

### 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, große Festigkeit, Wasserdichtigkeit und Dauerhaftigkeit erfordernde Arbeiten handelt. Da sich seine Theilchen in einem halbglastigen 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 Versuche 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 große 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 spürendes 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 unangefrchten 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 Verwendung gebrandmarkt wurde, wenn unter Cementmörtel Kalkbrei gemischt wurde. Man konnte von einseitig chemischem Standpunkte abolut nicht absehen, wie der Zusatz des schlechtesten Mörtelmaterialies das »beste« verbessern 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 verbessert«, 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 ziehen<sup>79)</sup>.

Durch die vorstehenden Betrachtungen wären zugleich die Ursachen 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 Flößen 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 Schwindungsrisen, 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 Flözpflaster 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.

<sup>79)</sup> 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 verschieden schweren Portland-Cementen wie folgt:

Verfuch.	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	2,85	2,60	2,08				
C.	140	0,88	3,05	3,12	2,95	0,70	2,80	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 Gewicht<sup>80)</sup> 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

<sup>80)</sup> 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 losem 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 losem Cement, welche Zahlen für die Ausführung zu Grunde gelegt werden können, um über die Ungenauigkeiten, welche das bloße Messen ergibt, hinauszukommen.