

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.

Befonders 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 Zerreißungsfestigkeit 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 Sandzufutzes und des Wasserzufutzes. 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 Wasserzufutze 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 möglich, 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 irrig, 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 siebt, 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-Verfuche 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 Guffe 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 Sandzufuß und hat aus diesem Gesichtspunkte betrachtet, so wie oft schon wegen seiner größeren Festigkeit bei gleichem Sandzufuß, 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 Wasserzufußes 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) vorgefchlagen:

	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* durchfchnittlich 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.

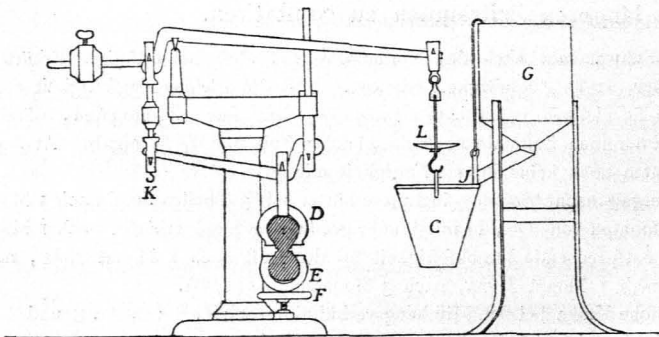
Gyps im reinen Zustande hat nach *Schülke* und *Wiebe* in 2 Monaten 24 kg pro 1 qcm Zugfestigkeit.

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*.

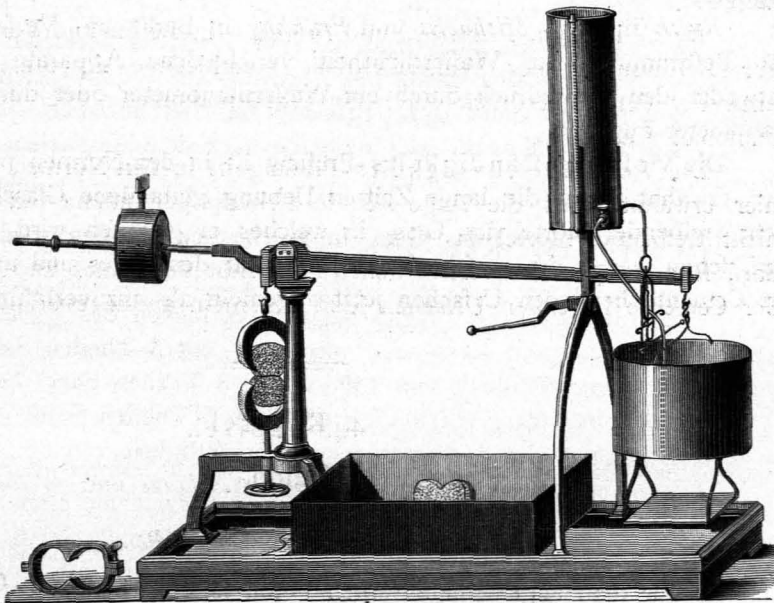
Für die Ermittlung der Zugfestigkeit wird vielfach der in Fig. 12 dargestellte Normal-Zugfestigkeits-Apparat von *Frühling-Michaëlis* gebraucht. Der nach den »Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement« (vergl. S. 142) angefertigte Probekörper wird (zwischen den Klauen *D* und *E* mittels des Handrädchens *F* eingepannt; hierauf wird an dem mit Schrot gefüllten Auslaufapparat *G* der Schieber *J* 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 Wurmchraube in Verbindung mit einer gebogenen Zahnstange 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 Rifs eintrat, besitzt diese Methode geringere Fehlerquellen und gestattet directe Constatirung der Zugfestigkeit.

Die Wasserdichtheit wird entweder durch Formen von Hohlcylindern 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 Constructions 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.