

- 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.

51.
Aufgabe
des
Mörtels.

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 Breiflüffigkeit 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. Giefst 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 Breiflüffigkeit 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 Thontheils 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 verhältnismäßig 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 löschten sich Stücke nicht mehr zu Kalkbrei oder nur äußerst langsam; der Stein ist todtegebrannt.

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 Proceffe, 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 lösbbaren 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 Mörtelguffe 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 Bimssteinand, 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 Wafchen 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 Molecüle 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 Molecüle 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.