtung an der Luft und 22-tägiger im Waffer, 7,5 kg Zugfestigkeit erhalten. Faft die gleiche Zugfestigkeit ergab der zu Hafengebauten im Mittelmeer fo vielfach gebrauchte *Chaux du Theil* nach 4 Monaten, nämlich 7,9 kg pro 1 qcm, während derfelbe im reinen Zustande nach der gleichen Zeit nur 4,2 kg ergab. Auch der leitmeritzer Kalk hatte nach 4 Monaten noch keine höhere Festigkeit erlangt.

Langenweddinger Staubkalk ergab nach *Michaëlis* in Luft erhärtet mit 3 Theilen Sand nach 1 Monat eine Zugfestigkeit von 3,5 kg, nach 3 Monaten von 4 kg, in mit Waffer getränktem Sand erhärtet nach 1 Monat 2,2 kg, nach 3 Monaten 3,2 kg; die entfprechende Druckfestigkeit an der Luft nach 1 Monat 10 kg, nach 3 Monaten 11 kg, im naffen Sande nach 1 Monat 4,1 kg, nach 3 Monaten 9,19 kg^{88a)}.

Bauschinger fand für hydraulifche Kalke bei den Mifchungsverhältniffen 1 : 1, 1 : 2, 1 : 3 und 1 : 4 bezw. im Mittel 11, 12, 11 und 8 kg Druckfestigkeit pro 1 qcm.

Trafs-Mörtel wurden bisher unferes Wissens bei Submiffionen ftets auf ihre Druckfestigkeit geprüft.

^{88a)} Vergl. auch: Ueber Mörtel. Deutsche Töpf.- u. Ziegl.-Ztg. 1877, S. 160. — Festigkeit verfchiedener Mörtel. Deutsche Bauz. 1875, S. 334. — Friedrich. Ueber Zugfestigkeit von Cement. Deutsche Bauz. 1879, S. 332.

So z. B. beim Bau der harburger Hafenschleufe 1877 forderte man, daß Druckproben mit Würfeln von 10 cm Seite aus 2 Volumtheilen Trafs und 1 Volumtheil Fettkalk nach 40-tägiger Erhärtungsdauer, wovon 1 Tag an der Luft und 39 Tage im Wasser, bei 15 Grad R. aufbewahrt, eine Festigkeit von 17 kg pro 1 qcm haben sollten. Der Einfluß der Erhärtungstemperatur ist bei Trafs-Mörtel auffallend groß; die gleichen Proben, wie angegeben, ergaben bei 6 Grad R. erhärtet nur 3,5 kg, bei 22 Grad R. erhärtet 42,15 kg Druckfestigkeit.

Fettkalk mit 2,5 Sand ergab nach des Verfassers Versuchen nach 3 Monaten 4 kg, im reinen Zustande aber kaum 1 kg Zugfestigkeit; die Druckfestigkeit betrug in derselben Zeit mit 2,5 Sand 16 kg; rein war sie nicht meßbar.

Loriot'scher Mörtel trug 1 Stunde nach dem Anmachen, hergestellt aus 1 Gewichtstheil trockenem Aetzkalk auf 8 Gewichtstheile Sand, 3 kg auf Zug beansprucht.

Rüdersdorfer Kalk nach *Michaëlis* mit 2 Theilen Sand zeigt nach 3 Monaten 10,9 kg pro 1 qcm an der Luft; in nassem Sand hingegen nur 3,24 kg.

Dolomit-Cement ergab bei den Versuchen des Verfassers nach 3 Monaten eine Zugfestigkeit von 16 kg rein, von 7,8 kg mit 3 Theilen Sand, während die entsprechende Druckfestigkeit rein 145 kg, mit 3 Theilen Sand 75 kg betrug.

Sorel'scher Magnesia-Cement mit 6 Theilen Sand ergab nach 28 Tagen eine Zugfestigkeit von 45 kg und eine Druckfestigkeit von 632 kg pro 1 qcm.

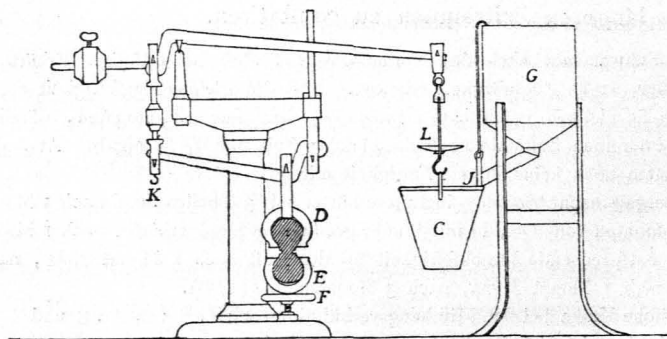
Gyps im reinen Zustande hat nach *Schülke* und *Wiebe* in 2 Monaten 24 kg pro 1 qcm Zugfestigkeit.

Ueber die Druckfestigkeit von Verbandmauerwerk mit verschiedenen Mörtelarten sind von der königl. Prüfungsstation in Berlin (*Böhme*) gleichfalls Proben angestellt worden; im III. Theile dieses »Handbuches« (Abth. I, Abschn. 1: Constructions-Elemente in Stein) wird hiervon noch die Rede sein.

Die Apparate, welche die Prüfung der Festigkeit für Cemente, Mörtel etc. ermöglichen, sind sehr verschieden gestaltet worden. Für ganz exacte Bestimmungen dient auch hier die schon in Art. 23, S. 80 gedachte *Werder'sche* Universal-Festigkeitsmaschine. Für Versuche, welche nur die in der gewöhnlichen Baupraxis erforderliche Genauigkeit erstreben, sind bedeutend einfachere und billigere Apparate construiert.

95.
Festigkeits-
Apparate.

Fig. 12.



Normal-Zugfestigkeits-Apparat von *Frühling-Michaëlis*.

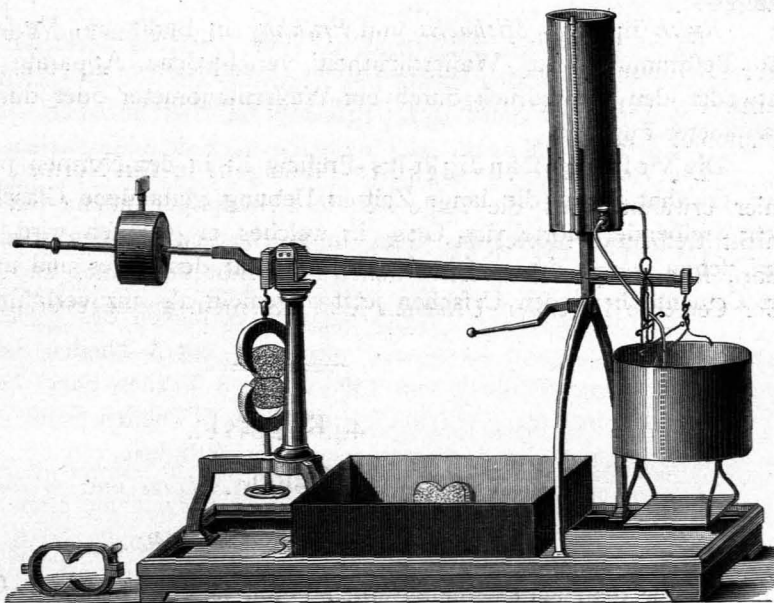
Für die Ermittlung der Zugfestigkeit wird vielfach der in Fig. 12 dargestellte Normal-Zugfestigkeits-Apparat von *Frühling-Michaëlis* gebraucht. Der nach den »Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement« (vergl. S. 142) angefertigte Probekörper wird (zwischen den Klauen *D* und *E* mittels des Handrädchens *F* eingepannt; hierauf wird an dem mit Schrot gefüllten Auslaufapparat *G* der Schieber *γ* geöffnet, wodurch die Schrotkörner auslaufen und in den Becher *C* fallen. In dem Augenblicke, wo die Zerreißung des

Probekörpers stattfindet, hemmt man den Schrotzulauf; hängt man nun den Becher *C* an den Haken *K*, so kann man das Gewicht desselben durch Aufsetzen von Gewichtstücken auf die Schale *L* ermitteln. Hierdurch erfährt man auch das Zerreißungsgewicht.

Ein älterer recht handlicher Zugfestigkeits-Apparat rührt von *Michèle*⁸⁹⁾ her; durch Anziehen einer Wurmfrabe in Verbindung mit einer gebogenen Zahnfrange wird einerseits ein Zug auf die untere von zwei Klauen ausgeübt, während die andere Klaue von oben durch einen ungleicharmigen Hebel mit Gegengewicht gehalten wird; der ausgeübte Zug ist an einer Scala ablesbar, auf der ein mitgenommener Zeiger stehen bleibt, sobald beim Reissen des Probekörpers das Gegengewicht zurückfällt.

Fig. 13.

*Stahl*⁹⁰⁾ hat an dem *Michaëlis'schen* Apparat eine werthvolle Verbesserung angebracht. *Studd's* Dynamometer zur Prüfung von Cementproben⁹¹⁾ ist sehr compendiös; durch Anziehen einer Schraube wird ein Druck auf die Membran-Wand einer mit Glycerin gefüllten Kammer, die mit einem Feder-Manometer communicirt, ausgeübt; der Apparat gestattet eine unmittelbare Ablefung.



Zugfestigkeits-Apparat von Hauenfeldt.

Des Verfassers Normal-Prüfungsapparat (Fig. 13),

in Oesterreich-Ungarn und in der Schweiz (Gotthard-Bahn) mehrfach im Gebrauche, sucht möglichste Billigkeit mit Exactheit zu verbinden. Das diesem Apparate Charakteristische, die selbstthätige Zuflufs-Absperrung beim Reissen, ist durch eine sehr empfindliche Vorrichtung mit Läutesignal verbessert und vereinigt für die praktische Ausführung in der Bauhütte wohl die Vortheile aller anderen Apparate in sich.

Andere Apparate für Mörtelprüfung sind beschrieben und abgebildet in der schon auf S. 80 (Fussnote 20) genannten *Pichler'schen* Schrift, ferner einige neuere englische Constructions in den unten⁹²⁾ namhaft gemachten Quellen.

Die Adhäsion zu Stein wird nach dem Vorgange *Bernoulli's* durch kreuzweises Verkitten und nach der Erhärtung durch Abreissen der Fuge mittels Belastung des unteren Steines durch Beihilfe eines \square -Steges geprüft.

96.
Prüfung
der Adhäsion.

Es sollen immer 10 Probekreuze gemauert und nur die ganz tadellos befundenen Fugen zerrissen werden. Gegenüber der früher häufig vorgenommenen Prüfung, wobei ein Stein nach dem anderen an eine Wand freitragend so lange angekittet wurde, bis endlich der Riss eintrat, besitzt diese Methode geringere Fehlerquellen und gestattet directe Constatirung der Zugfestigkeit.

Die Wasserdichtheit wird entweder durch Formen von Hohlzylindern aus dem zu prüfenden Mörtel und nachheriges Einfüllen von Wasser bestimmt, wobei aber das Durchsickern auch häufig von Arbeitsfehlern herrühren kann, oder durch

97.
Wasser-
dichtheit.

⁸⁹⁾ Engng. Vol. 10, S. 426 u. 465.

⁹⁰⁾ Verbesserung an dem Cementprüfungsapparat von Dr. Michaëlis. Wochenbl. f. Arch. u. Ing. 1880, S. 112.

⁹¹⁾ Deutsche Töpf.- u. Ziegl.-Ztg. 1879. Ann. f. Gwb. u. Bauw. Bd. 4, S. 212.

⁹²⁾ *A cement tester*. Builder 1877, S. 1015. — *Cement testing machine*. Engng. Vol. 26, S. 163. — Jacob, A. *Portland cement testing machine*. Engineer, Vol. 48, S. 397. — *Cement testing machine, Adelaide waterworks*. Engineer, Vol. 49, S. 100.

Herstellung von Scheiben aus der Probe-Substanz, welche rings wasserdicht — durch Asphalt- oder Kautschukdichtung — geschlossen, nach der Höhe der darauf drückenden Wasserfäule und nach dem Quantum des pro Zeiteinheit, Querschnitts- und Dicken-Einheit durchgedrückten Waffers die grössere oder geringere Wasserdichtheit angeben.

Rasch in Riga, *Michaëlis* und *Frühling* in Berlin und Verfasser in Wien haben zur Bestimmung der Wasserdichtheit verschiedene Apparate construirt, welche entweder den Ueberdruck durch ein Wassermanometer oder durch ein Quecksilbermanometer angeben.

98.
Volum-
beständigkeit.

Die Volumbeständigkeits-Prüfung ist in den Normen präcisiert und sei noch hier erwähnt, daß die lange Zeit in Uebung gestandene Gläschenprobe, wornach nicht treibender Mörtel das Glas, in welches er gegossen wird, nicht zer Sprengen darf, schon wegen der verschiedenen Elasticität des Glases und anderen in der Natur der Cemente liegenden Ursachen jetzt allgemein als unzuverlässig verworfen ist.

4. Kapitel.

Beton.

VON HANS HAUENSCHILD.

99.
Beton-
Arten.

Unter dem allgemeinen Namen Beton fassen wir hier im Gegenfatze zu Verbandmauerwerk jenen für die Herstellung von raumbegrenzenden Constructionen dienenden Baustoff zusammen, bei welchem der Mörtel nicht bloß Verbindungsmaterial, sondern gleichzeitig eigentliches Constructionsmaterial ist, während die damit verbundenen Steine, die mit der umhüllenden Mörtelmasse ein untrennbares Ganze bilden, als Füllmaterial auftreten. Da das Aufführen von ursprünglich plastischem Mauerwerk nur zwischen Lehren geschehen kann, so unterscheidet man auch in Bezug auf letztere zwei wesentlich verschiedene Arten von Beton. Ist die Lehre bleibend, vertritt sie die Stelle der Verblendung bei Verbandmauerwerk, so ist der Beton nur Füllmasse, wenn auch tragend; er ist Gufsmauerwerk, wie es die Römer, Mauren und die Meister des Mittelalters anwandten. Oder die Lehren sind bloß Gerüstwerk, welches bis zur erfolgten Erhärtung stehen bleibt; dies ist alsdann der eigentliche Beton oder *Concrete*⁹³⁾, wie die Engländer ihn nennen.

Zu Beton, der bisweilen auch Grobmörtel genannt wird, werden alle Arten Mörtelsubstanzen verwendet und auch die im gemeinen Wortfinn nicht als eigentliche (chemische) Mörtel betrachteten Stoffe, wie Asphalt. Nach dem Bindestoff erhält auch der Beton feine nähere Bezeichnung. Luftbeton ist der mit Luftmörtel hergestellte Beton. Was man in der Baupraxis schlechtweg als Beton bezeichnet, wird stets aus hydraulischen, beim Erhärten nicht oder doch wenig schwindenden Mörteln hergestellt. Das alte Gufsmauerwerk, von dessen Solidität das Pantheon ein glänzendes Zeugnis giebt, war Puzzolan-Mörtel mit so wenig schwindender Masse, daß die Setzung der Verblendung und die Setzung der Füllung einander gleich blieben,

⁹³⁾ Nach *Paisley* sollen die Engländer *concrete* (von *conresco*) zuerst 1817 angewendet haben. — In Deutschland wird häufig »Beton« und »Concrete« als nicht identisch angesehen. Nicht selten wird für den Concretbau als charakteristisch angegeben, daß statt der Steinbrocken oder auch neben diesen anderweitige Füllsubstanzen, wie Ache, Schlacken etc. zur Anwendung kommen.