Biblioteka Politechniki Krakowskiej
100000294768

1²

885

1²

Wasserkalk

Eine gemeinverständliche Monographie

zugleich als

Nachtrag zu Kiepenheuer's „Kalk und Mörtel" 1907

von

Dr. phil. Ludwig Kiepenheuer

III K
V 554

Bonn,
Carl Georgi, Universitäts-Buchdruckerei und Verlag
1911

Gj. 13. 571

II 5355

BIBLIOTEKA KRAKÓW Politechniczna

Akc. Nr. 5012/50

„Was man nicht versteht, besitzt man nicht“
Goethe, Sprüche.

Meiner Schwester Emma!

Ludwig.

Vorwort.

Lust und Liebe zur Sache reichten mir zum zweiten Male die Feder: Wasserkalk soll dem Erstling „Kalk und Mörtel“ ein Bruder werden.

Ich liess es mir angelegen sein, das für die Arbeit nötige Material von allen nur erreichbaren Quellen zusammenzutragen und namentlich alle Neuerungen in der Aufbereitung der Wasserkalke, soweit sie mir zugängig gemacht wurden, zu besprechen. Hinzu kam mein Bestreben, gemeinverständlich zu schreiben. Soweit wissenschaftliche Betrachtungen angestellt werden, waren diese m. E. nicht zu umgehen und stellen zugleich eine hoffentlich angenehme Beigabe für den Chemiker dar.

Die Abhandlung über den Eifeler Römerkanal empfehle ich der besonderen Aufmerksamkeit des Lesers.

Bei dieser Gelegenheit will ich nicht unterlassen, dem Herrn Direktor Anton Hambloch, Andernach a. Rh., meinen verbindlichsten Dank für seinen schönen Beitrag über die Zusammensetzung des rheinisch-römischen Mörtels zu sagen, ferner Herrn Prof. Dr. W. Michaëlis, Berlin, für die gütige Durchsicht des Kapitels IV und Herrn Ferd. M. Meyer, Saarbrücken 2, für die Ehre, als erster seinen von mir besichtigten patentierten Drehrohrofen für Kalk und Dolomit besprechen zu dürfen.

Meine Absicht ist nun, demnächst den Dolomitkalk, meinen „Luft- und Lustkalk“ (cfr. „Kalk und Mörtel“ Seite 70) in einer allerdings kleineren Abhandlung zu würdigen. Fingerzeige und wissenswerte Angaben erwarte ich schon jetzt gerne aus dem Kreise der Interessenten.

Wenn ein fideler Berliner Gewerbeakademieprofessor seine Vorlesung über Mörtel jahrjährlich mit dem klassischen Ausspruch begann: „Kalch is Kalch!“, so sollte dies übrigens ein auch mit dem erwarteten Schmunzeln der erheiterten Zuhörer dankbar aufgenommener Witz sein. Nein, Kalk ist noch lange nicht Kalk. Daher der Name

Wasserkalk!

Burghaus Dalbenden bei Urft (Eifel), im Dezember 1910.

Ludwig Kiesenhuer

Inhaltsverzeichnis.

I. **Die Mergel- und Kieselkalke** als Rohmaterial der hydraulischen Kalke, vom geologischen, chemischen, physikalischen und geschichtlichen Standpunkt.

II. **Die Aufbereitung und Eigenschaften der Wasserkalke.** Allgemeines.

A. Der Wasserkalk in Stücken.

Das Brennen. Der Drehrohrofen (Generatoren) in der Kalkbrennerei und andere Öfen zum Brennen von Mergelerde und kleinstückigem Stein. Chemischer Vorgang beim Brennprozess. „Unlösliches", „lösliche" Kieselsäure, Hydraulefaktoren, Aufschliessen. Chemische Untersuchung der Wasserkalke. Analysen von Wasserkalken. Die Kieselsäure- und Tonerdearmen Dolomitkalke (Grau- und Schwarzkalke) sind nicht hydraulisch. Eigenschaften der Wasserkalke, u. a. Glühverlust, Farbe, spez. Gewicht. Das Löschen. Chemischer Vorgang beim Löschen. Löschergiebigkeit. Mörtelergiebigkeit. Zug- und Druckfestigkeit. Verwendungszwecke. Die Zusammensetzung des Mörtels der römischen Wasserleitung, welche aus der Eifel nach Köln führte.

B. Der gemahlene hydraulische Kalk.

a) gedämpfter:

Das Gattieren. Das Ablöschen und die verschiedenen Löschmethoden, -apparate und -einrichtungen. Die sieblose Kugelmühle. Der Windseparator, der Selektor, die Orionmühle. Der Verband-Windseparator. Beschreibung der Sackkalkanlage für eine stündliche Leistung von ca. 4000 kg. Die Kalkmühle der Wicking'schen Portland-Zement- und Wasserkalkwerke Lengerich i. W. Die Entstaubungsanlagen. Das Wiegen. Papiersäcke und Sackzentralen. Der Lottes'sche Gewebesack mit Papiereinlage. Analysen von gedämpften gemahlenen hydraulischen Kalken. Die Verarbeitung des „gemahlenen" zu Mörtel.

b) ungedämpfter:

Analysen. Verarbeitung zu Mörtel. Spezifisches Gewicht und Raumgewicht. Mörtelergiebigkeit. Zug- und Druckfestigkeit.

Verwendungszwecke der hydraulischen Mörtel. Der Mörtel aus „gemahlenem" dem Weisskalk-Zementmörtel gegenüber. Welcher Mörtel ist billiger, der aus „gemahlenem" oder der aus Stück-Wasserkalk hergestellte? Die Vorzüge des „gemahlenen" dem Stück-Wasserkalk gegenüber. Einfache Prüfung auf Volumbeständigkeit. Der Name „Zementkalk". Einige Ia Marken. Die gemahlenen sog. Grau- oder Schwarzkalke ohne besonderen Silikatgehalt sind nicht hydraulisch. Die französische Fabrikationsmethode des „gemahlenen". Frühere Fabrikation des „gemahlenen". Die Wasserkalke Westfalens. Hydraulische Kalke in Süddeutschland.

III. **Der Sand, der Kies, der Kiessand** und deren Mischungsverhältnis zum Kalk im Mörtel (Mörtelergiebigkeit). Die Dichtigkeit der Mörtel. Wasserkalk-Trassmörtel. Der Milchkalkmörtel und die verschiedenen zu verschiedenen Zwecken geeigneten Mörtel. Magnesiazement. Wasserglas. Trassmörtel. Gebrauchsfertige Verputzmörtel (Fassadenputz). Waschbarer Innenputz. Wasserabweisende Mittel.

IV. **Das Anziehen, Abbinden und Erhärten des hydraulischen Mörtels.** Der Erhärtungsprozess nach Michaëlis.

V. **Vorschläge** zu den **Normen für eine einheitliche Benennung, Klassifikation und Prüfung der Wasserkalke**, wie solche von dem „Ausschuss für die einheitliche Kalkprüfung“ des Vereins Deutscher Kalkwerke beratschlagt werden.

VI. Kurze Charakteristik des **Luftkalks**, des **Roman-Zements**, des **Portland-Zements**, des **Trasses**, zum weiteren Verständnis der gewöhnlichen Wasserkalke.

I.

Die Mergel und Kieselkalke, als Rohmaterial der hydraulischen Kalke.

Vom geologischen, chemischen, physikalischen und geschichtlichen Standpunkt.

Das Rohmaterial der Wasser- oder hydraulischen Kalke sind die Mergel und die Kieselkalke. Beide Gesteinsarten gehören zu der grossen Familie des Kalksteins.

Zwei Faktoren rücksichtslos waltender Kraftentwicklung haben auf die Gestaltung der Erdoberfläche bestimmend eingewirkt: Der Vulkanismus einerseits, und die auf dessen riesigen Werke wieder vernichtend gerichtete unablässige Tätigkeit des Wassers, als Dampf, Flüssigkeit und Eis, anderseits. Dass ein solcher Aufbau, teilweiser Abbruch und Wiederaufbau der Kruste unseres Planeten nur in Jahrmillionen möglich war, ist ohne Frage; insofern tritt uns als begleitendes geologisches Moment die Zeit entgegen.

Der Kalkstein ist nun im Gegensatz zu den Gesteinen, welche ihre Entstehung dem Übergang einst glutflüssiger Massen in die starre Form verdanken, den primären, Eruptiv- oder Erstarrungsgesteinen, ein sekundäres, ein Sedimentgestein. Unter diesem Namen werden alle diejenigen geologischen Bildungen begriffen, welche aus der Zerstörung jener primären, älteren, bereits vorhandenen Gesteinsmassen durch die Arbeit des Wassers herrühren, möge diese nun auf mechanischen und chemischen Vorgängen, oder auf der Mitwirkung tierischen und pflanzlichen Lebens beruhen.

Der Kalkstein ist vornehmlich ein Verwitterungs-, Auslauge- und Absatzerzeugnis der massigen, eruptiven Gesteine, Granit, Syenit, Porphyr, Trachyt, Basalt, Gneis usw., wie diese den Hauptteil der Erdrinde bilden. Sie bestehen u. a. aus kieselsaurer Tonerde und Quarz neben Alkali-, Kalk-, Eisen- und Manganoxydulsilikaten. Wasserdämpfe oder Gewässer, im Verein mit ihrem chemischen Werkzeug, der zersetzenden und lösenden atmosphärischen Kohlensäure, wandelten nun diese letzteren Verbindungen zu entsprechenden löslichen Karbonaten und amorpher, opaliger Kieselsäure um, während die nicht zersetzbare und unlösliche kieselsaure Tonerde, eventuell mit Quarz und Opal, soweit diese nicht in Lösung ging, zurückblieb. Eine solche Art der Umbildung lässt sich mitunter leicht feststellen. Der weiche Ton hat dann noch die charak-

teristische Form des harten Feldspats, aus dem er entstanden; ferner brausen solch verwitterte, ursprünglich keine Kohlensäure enthaltenden Gesteine mit Säuren auf, ein sicheres Zeichen dafür, dass sie in der Zersetzung zu Karbonaten begriffen sind.

Die zerfressende, nagende Tätigkeit des kohlensäurehaltigen Wassers bildete so Rinnen, Spalten und Klüfte, in welche die sprengende Gewalt des Eises einsetzte, von Gebirgen früherer Perioden Felsen auf Felsen loslöste, die nun, sich weiter zerkleinernd und zersetzend, zu Tal rollten. Das ewig wechselnde Spiel von mechanischer Zertrümmerung, Ortsveränderung und chemischer Auslaugung nahm durch Gebirgbäche und Flüsse seinen beharrlichen Fortgang und führte dieses Ergebnis einer rastlosen Arbeit allmählich dem Endziele zu. Im Verlauf einer solch langen Wanderung setzte sich das unlösliche, nur in mechanischer Suspension gehaltenen Tongeschlemmsel, sowie der mehr oder weniger zerriebene Quarzsand in Becken oder Binnenseen ab, während der durch einen Überschuss von Kohlensäure in Lösung gehaltene kohlensaure Kalk dem Meere zugeführt wurde. In diesem mag sich unter günstigen Bedingungen der Kalkstein in mehr oder weniger krystallinischer Form niedergeschlagen haben. Ein solcher Vorgang liess ohne Zweifel den ältesten und daher keine Reste von Organismen enthaltenden grobkrystallinischen Marmor des Urgebirges entstehen. Aber auch selbst die dichten Kalksteinarten lösen sich unter dem Mikroskop zu einem nahezu einheitlichen Gewirre von unzähligen Krystallindividuen auf, so dass sie, ohne die überwiegende Mehrzahl sämtlicher Kalksteine, mit demselben Recht als ein Niederschlag aus chemischer Lösung angesprochen werden dürfen.

In anderen Fällen ist der Kalkstein als Bodensatz aus mechanischer Suspension, welche die Zermalmung und Ausschwemmung früherer Kalksteingebirge lieferten, zu betrachten.

Ferner ist die Bildung von Kalkstein aus einer Doppelumsetzung zweier Lösungen, von allerdings weit mehr vereinzelter lokaler Bedeutung, denkbar. So würde die Einwirkung von kohlensaure Alkalien führenden Gewässern auf solche mit kieselsaurem Kalk oder schwefelsaurem Kalk (Gips) eine wegwandernde Lösung von kieselsauren bzw. schwefelsauren Alkalien und einen Rückstand von unlösbarem, kohlensaurem Kalk ergeben.

Als Erzeugnis tierischer Tätigkeit endlich haben wir diejenigen Kalksteine anzusehen, welche sich aus Milliarden von Gerüsten oder Gehäusen (Schalen, Panzern) verwester Seelebewesen, aus dem sog. durch Druck oder Verkittung mit neuem Kalkstoff festgewordenen Meeres- oder Tiefseeschlamm, aufgebaut haben, der nach seiner späteren Erhebung über dem Meeresspiegel ganze Gebirgsketten, wie z. B. die Kreide, darstellt. Calx ex mortuo cum calce ex vivo!

Einen vollständig klaren Einblick in die Entstehungsweise der verschiedenen Kalksteinvorkommen haben wir übrigens bis auf den heutigen Tag nicht gewonnen.

Über das Alter derselben gibt uns die Paläontologie, die Wissenschaft von den vorweltlichen Tieren und Pflanzen, Aufschluss. Sie scheidet nach dem Auftreten und der stufenweisen Entwicklung des pflanzlichen und tierischen Lebens die Gebirgsformationen in verschiedene Altersklassen, deren zeitliche

Aufeinanderfolge durch besonders charakteristische organische Überreste (Versteinerungen, Petrefakten, Leitfossilien) angedeutet wird. So treten nach dem versteinerungsfreien Marmor des Urgebirges — zugleich mit der Entwicklung organischen Lebens — nacheinander auf die an Tierresten reichen Kalksteine der Übergangsformation (Silur, Devon), der Steinkohlenformation (Kohlenkalk als Meer- und Süsswasserbildung), der Trias (Muschelkalk), des Jura, der Kreideformation (Kreide), des Tertiärs oder der Braunkohlenformation, der Quartärformation (Süsswasserkalke des Diluviums und Alluviums). Bildungen der jüngsten Zeit sind die Tropfsteine, Kalktuffe, der Wiesenkalk.

Das Alter der Mergel und Kieselkalke wird selbstverständlich nach demselben Gesichtspunkt beurteilt. Diese Gesteine sind nun nichts anderes als kohlensaurer Kalk mit einem charakteristischen Gehalt an Ton bzw. feinstem Sand: tonige oder kieselige Kalksteine. In den vorhergehenden Ausführungen wurde schon auf die ebenfalls sedimentäre Entstehung von Ton und sandiger Kieselsäure hingewiesen. Ersterer, als das Verwitterungsprodukt derselben Gesteine, welche auch das Material zum Aufbau des Kalksteins lieferten, namentlich der feldspathaltigen, ist am Orte seiner Entstehung, auf seiner ursprünglichen Lagerstätte, als Kaolin (Porzellanerde) verhältnissmässig rein und dieser in reinster Form die wasserhaltige, zweifach kieselsaure Tonerde $Al_2O_3 . 2 SiO_2 + 2H_2O$ mit 47,05 % Kieselsäure, 39,21 % Tonerde und 13,74 % Wasser. Die eigentlichen Tone entsprechen jedoch dieser Zusammensetzung nicht; die Mengenverhältnisse zwischen Tonerde, zu welcher übrigens noch Eisenoxyd tritt, und Kieselsäure schwanken in weiten Grenzen, so dass es eine chemische Formel für den Ton nicht gibt. Zudem sind die verschiedenen Tone durchweg recht unrein, weil sie Überbleibsel ihres unzersetzt gebliebenen Urgesteins enthalten und, als leicht wegschwemmbar, auf ihrer Weiterwanderung das Pulver fremder Gesteins- oder Mineralreste oder in Wasser gelöste Substanzen aufgenommen haben. Schlugen sie sich so, mehr oder weniger verunreinigt, an anderen Orten, wo sie zufälligerweise auf kohlensauren Kalk stiessen, nieder, so bildeten sie, durch Vermischung mit diesem, die Mergellager von oft riesenhafter Ausdehnung. Die Entstehung der letzteren ist also, falls sie nicht direkte Erzeugnisse eines natürlichen Schlemmprozesses, d. h. Ablagerungen aus Ton und kohlensauren Kalk zugleich führender Massen sind, auf eine Abscheidung von vollkommen amorphem Tongeschlemmsel in kohlensauren Kalk — oder umgekehrt — zurückzuführen. Im Gegensatz zu dem gewöhnlichen Kalkstein sind die Mergel weniger Meeres-, als vielmehr Süsswassersedimente und bilden neben diesem und Sandstein das Hauptgesteinsmaterial der geschichteten Formationen.

Die vorhin erwähnten, hier in Betracht kommenden Beimengungen des Tones (des Tonerdeeisensilikats) sind nun mechanisch eingestreute, unzersetzte, alkalienhaltige Feldspat- oder Glimmerpartikel oder sonstige pulverige, mehr oder weniger verwitterte Doppelsilikate mit Kalk und Magnesia, amorphe, opalige Kieselsäure und — Sand. Während sämtliche erstgenannten Bestandteile in feinster Zerteilung, als weiches Pulver und in der Regel in unwesentlichen Mengen vorkommen, macht der Sand hinsichtlich seiner Quantität und verschiedenen Korngrösse vielfach eine Ausnahme. Man unterscheidet so fühlbaren Sand als groben Sand (über 0,20 mm Korngrösse) und Streusand (0,04—0,20 mm),

anfühlbaren Sand als Staubsand (0,02—0,04 mm) und Schluff (0,01—0,02). Der Ton selbst ist feiner als Schluffsand.

Es entspricht der geschilderten sekundären Bildung der Mergel aus Ton, dass diese ebenfalls die den letzteren begleitenden Stoffe aufweisen, unter denen der gröbere Sand aus später zu erörternden Gründen eine besondere, grade nicht freundliche Rolle spielt.

Die von Sand-Kieselsäure feinsten Korns (Schluff) innig durchdrungenen Kieselkalke, naturgemäss ebenfalls Sedimentgesteine, werden ähnlichen Vorgängen, wie die eigentlichen Mergel, ihre Bildung verdanken. Sie enthalten in der Regel etwas Tonerde, allerdings in nicht nennenswerten Mengen.

Um die Mergel und Kieselkalke in rein chemischer Hinsicht zu kennzeichnen, sei wieder auf den Kalkstein, den kohlensauren Kalk zurückgegriffen.

In ausgeprägter Krystallform, d. h. chemischrein, bietet uns die Natur den kohlensauren Kalk in zwei Mineralmodifikationen, dem Kalkspat und Arragonit, deren chemische Formel $CaCO_3$ ist, mit 56 % Kalk (CaO) und 44 % Kohlensäure (CO_2).

Körnig-krystallinisch, d. h. nahezu chemisch rein, ist der Marmor.

Die derben, dichten Kalksteine, aus denen fast durchweg die zu Luftmörtel verwendeten Weiss- oder Fettkalke gebrannt werden, sind dagegen weniger rein, enthalten jedoch, mögen sie auch noch so sehr in der Härte, Farbe, im Gefüge und in der Form der Lagerung von einander abweichen, immerhin noch in hervorragender Weise kohlensauren Kalk ($CaCO_3$), neben unwesentlichen Mengen von kohlensaurer Magnesia ($MgCO_3$) und Ton von schon besprochener Zusammensetzung, Spuren von Schwefelsäure (SO_3), Phosphorsäure (P_2O_5), Alkalien (K_2O—Na_2O), Bitumen (organische Substanz) und Wasser (H_2O).

Manchmal nun steigt der Gehalt an kohlensaurer Magnesia so hoch, dass aus dem Kalkstein ein Dolomit wird, dessen Normaltypus der Formel $CaCO_3 + MgCO_3$ entspricht, mit 54,3 % $CaCO_3$ und 45,7 % $MgCO_3$ oder mit 30,4 % CaO, 21,7 % Magnesia (MgO) und 47,9 % CO_2.

Tritt anderseits der Ton besonders hervor, so ändert sich in manchen Fällen das Kalkgestein in Härte, Festigkeit und spezifischem Gewicht. Es gewinnt ein mehr erdiges Aussehen und entwickelt beim Anhauchen den bezeichnenden Tongeruch; zugleich kann der Gehalt an Grubenfeuchtigkeit steigen. Man spricht dann von einem Kalkmergel (Mergelkalk) mit einem Tongehalt von etwa 10—15 %, oder einem eigentlichen Mergel von etwa 15—30 %. Unter Ton ist dann durchweg dieser mit seinen verschiedenen Nebenbestandteilen — ausschliesslich gröberem Sand —, die sog. Tonsubstanz, verstanden. Die angeführten Grenzzahlen sind übrigens nur annähernde; selbstverständlich kann man Kalksteine und Mergel und letztere unter sich nicht haarscharf von einander trennen. Es existieren eine Menge Zwischenglieder, welche den allmählichen Übergang von den ersteren zu dem Mergelkalk und von diesem zu dem ausgesprochenen Mergel darstellen. Auch weichen die Benennung und die Einordnung der Mergel, wie man sie in den verschiedenen Lehrbüchern findet, von einander ab. Nach dem steigenden Gehalt an Ton unterscheiden andere z. B. Mergelkalke mit 8—15 %, Kalkmergel mit 15—22 %, Mergel mit 22 bis 30 % Ton.

Der Tonmergel mit bedeutend höherem Tongehalt (bis zu 75 %) gehört selbstverständlich nicht mehr in die Klasse der Mergel, sondern in diejenige der Tone.

Die Dolomitmergel nun sind tonhaltige, magnesiareiche Kalksteine, dolomitische Mergel mit einem evtl. Gehalt an Grobsand in verschiedenen Mengen.

Bei einseitigem Hervortreten der Kieselsäure schliesslich, in der Form von Schluffsand, und nahezu gänzlichem Zurückgang der Tonerde begegnen wir den Kieselkalken. Sie enthalten neben etwa 10—20 % Kieselsäure etwa 0,5 bis 3 % Ton. Zwischen den Kieselkalken mit ausgesprochenem kieseligem Gehalt und den Mergeln mit vorwiegend Ton, stehen übrigens, ihrer sekundären Bildung entsprechend, eine Menge Zwischenglieder, mit weniger freier Sand-Kieselsäure und mehr Ton, und umgekehrt.

Die nachfolgende Tabelle gibt eine gedrängte, vergleichende Übersicht von Kalksteinen, Dolomit- und Wasserkalksteinen mit einem allmählich steigenden Gehalt an Tonsubstanz, oder im vorliegenden Falle, der noch zu definierenden „wirksamen Tonsubstanz", der Gesamtmengen Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd, wie sie die verschiedenen Bestandteile der Tonsubstanz ergeben. Wieviel „Sand" sich unter der Gesamtkieselsäure befindet, ist bei den Analysen nicht berücksichtigt worden aus dem Grunde, weil er, wenn vorhanden, in der Form von Feinsand, oder als grober Sand in beschränkter Quantität, als nicht störend, zu seiner besonderen Bestimmung keine Veranlassung bot.

Solche Analysen charakterisieren nun nicht immer die chemische Natur des Gesamtvorkommens, sondern vielfach nur diejenige einer einzelnen Schicht oder Bank oder möglicherweise den Durchschnittsgehalt eines Bruches — „eines von vielen" des betreffenden Bezirks. — Gewöhnlich wechseln Lagen verschiedener Zusammensetzung mit einander ab. Dies ist das Merkmal der meisten Brüche, mit welchen wir hier zu tun haben. Nur in verhältnismässig wenigen Fällen, bei nahezu gleichmässigem Vorkommen, ist es zulässig, an Hand einer einzelnen Analyse auf den Charakter des Gebirges an dem betreffenden Gewinnungsorte zu schliessen. So erlaubt z. B. der Wechsel in dem Tongehalt des Rohmaterials manchen Industrien, neben Weisskalk die eine oder andere Sorte Wasserkalk, ja mehrere, bis zum natürlichen Portland-Zement hinauf, zu brennen (s. Tabelle S. 6 u. 7).

In der Regel sinkt nun mit dem zunehmenden Tongehalt der Stein das Wasserbedürfnis bzw. die Löschbarkeit des gebrannten Produkts und es steigt der Grad der Hydraulizität desselben.

Die zum Vergleich angezogenen Kalksteine 1—4 ergeben selbstverständlich mit viel Wasser in der Pfanne zu löschende Weiss-, Fett-, Luft- oder Grubenkalke (Sumpfkalke).

5 und 6 liefern als Übergänge zum Mergelkalk weniger Wasserkalke, als rascher und fester wie 1—4 erhärtende Luftkalke, welche jedoch zweckmässig, um einem vorzeitigen Festwerden in der Grube vorzubeugen, mit wenig Wasser „trocken gelöscht" zu Pulver abgedämpft werden;

7 und 8 Mergelkalke ergeben schwach hydraulische, trocken auf der Baustelle zu löschende Kalke (Wasserkalke in Stücken) und gewöhnlichen gemahlenen hydraulischen Kalk;

	Kalksteine				Übergänge			Mergel			
	1	2	3	4	5	6a	6b	7	8	9	10
$CaCO_3$	98,91	95,00	94,32	92,71	90,66	78,52	91,10	86,97	84,43	81,88	80,18
$MgCO_3$	0,71	1,28	Spuren	Spuren	0,95	0,69	0,80	0,42	0,78	—	1,51
Tonsubstanz: SiO_2	0,07	2,26	3,82	4,52	5,57	4,93	5,72	7,75	9,91		13,00
Tonsubstanz: Al_2O_3	0,06	1,10	0,54	0,97	1,47	1,97	2,29	3,94	2,37	15,64	5,00
Tonsubstanz: Fe_2O_3	0,14		0,22		0,83				1,70		
$(FeCO_3)$*)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
$MnCO_3$*)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P_2O_5	—	—	—	—	0,08	—	—	—	0,24	—	—
SO_3	—	—	Spuren	—	—	0,08	0,09	—	—	—	—
Alkalien	—	—	—	—	0,13	—	—	—	—	—	—
Wasser H_2O	—	—	0,88	1,14	0,81	13,77	—	0,89	0,75	—	—
organische Substanz	—	0,11			—	—	—			—	—
Verlust	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Rest	—	—	—	—	—	—	—	—	—	nicht bestimmt	—
	99,89	99,75	99,78	99,34	100,50	99,96	100,00	99,97	100,18	97,52	99,69

6a ist ein stark grubenfeuchter Stein; er musste — zum Vergleich — auf den wasser-

*) Das Eisen und Mangan dieser Karbonate wird auch noch zur Tonsubstanz gerechnet.

9, 10, 11 und 12 als Kalkmergel oder eigentliche Mergel liefern gemahlene höhere hydraulische Marken, darunter die sog. Zementkalke, welche zwar noch evtl. löschbar, jedoch mitunter vorher nicht abgedämpft werden;

13 und 14 als Mergel: Romanzement
15 als Mergel: einen natürlichen Portland-Zement } nicht mehr löschbar.

16 als Kieselkalk: einen vorzüglichen, zu Pulver ablöschbaren, hydraulischen Kalk.

In gleicher Weise steigt der hydraulische Charakter der aufeinanderfolgenden tonhaltigen Dolomite und dolomitischen Mergel, von

18, dem Rohmaterial eines, wenn auch nicht eigentlichen Wasserkalks, jedoch sehr guten Luftkalks, bis zu

24, dem Lieferer eines vorzüglichen Romanzements.

17 als eine Art Normaldolomit, ist ebenfalls zum Vergleich beigegeben.

Ein bezeichnendes Merkmal der Wasserkalksteine ist ihre nur partielle Löslichkeit in Säuren, wie z. B. Salzsäure und Salpetersäure, im Gegensatz zu den sich in diesen fast vollständig lösenden Kalksteinen. Unlöslich ist der tonige Bestandteil der Mergel, die Tonsubstanz einschliesslich Sand und die kieselige und tonige Substanz der Kieselkalke. In Lösung gehen, soweit die ersteren in Betracht kommen, die Karbonate von Kalk, Magnesia, Eisen- und Manganoxydul, hier und da etwas Tonerde und Eisenoxyd, ferner Alkalien, Phosphorsäure, Schwefelsäure (als Gips), Wasser (chemisch gebunden und mechanisch beigemengt als Grubenfeuchtigkeit) und organische Substanz.

Eine unter Berücksichtigung des „Unlöslichen“ und „Löslichen“ vollständig durchgeführte chemische Untersuchung, wie man sie allerdings weniger

	Mergel					Kiesel-Kalk	Dolomit	Übergänge		Dolomitische Mergel				
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
78,61	77,84	66,67	59,33	70,64	81,07	54,16	52,48	53,87	52,79	52,65	55,84	57,77	46,28
2,02		1,50	0,88	1,02	—	42,82	38,16	39,04	38,50	36,46	29,15	24,37	27,30
14,17		16,96	20,14	15,92	16,89	1,35		5,33	6,98	7,99			20,39
2,75	21,29	5,01	5,70	5,94	0,81	0,91	6,81	0,40	1,73	2,90	10,47	15,67	3,21
1,39		1,55	8,03	3,98	Spur			1,36					1,58
—	—	6,55	—	—	—	—	—	—	—	—	1,06	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,46	—	—
0,21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0,34**)	—	—	—	—	—	—	—	Spuren	—
—	—	1,01	0,74	1,37	—	—	—	—	—	—	0,40	—	—
	0,87	—	4,12		1,23			—	—	—	1,62		1,31
0,85	—	—	—	0,79	—	0,76	2,58	—	—	—	—	1,91	—
	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100,00	100,00	99,25	98,94	100,00	100,00	100,00	100,03	100,00	100,00	100,00	100,00	99,72	100,07

freien Zustand 6b umgerechnet werden.

**) An CaO gebunden.

in technischen, als vielmehr wissenschaftlichen Abhandlungen findet, würde für einen tonreicheren, etwas Grobsand enthaltenden Mergel etwa folgende schematische Analyse ergeben:

A. In Salzsäure unlöslich:

Tonsubstanz insgesamt:

Ton und unzersetzter Feldspat oder andere Doppelsilikate:

Kieselsäure, gebunden	15,06
an Tonerde	3,19
„ Eisenoxyd	1,30
„ Kalk	0,88
„ Magnesia	0,15
„ Kali	0,20
„ Natron	0,14
freie Kieselsäure	
a) amorphe (Opal)	0,77
b) krystallinische (feiner Sand, Schluff)	1,31
(gröberer Sand)	4,36
	27,36

B. In Salzsäure löslich:

Kohlensaurer Kalk	65,85
Kohlensaure Magnesia	1,95
Kohlensaures Eisenoxydul	0,45
„ Manganoxydul	0,22
Eisenoxyd	0,63
Zu übertragen	69,10

Zu übertragen	69,10
Tonerde	0,56
Kali	0,39
Natron	0,24
Phosphorsäure	Spuren
Schwefelsäure	0,25
Wasser a) chemisch gebunden	0,41
b) Grubenfeuchtigkeit	1,03
Organische Substanz (Bitumen)	0,66
	72,64
	= 100,00

Aber die Praxis fragt nicht nach alle diesem Verschiedenen, sondern, ausser nach dem Gehalt an kohlensaurem Kalk und kohlensaurer Magnesia, in der Hauptsache nach demjenigen an Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd, mögen letztere sich nun im „Unlöslichen“ oder „Löslichen“ befinden. Diese drei Bestandteile haben wir schon früher als die wirksame Tonsubstanz bezeichnet; wirksam insofern, als sie — wenn auch nicht immer in ihren Totalmengen — dem gebrannten Kalk die hydraulischen Eigenschaften verleihen. Ist nun zudem der gröbere Sand quantitativ nicht stark vertreten, so empfiehlt es sich zur Vereinfachung der Untersuchung, die verschiedenen Mengen Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd nicht jede für sich, sondern insgesamt zu ermitteln, im Sinne der Analysen der hervorgegangenen Tabelle. Dies geschieht durch Aufschliessen des feingepulverten Materials mit kohlensauren Alkalien bei starker Glut. Nach dieser Methode würde man in der Schmelze des angeführten Mergels finden

	Kieselsäure	Tonerde	Eisenoxyd
A. Aus dem „Unlöslichen“ herrührend, dem Ton	15,06	3,69	1,30
der freien feineren Kieselsäure	0,77 1,31		
B. Aus dem „Löslichen“ herrührend		0,56	0,63
also insgesamt	17,14	4,25	1,93

= 23,32 % wirksame Substanz, zuzüglich der aus den 4,36 % Grobsand herrührenden, ebenfalls aufgeschlossenen Kieselsäure.

Dieser Schmelzprozess im Tiegel des Laboratoriums ist nichts weiteres als ein Aufschliessen, ein Überführen der genannten Bestandteile in den hydraulischen Zustand, wie es ja auch der Ofenbrand bewirkt, letzterer nur langsamer und nicht so vollständig. Denn es muss hervorgehoben werden, dass die Alkalien, wegen ihrer Leichtschmelzbarkeit und ihres angreifenderen Verhaltens, den gröberen Sand stets mit aufschliessen, was die Kalkerde des Mergels im Ofenfeuer nur unvollkommen bewirkt. Diese Operation ergibt also höhere Kieselsäuremengen und es ist daher unter Umständen der Gehalt an Grobsand besonders, z. B. durch Schlemmen, zu bestimmen und von dem Gesamtergebnis abzuziehen.

Von den übrigen Bestandteilen der Schmelze wird in der Regel nur die Kalkerde und die Magnesia bestimmt.

Ja, in vielen Fällen geht es an, aus dem Gehalt an kohlensaurem Kalk

auf denjenigen der Tonsubstanz, durch Differenz, rückzuschliessen. Auf titrieranalytischem Wege oder durch volumetrische Bestimmung der Kohlensäure lassen sich in einer knappen Viertelstunde die Prozente $CaCO_3$ des vorher getrockneten Rohsteins ermitteln: der Rest ist Tonsubstanz. Diese sehr bequeme Methode empfiehlt sich und wird angewendet ausser bei Kalkstein bei Mergeln, welche neben kohlensaurem Kalk keine nennenswerten löslichen Bestandteile, wie zum Beispiel Mg CO_3 haben und deren Unlösliches den Sand hauptsächlich in feinem Zustande, das heisst in leicht aufschliessbarer Form, enthält.

Aus dem Rahmen einer gemeinverständlichen Darstellung fallend, soll auf die Beschreibung der Titriermethode und der volumetrischen Bestimmung der Kohlensäure, zur Ermittlung der Tonsubstanz, hier nicht eingegangen werden; ebensowenig auf den Gang der komplizierten technischen oder gar der langwierigen exakten Analysen. Diese möge man in „Hydraulischer Kalk und Portlandzement von Dr. H. Zwick, neubearbeitet von Dr. A. Moye, 1909“ (Seite 59—70) — A. Hartlebens Verlag, Wien — nachlesen.

Wenn nun auch die chemische Zusammensetzung der Mergel sehr wechselt, so stellen doch manche ein höchst inniges mechanisches Gemenge von Kalk- und Tonsubstanz dar, von ursprünglich weichem, jedoch meistens durch Druck mehr oder weniger versteinertem Gefüge, welch letzteres hinwiederum ab und zu durch Witterungs- und Temperatureinflüsse in den mürben Zustand zurückgekehrt ist. So finden wir die Tonkalksteine lose und erdig als stark grubenfeuchte Mergelerde (Wiesenmergel), mit erdigem Bruch als gemeinen Mergel, Schiefermergel, und ebenfalls dicht, mit unebenem, muscheligem Bruch von Kalksteinhärte, als festen Steinmergel, letzteren in kugeligen, knolligen, traubigen, plattenförmigen, linsenartigen, oft wunderbar gestalteten Konkretionen (Mergelnieren, Septarien).

Der gewöhnliche Mergel fühlt sich meist mager an und hat ein mattes, graues Aussehen. Ein höherer Eisengehalt mitunter verleiht ihm eine grünliche, gelbliche oder braunrote Färbung; viel organische Substanz (Bitumen) macht ihn dunkel bis schwarz. Der charakteristische Tongeruch und der wechselnde Gehalt an feinerem oder gröberem Sand wurde schon hervorgehoben. Mehr zufällige, auch seltenere, die Güte allerdings unter Umständen beeinträchtigende Bestandteile sind Glimmer und Schwefelkies, Kalkspat und Versteinerungen.

Die wiederholt betonte schwankende chemische Zusammensetzung, deren ziffernmässiger Ausdruck die Analyse ist, wird naturgemäss auf die variierenden Entstehungsbedingungen und -verhältnisse, bzw. auf den durch diese bestimmten Innigkeits- und Gleichmässigkeitsgrad der Mischung von kohlensaurem Kalk nnd Ton zurückzuführen sein. Als Wertmesser für die Verwendung der Mergel zu hydraulischen Kalken sind also die physikalischen Eigenschaften mitbestimmend. Über die letzteren spricht sich Hauenschild in seinem „Katechismus der Baumaterialien 1879“ wie folgt aus: „1. Die Bestandteile müssen möglichst fein sein. Ein deutlich körniges Gefüge, in welchem man mit freiem Auge schon die verschiedenen Bestandteile unterscheiden kann, ist immer mit Misstrauen zu betrachten und bildet selbst bei der günstigsten Zusammensetzung oft die Ursache der schädlichsten Eigen-

schaften, insbesondere des Treibens und der Volumvergrösserung und Aufhebung des Zusammenhangs während des Erhärtens. Ein glattsplitteriger oder ein muscheliger Bruch ist ein Zeichen genügender Feinheit. 2. Die Mischung muss möglichst innig sein; es dürfen nicht lagenweise mehr Kalk- oder Tonteile in derselben Schicht abwechseln; ein gebändertes Aussehen ist wohl zu beachten. Je massiger und dichter der Mergel ist, desto mehr Gewähr für innige Mischung ist vorhanden. Wenn die chemische Zusammensetzung sonst eine sehr günstige ist, so kann man unter Umständen die Natur verbessern und durch Feinmahlen und inniges Durchmischen grobkörnige oder nicht innig gemischte Mergel in tadelloses Material verwandeln. 3. Die Mischung muss gleichmässig sein. Innerhalb einer Schicht muss jedes Stück in der ganzen Erstreckung derselben die gleiche Zusammensetzung aufweisen; Flecke, Adern, härtere oder stärker verwitterte Partien deuten auf ungleiche Mischung hin und müssen solche sorgfältig ausgeschalten werden, was aber gewöhnlich nicht geschieht, unter dem Vorwande der Verteuerung der Gestehungskosten. Obwohl die Lagerungsverhältnisse äusserst verschiedene und mannigfaltige sind, so lässt sich doch im allgemeinen konstatieren, dass innerhalb einer Mergelablagerung die gleichmässigste Mischung innerhalb der mächtigsten Schichten, welche den längsten Zeitraum repräsentieren, während dessen ungestörte Ablagerung stattfand, sich vorfindet, dass also dünnplattige Schichten weniger Garantie für gleichmässige Zusammensetzung bieten. Oft ändert sich in solchen wenig mächtigen Schichten mit jeder einzelnen die Zusammensetzung beträchtlich. 4. Der Mergel muss möglichst frei von schädlichen Beimengungen sein. Schädliche Beimengungen sind entweder solche, die überhaupt denselben untauglich machen, oder sich nach dem Brennen als unnützer Füllstoff, ähnlich wie Sand, verhalten. Am häufigsten finden sich Glimmerblättchen beigemengt, leicht erkenntlich an dem überall an den Flächen haftbaren Perlmutterglanz und den metallischen, silberweissen, goldgelben oder stahlschwarzen Farben. Wenn sie in sehr kleinen Schüppchen und gleichmässig durch die ganze Masse verteilt sind, so schadet ein Gehalt an Glimmer bis zur Hälfte des Tongehaltes nicht; dieser darf aber selbstverständlich samt dem Glimmergehalt nicht zu hoch werden. Die Glimmer machen den Mergel leicht schmelzbarer, besonders der weisse und gelbe Kaliglimmer; wenn daher glimmerhaltige Mergel sonst eine taugliche Zusammensetzung aufweisen, muss der Brand sorgfältig in Schranken gehalten werden. Finden sich jedoch ganze Glimmerlametten streifenweise zwischen dem Mergel, so können sie bei einiger Dicke den Mergel ganz und gar untauglich machen. Indessen werden nicht selten stark glimmerhaltige Mergel mit in die Öfen gebracht; das erzielte Produkt ist dann aber auch meist von sehr fraglicher Güte. Nicht minder häufig findet sich Quarz in Form von Sand beigemengt. Wenn die Sandkörner so fein sind, dass sie den Mergel nicht mehr mit dem Wasser knirschend machen und ihr Gehalt 5 % nicht übersteigt, dann schadet dies der Qualität nicht. Sonst verursacht aber Quarzbeimengung ein leichtes Fritten oder Verklinken, wodurch das Produkt unbrauchbar wird. Hält man aber den Brennprozess in Schranken, so dass dieser Übelstand nicht eintritt, so verhält sich Quarz wie Sand, verhindert daher grösseren Sandzusatz; der Quarz wird als Zement mitverkauft, trägt daher den Stempel der Verfälschung an sich.

Auch grössere Mengen von Kalkspatadern oder gut sichtbarer Versteinerungen, entweder wohlerhalten oder teilweise in Mergelmasse umgewandelt, sind schädlich, weil deren Kalkanteil meist erst nach dem Erstarren des Mörtels Wasser aufnimmt, gedeiht und damit Treiben und Reissen verursacht. Ebenso schadet Schwefelkies und Gips in grösseren Mengen. Andere häufige Beimengungen wirken hingegen unter gewissen Umständen nützlich, insbesondere vegetabilische Überreste und Bitumen, weil bei geeigneter Ofenkonstruktion dadurch viel Brennmaterial erspart wird."

Diese Hauenschild'schen Anforderungen sind wohl etwas streng und angesichts der heutigen Technik, d. h. der wesentlich leichteren Aufbereitung der hydraulischen Kalke, von zum Teil nur historischem Interesse; auch gelten manche Vorschriften nur für die besseren Marken, wie etwa Romanzemente. Aber sie beleuchten in anschaulicher Weise die physikalisch-mineralogischen Eigenschaften der Mergel und ihren oft launenhaften Charakter.

Die Erkenntnis nun, dass das Brennen ton- oder kieselsäurereicher Kalksteine, von Mergeln oder Kieselkalken, einen in Wasser erhärtenden Mörtel ergibt, ist nicht so lange her, als man vielleicht meinen sollte; sie datiert aus der Mitte des 18. Jahrhunderts. Über zwei Jahrtausende lang*) kannte man, nach den Analysen alter Mörtel, wie z. B. desjenigen der vor Mitte des 5. Jahrhunderts vor Chr. erbauten Pnyx, der Rednerbühne eines Demosthenes und Perikles, der rund 700 Jahre alten Bastei zu Wien und eines Kirchturmes daselbst aus dem Jahre 1400 usw. usw., nur die Benutzung des Weisskalkes, hier und da auch diejenige des Dolomitkalkes und auch, wie der Eifeler Römerkanal zeigt, vorübergehend diejenige des Wasserkalkes. Überhaupt dürfte die lokale Verwendung eines schwachen Wasserkalks nicht ausgeschlossen gewesen sein, weil der betreffende Rohstein sich nicht vom Kalkstein unterschied, sich aber so leicht brennen liess und der gebrannte Kalk, möglicherweise so mit Weisskalk vermischt, dem Löschen keine Schwierigkeiten entgegensetzte. Dagegen wussten schon die Römer etwa zwei Jahrhunderte v. Chr. aus Weisskalk, unter Beimischung von vulkanischem Sand (Puzzolanerde)**) Ziegelsteinbrocken und -mehl und Tonscherben einen vorzüglichen hydraulischen Mörtel herzustellen Interessant ist folgende Stelle in dem Werke des römischen Architekten Marcus Vitruvius Pollio „De architectura" (13 v. Chr.) — Puteolan-Staub (Pulvis Puteolanus): „Es gibt auch eine Art Staub, welche auf eine natürliche Weise höchst bewunderungswürdige Wirkungen hervorbringt. Man findet sie in der Gegend von Baja und bei den Städten, welche in der Nachbarschaft des Berges Vesuv liegen. Mit Kalk und Bruchsteinen vermischt, gibt sie nicht allein überhaupt jedem Gebäude grosse Festigkeit, sondern die daraus im Meere aufgeführten Dämme erhärten selbst auch unter dem Wasser. Indem man nun drei Sachen (nämlich Kalk, Puzzolanerde und Tofstein, welche auf gleiche Weise durch die Heftigkeit des Feuers gebildet worden sind, zusammenmischt und Wasser hinzutut, so vereinigen sie sich miteinander und werden

*) Bevor man den Kalk verwendete, bediente man sich ausschliesslich mechanischer Bindemittel, wie Lehm und Asphalt (Ruinen von Ninive und Babylon), Nilschlamm (Ägypten). Später erst ging man zu einer Mischung von letzterem und gebranntem Gips über (ägyptische Pyramiden).

**) Nach dem Orte Puzzuoli in Italien.

schnell, vermittelst der Feuchtigkeit so hart und fest, dass weder Flut, noch sonst des Wassers Gewalt sie zu trennen vermag.“ (Nach der Übersetzung von August Rode, Leipzig, 1796.)

Ebenso finden wir einen hydraulischen, aus Trass oder Ziegelsteinstücken, zerklopftem Feuerstein, Sand und Weiss- oder Graukalk (Dolomitkalk) hergestellten, vorzüglichen Mörtel etwa vom 3. Jahrhundert n. Chr. ab in den rheinischen Bauwerken der eroberungssüchtigen Römer, wie Kastellbauten, Stadtmauern Kölns, Landhäusern usw. So wurde Jahrhunderte lang — von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen — ausschliesslich Luftkalk oder solcher mit den eben genannten hydraulischen Zuschlägen, vermörtelt. Da zwang allmählich das bei gesteigertem Bedarf nicht genügende Angebot von Trass und Puzzolanerde und deren überaus kostspielige Beschaffung England zu der Umschau nach einem anderen hydraulischen, billigeren Mörtel. Der erste, welcher sich mit Erfolg der Lösung dieser brennenden Frage hingab, war der Erbauer des Leuchtturms von Eddeystone an der Bucht von Plymouth, der englische Ingenieur Smeaton. Ihm wurde 1756 ein Kalkstein aus der Gegend von Aberthaw (Südwales) empfohlen, der, gebrannt und als Mörtel verarbeitet, eine wesentlich stärkere Erhärtung an der Luft zeige und auch dem Einfluss des Wassers einen grösseren Widerstand entgegensetze, als die anderen bekannten Kalke. Dieser Stein hinterliess, wie durch Smeaton festgestellt wurde, nach der Behandlung mit verdünnter Salpetersäure einen ziemlich beträchtlichen Rückstand von Ton und Sand (gegen 13 %). Weitere zahlreiche Versuche erwiesen, dass alle Kalksteine, welche mit Säuren behandelt, einen solch tonigen Rückstand zeigten, nach dem Brennen einen in Wasser erhärtenden Mörtel ergaben, dass also der Ton der Hydraulefaktor sei.

Später fand man dann in England eine weitere Anzahl besonders brauchbarer Mergel, wie die festen, harten und feinkörnigen Kalknieren des London clay an den Ufern der Themse, aus dem James Parker gegen Ende des 18. Jahrhunderts als erster seinen „Romanzement“ herstellte — eine Bezeichnung, die andeuten sollte, dass dieser ebenso stark erhärte, wie der Puzzolanmörtel der alten Römer. Ferner sind hier die Sheppey pebbles (Sheppey-Kiesel) zu Witby hervorzuheben.

In Frankreich erkannte man um etwa gleiche Zeit in den „galets“ (Kiesel) genannten Kalknieren der Küste von Boulogne ein für hydraulischen Kalk (platre ciment) vorzüglich geeignetes Rohmaterial.

Alle diese Kalk- oder Mergelnieren (Konkretionen, Septarien) enthalten gegen 25 % Ton.

Ebenso wurden die französischen Kieselkalke bekannt und berühmt, u. a. der Stein von Senonches, der Chaux du Teil und weitere mehr.

In Frankreich erfolgt die Gewinnung des Rohsteines allgemein durch Tagebau. Der Bruch des grössten französischen Werkes in Teil (Dep. Ardèche) ist 700—800 m lang und 100 m tief aufgeschlossen. Die einzelnen Schichten sind 20—40 m stark. Das Loslösen der Gesteinsmassen erfolgt durch Sprengung von Kammerminen mit bis zu 12000 kg Pulverladung, wobei ungefähr 150000 cbm auf einmal hereinbrechen. Das Zerkleinern der dabei auffallenden mächtigen Blöcke geschieht mit Hilfe eiserner Stangen oder kleiner Pulver-

ladungen von 50—120 g. Endlich werden sie im Steinbruch selbst oder auf der Plattform des Ofens mittels des Handschlägels in die gewünschte Stückgrösse gebracht. Wenn es die chemische Zusammensetzung der einzelnen Lagerstätten erlaubt, erfolgt die Herstellung von Romanzement und sog. Naturportlandzement gleichzeitig mit jener des hydraulischen Kalkes. Wo immer die örtlichen Verhältnisse danach angetan sind, wird in einer sachgemäss eingerichteten Fabrik dafür Sorge getragen sein, dass Rohstoffe und Erzeugnisse möglichst selbsttätig von oben nach unten, vom Steinbruch bis zum Verladeschuppen, das Werk durchlaufen, um an Arbeitslohn zu sparen und dadurch den Herstellungspreis billig zu gestalten."

Die Frage nach einer künstlichen Nachahmung solcher hydraulischen Kalke lag nun ziemlich nahe und diese wurde von dem französischen Ingenieur und Brückenbauer Vicat durch das Brennen eines Gemisches von Kreide und Ton gelöst (1818). Andere nahmen statt Kreide zu Staub gelöschten Kalk oder ein Gemenge von diesem und Feuersteinpulver (amorphe opalige, feinkristallinische Kieselsäure). Gleichzeitig beschäftigte sich Aspdin, ein englischer Maurer, mit dem Gedanken einer künstlichen Herstellung von hydraulischem Kalk, und erzielte, nach langjährigen Versuchen zur Ermittelung des richtigen Mischungsverhältnisses zwischen Ton und Kalk und der passend hohen Temperatur, ein Fabrikat von konkurrenzloser Hydraulizität, welches er Portland-Zement nannte (1824)*). Die ungeahnt intensive und extensive Entwicklung dieser Industrie der verschiedenen hydraulischen Kalke führte naturgemäss zur Aufsuchung weiterer Mergellager, deren sich in manchen Ländern nach Hunderten, ja Tausenden fanden, unter solchen auch einige, deren Material ohne weiteres — infolge einer besonders glücklichen chemischen und physikalischen Prädisposition zu Portland-Zement (Natur-Portland-Zement) — gebrannt werden kann.

Diesen erfreulichen Erfolgen stand nun ein vollständiger Mangel an Erkenntnis gegenüber, welche Bedingungen für die Herstellung guter hydraulischer Kalke massgebend seien. Man operierte ausschliesslich auf empirischem Wege, auf „gut Glück". (Zwick-Moye.) Smeaton erklärte einfach den Ton als den Hydraulefaktor, wie andere das Mangan, oder dieses in Gemeinschaft mit Quarz und Ton; in den Kieselkalken war das „hydraulische Prinzip", ohne jede weitere Begründung, die feinverteilte kieselartige Substanz. Erst des Münchener Professors v. Fuchs hochbedeutende Schriften „Über Kalk und Mörtel" und „Über Eigenschaften, Bestandteile und chemische Verbindungen der hydraulischen Mörtel" — 1829 und 1830 — vermittelten eine klare Anschauung über chemische Konstitution der Kalksteine und Mergel und der aus diesen gewonnenen Kalke, über die Vorgänge beim Brennen, über die Bedeutung und Anteilnahme der einzelnen Bestandteile bei der Bildung der Kalke und Mörtel, über die passenden Mengenverhälnisse von namentlich Kieselsäure, Tonerde und Kalk als den eigentlichen Wasserkalkbildnern usw. (Zwick-Moye.)

---

*) Portland-Zement verdankt seinen Namen dem Umstande, dass er nach Verarbeitung in Farbe und Haltbarkeit dem beliebten, wetterbeständigen, zu Bauten vielfach benutzten englischen Portland-Stone gleicht.

Immer geklärter im Laufe der Zeit wurden die Ansichten über das Wesen von Rohmaterial und gebranntem Produkt und über die Grundsätze bei der Herstellung der hydraulischen Kalke. Einer besseren wissenschaftlichen Erkenntnis entsprach natürlich auch ein fortschreitend höherer Vollkommenheitsgrad der verschiedenen Marken. Dass an diesem übrigens die rastlos voranstrebende Technik kraft ihrer leichteren und sicheren Aufbereitung des Rohmaterials gebührenden Anteil nahm, soll nicht unerwähnt bleiben.

II.

Die Aufbereitung und Eigenschaften der Wasserkalke.

Wie schon im vorhergehenden Kapitel kurz angedeutet, erhärtet der Wasserkalk ausser in der Luft, im Feuchten und unter Wasser. Aus den vorbeschriebenen Mergeln oder Kieselkalksteinen erbrannt, stellt er im ersteren Falle einen Kalk mit etwa 10—30 % Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd vor, unter denen die erstere stets vorherrscht. Unwesentliche Nebenbestandteile sind in Salzsäure Unlösliches (nicht aufgeschlossener Ton und Sand) und — wie bei dem Rohstein — Alkalien, Schwefelsäure, Phosphorsäure, Bitumen und bei den nicht dolomitischen die Magnesia. Die Kieselkalksteine liefern naturgemäss einen besonders kieselsäurereichen und tonerdearmen hydraulischen Kalk, als deren vornehmster Vertreter der französische Chaux du Teil mit über 20 % Kieselsäure und etwa nur einigen % Tonerde anzusehen ist.

In wissenschaftlichem Sinne sind nun auch die Roman-Zemente und Portland-Zemente als Kalke anzusehen und zwar als die energischsten. Aber als aus dem Rahmen des engeren landläufigen Begriffs „Wasserkalk“ fallend, sollen sie hier nicht besprochen werden. An späterer Stelle (Kapitel VI) und nur insoweit, als ihre Gegenüberstellung zu den eigentlichen Wasserkalken zum weiteren Verständnis der letzteren beiträgt, werden sie eine kurze Würdigung erfahren.

Bekanntlich gibt es zwei Sorten Wasserkalk, den Wasserkalk in Stücken und den gemahlenen hydraulischen Kalk.

A. Der Wasserkalk in Stücken.

Das Brennen.

Bei der Errichtung einer Kalkbrennerei hat man vorab die Produktionsfähigkeit bzw. die Höhe des Absatzes und die örtlichen Verhältnisse, die Lage

des Steinbruchs, den Platz für den Ofen und die sonstigen Anlagen, das Brennmaterial nach Billigkeit und Zweckmässigkeit (ob Steinkohle, Koks, Braunkohle, Torf, Holz usw.) zu berücksichtigen. Erst dann wird man zur Auswahl des passenden Ofens schreiten, welcher nun u. a. ein möglichst schnelles Garbrennen des Kalkes bei geringstem Verbrauch an Feuerungsmaterial, flotten Zug und rationelle Verbrennung, höchste Leistung bei geringstem Anlagekapital und praktische starke Konstruktion nebst einfachster Bedienung gewährleisten muss.

Dass das gewählte Ofensystem insbesonders der chemischen und physikalischen Eigenart der Kalkmergel (wieviel Tonsubstanz enthaltend, ob und wie hoch wasserhaltig, ob fester Stein in grossen Stücken oder Kleinschlag, oder nachher im Ofen zerfallende oder zerspringende Steine, ob Kalkmergelerde, usw.) Rechnung tragen muss, soll an dieser Stelle noch einmal hervorgehoben werden.

Chemiker, Ofenbauer und Maschineningenieur müssen Hand in Hand arbeiten, um eine einheitliche, zweckmässige und nicht zu teure Anlage zu schaffen. Das getrennte Projektieren dieser verschiedenen Fachleute ohne gegenseitiges Rücksichtnehmen hat sich nicht nur beim Bau, sondern auch beim Betrieb eines Kalkwerks oft bitter gerächt.

Das Gesagte gilt selbstverständlich in erster Linie für Grossbetriebe; aber auch der kleinere Fabrikant dürfte, falls er nicht ganz sicher ist, gut daran tun, den bewährten Rat eines Sachverständigen einzuholen.

So sollte ein in der Kalkbrennerei Unerfahrener doch nie so ohne weiteres den erfahrenen Ofeningenieur umgehen und sich zu einer vermeintlichen Ersparung von Kosten den Ofen „so und so“ aufschwätzen lassen. Falls dieser letztere nicht ordnungsmässig funktioniert, so ist der Fabrikant viel Geld und die Kundschaft los. In einem mir bekannten Falle hatte ein kontinuierlicher Schachtofen mit 13,5 m Höhe von Rost zu Gicht und einem Durchmesser von 2,7—3 m aus z. T. kleinstückigem, dazu äusserst weichem Stein täglich unter Garantie zwei Doppelwagen gebrannte Ware zu liefern. Trotz aufgesetztem Hut war ein flotter Zug und ein regelmässiger Brand nicht zu erreichen: ganz selbstverständlich! Die Produktion pro Tag ging über 200 Ztr., noch dazu halb ungaren Kalkes, nicht hinaus. Dieser Ofen, der ein ganz anderes Rohmaterial voraussetzte und sich in besonderen Fällen bewährt hatte, versagte einfach und wird einem gründlichen Umbau unterzogen werden müssen, welcher selbstverständlich auch eine andere Höhenlage der maschinellen Förderanlagen bedingt. Am besten wärs freilich, der Ofen würde auf den Abbruch verkauft.

Ich habe in meinem Werk „Kalk und Mörtel“ die zahlreichen bekannten Öfen, die periodisch oder kontinuierlich arbeitenden Schachtöfen (Trichter-, Setz- oder deutscher Ofen), den F. L. Smidthschen Aalborgofen, solche mit Planrost oder Halbgasfeuerung, den Rüdersdorfer, solche mit vollkommener Gasfeuerung (Generatorfeuerung), den Rauls-Schachtofen, den Dietzschen Etagenofen, den Hauenschild-Schneider-Ofen, den Ringofen schliesslich mit einer täglichen Leistungsfähigkeit bis zu 30—40 Doppelwagen Kalk beschrieben*).

---

*) „Kalk und Mörtel“. Kommissionsverlag H. A. Ludwig Degener, Leipzig, Seite 165 u. ff.

Aufmerksam mache ich noch auf die Werke von Franz Rauls, Ingenieur für Kalkwerksanlagen, Köln: 1. „Untersuchungen über industrielle Feuerungsanlagen, Öfen und Schornsteine". Preis M. 1.20; 2. Vortrag in Wien am 6. Dezember 1909: „Kleinste und grösste Ringöfen der Welt" sowie „Moderne Gasbrennöfen für Kalk", M. 1.80.

Diese Schriften werden den Besitzern der Werke „Kalk und Mörtel" und „Wasserkalk" gratis, exkl. Porto, zugesandt.

Rauls macht ad 1 ausführlich Mitteilung über ein neues, billiges und haltbares Ofenfuttermaterial, welches bei Schachtöfen und Rauls-Ringöfen mit bestem Erfolge eingeführt wurde. Proben wolle man sich von dem Genannten zusenden lassen. Dieses Material verdient besonders hervorgehoben zu werden, da es so viele Vorteile für den Kalkwerksbesitzer aufweist, dass sich seine Verwendung schon in ganz kurzer Zeit bezahlt macht. Das vielfach vorkommende, Reparaturen und Betriebseinstellungen herbeiführende Ausbauchen des Futters und Gewölbes wird hier vermieden und die Haltbarkeit des Mauerwerks ganz wesentlich erhöht.

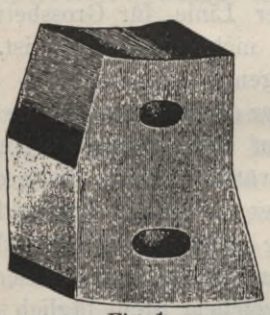


Fig. 1.

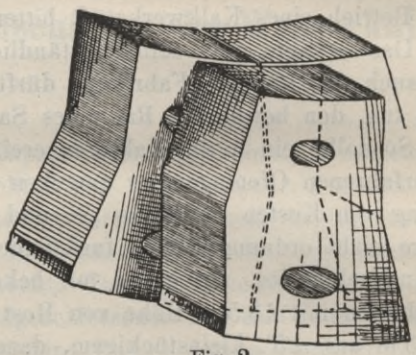


Fig. 2.

Fig. 1 zeigt einen einfachen Stein in isometrischer Ansicht.
Fig. 2 zeigt zwei Längen dieses Steines.

Die Hauptvorteile sind kurz zusammengefasst folgende: 1. Grössere Haltbarkeit des Ofenmauerwerks, 2. Unmöglichkeit, einen verkehrten Verband zu schaffen, da die Stossfugen geknickt sind, 3. Wärmeersparung infolge der geknickten Fugenform, 4. Verteilung der Wärmespannungen im Mauerwerk, 5. Vermeidung von Rissen und Ausbauchen, also von Reparaturen überhaupt, 6. billigere Herstellung, Anlieferung und Vermauerung.

Selbstverständlich muss auch hier der Kalkwerkingenieur nach dem Urteil des Chemikers seine Dispositionen bezüglich der Anwendung treffen.

Die nachfolgenden beiden neuen Tabellen über Ringofen- und Schachtofeninhalte sowie Preise dürften dem Leser eine willkommene Beigabe sein.

Für einen grossen derben und im Feuer haltenden Kalkmergel oder Mergel wird nun irgend ein kontinuierlicher Schachtofen oder ein Ringofen immer seine Pflicht tun; ganz anders, wie soeben erörtert, bei kleinstückigem Stein oder bei Mergelerde. Kleine Steine kann man nur erfolgreich brennen,

I. Inhalte und Preise von Kalkringöfen.

(Aufgestellt durch Franz Rauls, Kalkwerksingenieur, Köln am Rhein.)

Kammerbreite	Kammerhöhe	Querschnitt	Inhalt pro Kammer (= cbm) bei einer Länge von m				Inhalt des Ofens (= cbm) bei einer Brennlänge von m			Preis kompl. inkl. Schornstein bei einer Brennlänge von 70 m
m	m	qm	4,50	5,00	5,50	6,00	60	70	80	
2,00	2,20	3,97	17,86	19,85	21,83	23,82	238,20	277,90	317,60	18 000 Mark
2,10	2,20	4,14	18,63	20,70	22,77	24,84	248,40	289,80	331,12	19 500 „
2,20	2,30	4,54	20,43	22,70	24,97	27,20	272,20	317,80	363,20	21 000 „
2,30	2,30	4,72	21,24	23,60	25,96	28,32	283,20	330,40	377,60	22 500 „
2,40	2,40	5,14	23,13	25,70	28,27	30,84	308,40	359,80	411,20	24 000 „
2,50	2,40	5,32	23,94	26,60	29,26	31,92	319,20	372,40	425,60	25 500 „
2,60	2,50	5,77	25,96	28,85	31,73	34,62	346,20	403,90	461,60	27 000 „
2,70	2,50	5,86	26,37	29,30	32,23	35,16	351,60	410,20	468,80	28 500 „
2,80	2,60	6,44	28,98	32,20	35,42	38,64	386,40	450,80	515,20	30 000 „
2,90	2,60	6,63	29,83	33,15	36,46	39,78	397,80	464,10	530,40	31 700 „
3,00	2,60	6,83	30,73	34,15	37,56	40,98	409,80	478,10	546,30	33 400 „
3,10	2,60	7,00	31,50	35,00	38,50	42,00	420,00	490,00	560,00	35 100 „
3,20	2,60	7,22	32,49	36,10	39,71	43,32	433,20	505,00	577,60	36 800 „
3,30	2,70	7,44	33,48	37,20	40,92	44,64	446,40	520,80	595,20	38 500 „
3,40	2,70	7,93	35,68	39,65	43,61	47,58	475,80	555,10	634,40	40 200 „
3,50	2,70	8,03	36,13	40,15	44,16	48,18	481,80	562,10	642,40	42 000 „
3,60	2,80	8,69	39,10	43,45	47,79	52,14	521,40	608,30	695,20	43 700 „
3,70	2,80	8,89	40,00	44,45	48,89	53,34	533,40	622,30	711,20	45 400 „
3,80	2,80	9,09	40,90	45,45	50,00	54,54	545,40	636,30	727,20	47 100 „
3,90	2,80	9,28	41,76	46,40	51,04	55,68	556,80	649,60	742,40	48 800 „
4,00	2,80	9,48	42,66	47,40	52,14	56,88	568,88	663,60	758,40	50 000 „

Diese Preise können sich bei genauer Berücksichtigung aller Verhältnisse ermässigen resp. erhöhen. Man vergleiche den Vortrag des Ingenieurs Franz Rauls, gehalten im Haupt-Verein in Wien am 6. Dezember 1909 über: „Moderne Gasbrennöfen der Kalkindustrie“, Preis M. 1.80.

wenn man auch den Ofen — und zwar ist hier der Schachtofen das einzig wahre — klein nimmt, damit der Zug nicht beeinträchtigt wird. So empfehlen Wilhelm Eckardt & Ernst Hotop, Köln und Berlin, einen Schachtofen mit eingebautem Rost für kleinste Steine von 2—3 cm Grösse, die entweder für sich oder mit anderen bis zu 18 cm Dicke gebrannt werden können. Der Rost dient in der Hauptsache der vorteilhaften Einführung der Verbrennungsluft; der flotte Zug wird durch die verhältnismässig kleinen Dimensionen des Ofens erreicht, welcher auch seiner Kleinheit wegen täglich nur 5000—7000 kg gebrannten Kalk liefert. Dieser Ofen ist in meinem „Kalk und Mörtel“ Seite 167 abgebildet. Grössere Werke errichten neben ihren Ringöfen, welche diesen kleinstückigen Stein nicht brennen können, solche Öfchen zur Verwertung ihrer Abfallsteine, Kalkschotter, Kleinschlag usw.

Bei Mergelerde, welche aus einem Gemengsel von feuchtem Staub und Körnern besteht, ist selbst ein solcher Ofen unbrauchbar. Die Mergelerden sind eine recht gemischte Gesellschaft, und ein Ofenbrenner hat hier seine Last. Man hat mit einigem Erfolg versucht, z. B. Wiesenmergel, d. h. einen bituminösen, stark wasserhaltigen Mergel einzusumpfen, zu Ziegeln zu pressen und zu brennen. In meiner Tätigkeit als Sachverständiger hatte ich Gelegenheit, am Main einen stark wasserhaltigen Kalkmergel mit 4,93 % in Salzsäure Unlöslichem, mit 1,97 % Eisenoxyd und Tonerde, 43,97 % Kalkerde, 0,33 %

2. Inhalte von Kalkschachtöfen.

(Aufgestellt durch Franz Rauls, Kalkwerksingenieur, Köln am Rhein.)

Durchmesser m	Fläche qm	cbm Inhalt bei der Höhe des Schachtes in m:												
		4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	7,50	8,00	8,50	9,00	9,50	10,00
1,50	1,76	7,04	7,92	8,80	9,68	10,56	11,44	12,32	13,20	14,08	14,96	15,84	16,72	17,60
1,60	2,01	8,04	9,04	10,05	11,05	12,06	13,06	14,07	15,07	16,08	17,08	18,09	19,09	20,10
1,70	2,26	9,04	10,17	11,30	12,43	13,56	14,69	15,82	16,95	18,08	19,21	20,34	21,47	22,60
1,80	2,54	10,16	11,43	12,70	13,97	15,24	16,51	17,78	19,05	20,32	21,59	22,86	24,13	25,40
1,90	2,83	11,32	12,73	14,14	15,55	16,96	18,37	19,78	21,19	22,60	24,01	25,42	26,83	28,30
2,00	3,14	12,56	14,13	15,70	17,27	18,84	20,41	21,98	23,55	25,12	26,69	28,26	29,83	31,40
2,10	3,46	13,84	15,57	17,30	19,03	20,76	22,49	24,22	25,95	27,68	29,41	31,14	32,87	34,60
2.20	3,80	15,20	17,10	19,00	20,90	22,80	24,70	26,60	28,50	30,40	32,30	34,20	36,10	38,00
2,30	4,15	16,60	18,68	20,76	22,84	24,92	27,00	29,08	31,16	33,24	35,32	37,40	39,48	41,50
2,40	4,52	18,08	20,34	22,60	24,86	27,12	29,38	31,64	33,90	36,16	38,42	40,68	42,94	45,20
2,50	4,91	19,64	22,09	24,54	26,99	29,44	31,89	34,34	36,79	39,24	41,69	44,14	46,59	49,10
2,60	5,30	21,20	23,85	26,50	29,15	31,80	34,45	37,10	39,75	42,40	45,05	47,70	50,35	53,00
2,70	5,72	22,88	25,74	28,60	31,46	34,32	37,18	40,04	42,90	45,76	48,62	51,48	54,34	57,20
2,80	6,15	24,60	27,68	30,76	33,84	36,92	40,00	43,08	46,16	49,24	52,32	55,40	58,48	61,50
2,90	6,60	26,40	29,70	33,00	36,30	39,60	42,90	46,20	49,50	52,80	56,10	59,40	62,70	66,00
3,00	7,07	28,28	31,81	35,34	38,87	42,42	45,95	49,48	53,01	56,54	60,07	63,60	67,13	70,70
3,10	7,54	30,16	33,93	37,70	41,47	45,24	49,03	52,78	56,55	60,32	64,09			
3,20	8,04	32,16	36,18	40,20	44,22	48,24	52,26	56,28						
3,30	8,55	34,20	38,48	42,76	47,07	51,32	55,60							
3,40	9,08	36,32	40,86	45,40	49,94	54,48	59,02							
3,50	9,62	38,48	43,29	48,10	52,91	57,72	62,53							
3,60	10,18	40,72	45,81	50,90	55,99	61,08	66,17							
3,70	10,75	43,00	48,28	53,56	58,84	64,12	69,40							
3,80	11,34	45,36	51,03	56,70	62,37	68,04	73,71							
4,00	12,56	50,24	56,52	62,80	69,08	75,36	81,64							
4,20	13 85	55,40	62,33	69,26	76,19	83,12	90,00							
4,40	15,20	60,80	68,40	76,00	83,60	91,20	98,80							
4,60	16,61	66,44	74,74	83,04	91,34	99,64	107,94							
4,80	18,09	73,36	81,41	90,46	99,51	108,56	117,61							
5,00	19,64	78,56	88,38	98,20	108,02	117,84	127,66							

Magnesia, 0,08 % Schwefelsäure, 31,79 % Kohlensäure, 3,98 % chemisch gebundenem Wasser und 12,91 % (!) Feuchtigkeit = 99,96 % kennen zu lernen, der bei vollständigem Aufschluss der Hydraulefaktoren 13,46 % wirksame Kieselsäure + Tonerde-Eisen im gebrannten Kalk liefern würde. Der Werkbesitzer beabsichtigte nun, diese feuchte Erde mit Stückchen bis zu 1 cm Korngrösse, nach erfolgreichem Ziegeln mit einer Handpresse — die Ziegel hielten verhältnismässig gut, selbst bei längerem Lagern im Freien — im Ringofen zu brennen. Ich befürchtete einen Misserfolg. Der hohe Wassergehalt selbst des etwa lufttrocken gemachten Rohmaterials, sowie der Druck der im Ofen aufgestapelten Ziegel aufeinander, würde m. E. erklärte Feinde eines ordnungsmässigen Zuges, Feuers und Brandes sein. Dieser Misserfolg ist jedoch nach den glaubwürdigen Mitteilungen des Werkbesitzers nicht eingetreten. Einer der erfahrensten Ofenbauer, Wilhelm Eckardt, Köln, stand dieser Sache nicht so direkt ablehnend gegenüber und meint mit vollem Recht: Probieren geht über Studieren. Ich hatte mir nun für alle Fälle inzwischen Mühe gegeben, ein für diese feuchte Kalkmergelerde passendes Ofensystem ausfindig zu machen.

So empfahl mir F. Rauls einen Schachtofen, wie er verschiedentlich zum Rösten von Erzen usw. gebaut worden ist und mit gutem Erfolge arbeiten

soll. Das Material, diesmal die Kalkmergelerde in grubenfeuchtem, jedoch nicht regendurchtränktem Zustande, läuft kontinuierlich selbsttätig über im Ofeninnern angebrachte etwa 14 schiefe Ebenen zum Zweck des Vorröstens, d. i. hier einer vollständigen Entwässerung. Die ganz glühenden Massen fallen dann auf eine andere letzte schiefe Ebene, auf welcher sie kalziniert, entkohlensäuert werden. Die Anlage arbeitet mit Gasfeuerung, und ein Schacht, der sich übrigens mit mehreren zu einer Schachtgruppe vereinigen lässt, erbringt etwa $1^1/_2$ Doppelwagen Brenngut per Tag. Dieses System — alles in allem genommen, d. h. was die Gestehungskosten anbetrifft — soll nicht teurer, wenn nicht billiger arbeiten, wie ein Trichterofen; auch sei an einem guten Erfolg nicht zu zweifeln.

Von befreundeter Seite werde ich noch darauf aufmerksam gemacht, dass man ja auch die Mergelerde über den im Brand befindlichen grossstückigen Kalkstein streuen könne. Dieses Prinzip ist einfach und gut; es wird daher in vielen Betrieben gehandhabt.

Einer besonderen Zukunft in der Kalkindustrie scheint nun, nach den zum Teil grossartigen Erfolgen bei Portland-Zement, der Drehrohrofen entgegenzugehen. Man weiss, dass diese „Brennmaschine par excellence“ die Zementrohmassen als trocknes Pulver oder als Schlamm mit Eleganz verarbeitet. Dazu tritt eine möglichste Vermeidung von Menschenkraft und eine zeitliche Verkürzung des Fabrikationsvorgangs. Alle Bedingungen zu Grossbetrieb sind also gegeben.

Es ist eine Laune des Schicksals, dass die erst etwa ein Jahrhundert alte Industrie des Portland-Zements die Lehrmeisterin der altersgrauen Kalkbrennerei geworden ist und immer noch wird. Der Verfasser schloss schon das erste Kapitel seines „Kalk und Mörtel“ (Geschichte des Kalks und des Mörtels) mit einem freundlichen Dank des Schülers Kalk an seinen Lehrer Zement.

Was nun die allmähliche Entwicklung des Drehrohrofens anbetrifft, so möge der Leser diese auf Seite 220 des soeben erwähnten Werks oder eingehender in den beiden Vorträgen des Dr. Bruhn-Charlottenburg (gehalten auf der Versammlung des Vereins Deutscher Portland-Zementfabriken, Februar 1904 und 1907, beides Sonderabdrücke) nachlesen.

Bei der Bedeutung, welche dieser Ofen in der Neuzeit erlangt hat, wird es angezeigt sein, ihn genauer zu beschreiben.

Seiner Einführung in die Zementindustrie stand solange ein gewichtiges Hindernis entgegen, bis es der Technik Amerikas gelungen war, die Feuerungsfrage glücklich zu lösen, d. h. die Anwendung von Kohlenstaub und Erdöl als Feuerungsmittel praktisch durchzuführen. So ausgebildet, konnte der Drehofen seinen Einzug in die Zementindustrie halten und sich in der kurzen Zeitspanne von etwa 12 Jahren derart einbürgern und vervollkommnen, dass er heute mit Recht als die beste Brennvorrichtung für die Erzeugung künstlichen Zementes bezeichnet werden darf.

Der Drehofen besteht im wesentlichen aus einem mit geringer Neigung zur Horizontalen (2—4 %) angeordneten, innen mit feuerfestem Material verkleideten Kesselblechrohr, welches sich während des Betriebs um seine Achse dreht (siehe Fig. 1 und 2: in Montage bezw. in Betrieb befindliche Öfen).

Der lichte Durchmesser des Rohres schwankt zwischen 2—3, die Länge des Rohres zwischen 30—50 m, je nach den an die Leistungsfähigkeit des Apparates gestellten Anforderungen. In neuester Zeit werden indessen auch Öfen noch grösserer Längen, von 70 m und mehr, bisweilen sogar

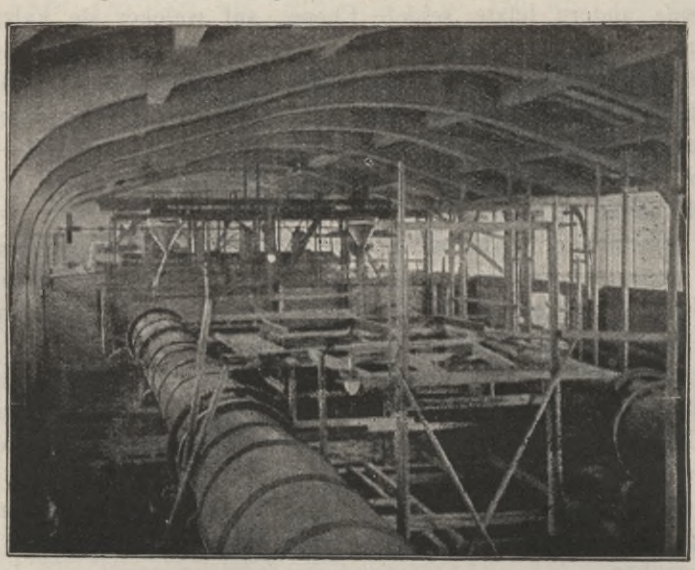


Fig. 1. Ansicht eines Drehofens in Montage.

Fig. 2. Ansicht zweier Drehöfen, fertig in Betrieb.

von 100—120 m, angeboten, doch dürfte deren Zweckmässigkeit auf Grund des altrömischen Erfahrungssatzes „est modus in rebus“ sehr in Frage zu ziehen sein. Dies jedoch nur nebenbei! Das Mantelrohr wird aus mehreren, zusammengenieteten Schüssen handlicher Längen hergestellt und zur Unterstützung dienen in Entfernungen von etwa 10—15 m angeordneten Stahlguss-

ringe und Lagerungen mit Laufrollen aus gleichem Material. Der Antrieb erfolgt mittelst Zahntrieb, der in einen besonderen Zahnkranz eingreift und meistens unmittelbar neben dem ungefähr in der Mitte des Rohres befindlichen Laufringe angeordnet ist. Die zum Betriebe des Ofens erforderliche Kraft

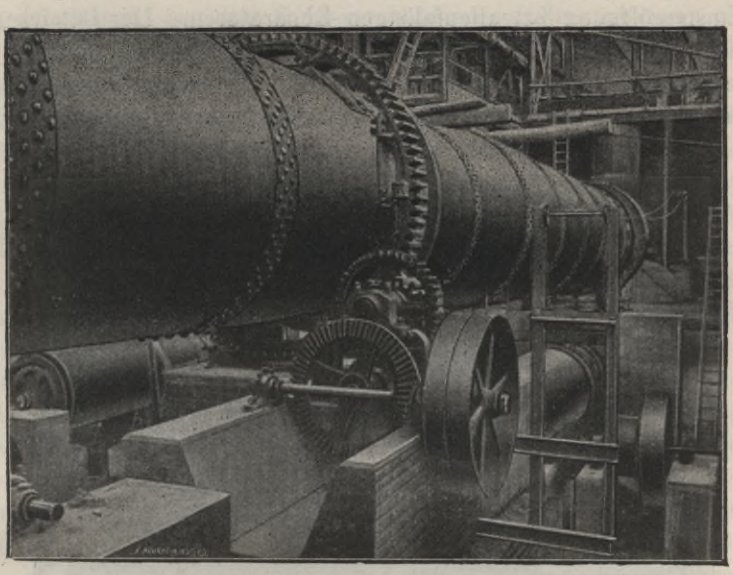


Fig. 3. Riemenantrieb für Drehofen.

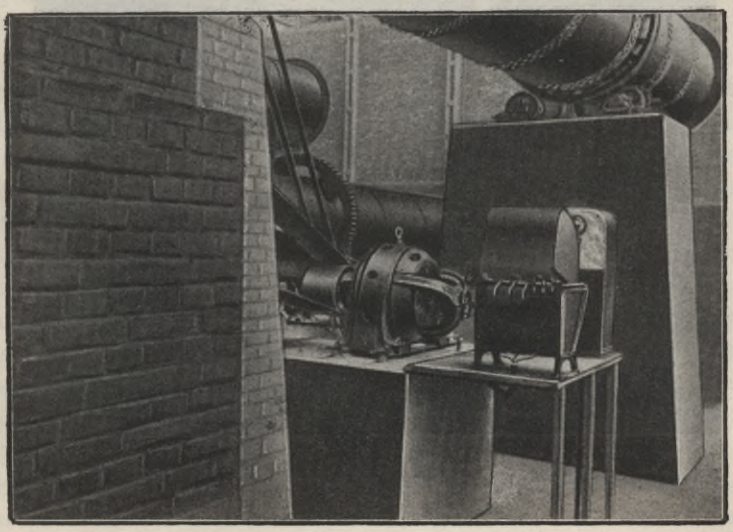


Fig. 4. Elektrischer Antrieb für Drehofen.

kann mittels Riemen der Transmission (siehe Fig. 3) oder direkt dem Elektromotor entnommen werden. Das obere Ende des Mantelrohres ragt in den Abzugskanal hinein, durch welchen die verbrauchten Brenngase in den Schornstein gelangen, während das untere Rohrende durch den Ofenkopf abgeschlossen wird. In diesen münden die Rohre für die Zuführung von Brennstoffen und

warmer Luft; ausserdem sind Schauöffnungen angebracht, welche die genaue Überwachung des Brennvorganges (Brandes) gestatten. Eine weiter vorhandene Tür dient der Einbringung von Brennstoffen zur Vorwärmung bei der Inbetriebsetzung, zur Erleichterung der Entfernung von Ansätzen beim Brennen und als Einsteigöffnung bei allenfallsigen Reparaturen. Der Betrieb geschieht in folgender Weise:

Durch eine selbsttätige Aufgabevorrichtung und ein Einlaufrohr wird das Material am oberen Ende des Rohres diesem zugeführt, infolge der

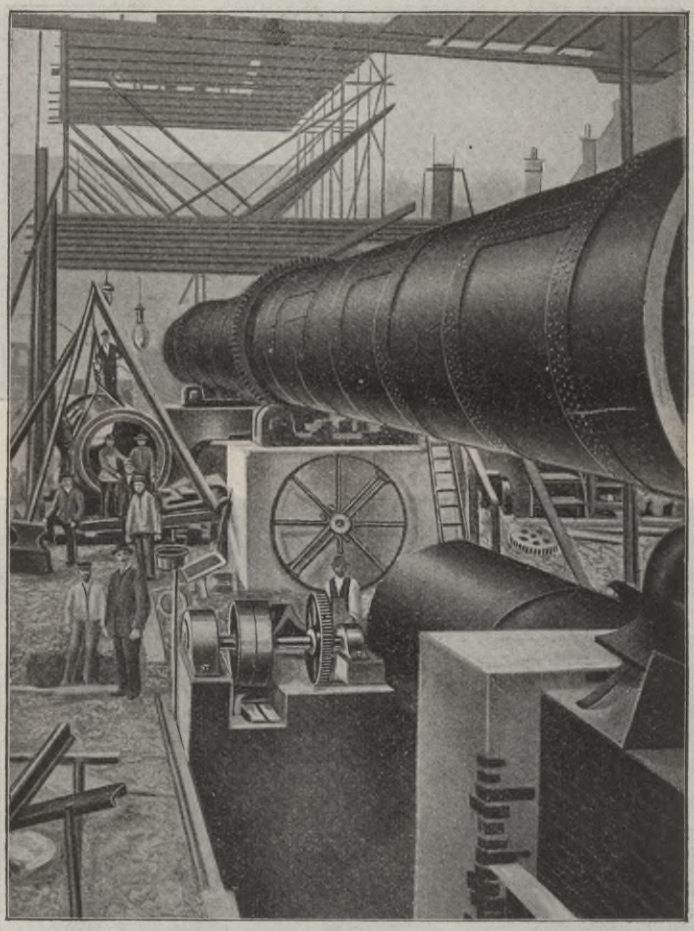


Fig. 5. Drehofen mit Klinkerkühler.

Neigung und Rotation des Rohres wandert es im Zickzack abwärts, von den entgegenströmenden Gasen getrocknet und fortschreitend erhitzt, bis es in der sog. Brennzone, welche gegen die übrigen Teile des Drehofens neuerdings vielfach erweitert ist, vollständig zur Sinterung gebracht wird. Am unteren Ende verlässt es, zu sogenannten Klinkern umgewandelt, den Apparat, um über eine sog. Schurre in ein zweites, bedeutend kleineres Drehrohr, den Klinkerkühler, gefördert zu werden, wo es durch Luftkühlung auf den für

die weitere Behandlung nötigen Grad abgekühlt wird. Die Anordnung des Klinkerkühlers ist aus Fig. 5 gut ersichtlich.

Die Wahl des Feuerungsmaterials wird je nach den örtlichen Verhältnissen auf Kohlenstaub, Teer, Naphta, bisweilen auch Generatorgas fallen; in der Zementindustrie ist die Kohlenstaubfeuerung die weitaus verbreiteste, und es dürften gegenwärtig etwa 1000—1200 Drehrohröfen mit solcher Feuerung in Betrieb sein. Welche Temperatur der Feuerungsflamme zu geben ist, hängt von der physikalischen Beschaffenheit des Rohmateriales ab; im allgemeinen kommt eine Anfangstemperatur von 1800—1900° C in Frage, während die Sinterung bei etwa 1500° stattfindet. Auch in bezug auf die Leistung des Drehrohrofens lassen sich genaue Zahlen nur unter Berücksichtigung aller in Betracht kommenden Faktoren angeben. Im allgemeinen kann bei einer Rohrlänge von 40—50 m und 2,50 m kleinstem und 2,80 m grösstem Durchmesser, die Verwendung von Steinkohlen mittlerer Heizkraft vorausgesetzt, mit einer Leistung von 100—120 Tonnen Zement (à 1000 kg) in 24 Arbeitsstunden gerechnet werden, wobei der Kohlenverbrauch ca. 20—25 % des Gewichts der fertigen Klinker beträgt; die zum Antrieb des Ofens genannter Länge selbst und des Gebläses für die Feuerung erforderliche Kraft bewegt sich zwischen 30 und 35 PS.

Soviel über die Konstruktion des Drehofens selbst; nun noch einiges über dessen Wirtschaftlichkeit unter besonderer Berücksichtigung der Anwendung desselben in der Kalkindustrie, in welcher er wohl nur deshalb Eingang noch nicht allgemein gefunden hat, weil in dieser Industrie der Wunsch nach Neuerungen und Verbesserungen bisher nicht so sehr von der Notwendigkeit diktiert war und daher eine abwartende Haltung leicht erklärlich erscheinen dürfte. Nichtsdestoweniger werden gerade in allerletzter Zeit vielfach Ansätze hierzu aus den verschiedensten Gegenden gemeldet und es steht ausser Frage, dass in nicht allzuferner Zeit der Drehofen ebenso in der Kalkindustrie festen Fuss gefasst haben wird, wie es beim Fortschreiten aus der chemischen in die Zementindustrie der Fall war. Naturgemäss wird man — wie es bereits geschieht — zunächst nicht mit den monströsen Längen von 40—50 m, sondern mit solchen von 20—30 m und auch mit geringerer Temperatur zu rechnen haben, da bei hydraulischen Kalken die Austreibung der Kohlensäure bereits bei etwa 900—1000° erfolgt, wobei eine Leistung von etwa 60—80 Tonnen (à 1000 kg) gebrannten Kalkes in 24 Stunden erzielt wird. Der Kohlenbedarf ist dabei, wie bei der Zementklinkererzeugung rund 25 % des fertigen Produkts, und der Kraftbedarf für den Antrieb geht auf etwa 18—20 PS. zurück, zumal in den meisten Fällen der natürliche Schornsteinzug die Anwendung eines besonderen Gebläses für die Feuerung überflüssig macht.

Um noch einiges über die Anschaffungskosten einer Drehofenanlage vorerwähnter Abmessungen zu sagen, sei bemerkt, dass je nach der geographischen Lage des Aufstellungsortes, den Verkehrsmitteln und bei mittlerer Konjunktur der Drehofen einschliesslich Lagerung, Antrieb und Feuerung ohne Ausfütterung und Fundamentierung auf 30—40 000 Mark zu stehen kommt; die zur Trocknung und Zerstäubung der Kohle nötige Anlage dürfte sich auf etwa 2500 Mark stellen, während zur Fundamentierung des Ofens und zur Herstellung der Rauchkanäle etwa 200—250 cbm Mauerwerk erforderlich sind.

Drehöfen der vorbeschriebenen Art werden ausgeführt von den Firmen Gebr. Pfeiffer, Kaiserslautern; G. Polysius, Dessau; Fellner & Ziegler, Frankfurt am Main-Bockenheim; F. L. Smith & Co., Kopenhagen-Berlin; Maschinenbauanstalt Humboldt, Kalk bei Köln; Amme, Giesecke und Konegen, Braunschweig.

Nun lässt sich anderseits nichts verkennen, dass der direkten Übertragung des in der Zement-Industrie bestens bewährten Drehofens in die Kalkindustrie doch auch schwerwiegende Bedenken gegenüberstehen.

Die Zementindustrie verlangt nach der intensivsten Temperaturentwicklung, um den Garbrand sicher zu erreichen. Diesem Verlangen kommt der Drehofen in bester Weise nach. Wie kein anderer gestattet er die Verbrennung mit der theoretischen Luftmenge und erreicht so den höchsten pyrometrischen Effekt. Die unausbleibliche Folge hiervon ist aber ein grosser Wärmeverlust durch Ausstrahlung, der tatsächlich gegen 30 % der angewandten Kohle ausmacht. Dieser Verlust ist unvermeidlich; eine Verminderung desselben muss unweigerlich die Haltbarkeit des Ofenfutters beeinträchtigen.

Dann ist es bereits eine Sache der Erfahrung, dass tonhaltige Kalke überhaupt nicht das Brennen in hohen Temperaturen vertragen; ja selbst die meisten Weisskalke leiden in der Qualität durch dieselben.

Nun kann man ja die Temperatur herabsetzen durch Brennen mit mehr Luft, oder, wie ein amerikanisches Patent dies bereits ausführt, durch Zusatz von Dampf. Es liegt auf der Hand, dass beide Mittel den Brennstoffverbrauch sehr ungünstig beeinflussen müssen.

Und doch ist für weite Strecken unseres deutschen Vaterlandes die gute Lösung der Frage, besonders Kreide und Wiesenkalk im Drehofen zu brennen, von ungeheuerer, volkswirtschaftlicher Bedeutung. Es könnten dadurch enorme Summen für unproduktive Frachten erspart werden und eine blühende Industrie sich im Osten entwickeln, wo im vaterländischen Interesse dies durchaus erwünscht ist.

Die Lösung ist in einer verblüffend einfachen Weise nun tatsächlich erfolgt durch das D. R. P. 207, 881. (Ferd. M. Meyer, Saarbrücken 2.)

Dasselbe geht von dem Gedanken aus, dass durch Einspritzen von Wasser in einen hocherhitzten Raum dieser sofort abgekühlt wird, und dass man durch die Menge des eingespritzten Wassers die Temperatur auf jeden beliebigen Grad ermässigen kann.

Wasser braucht zum Verdampfen 637 Wärmeeinheiten; zum Austreiben von 1 g Kohlensäure aus Kalkstein sind erforderlich 1000 Wärmeeinheiten.

Nun existiert allerdings noch ein grosser Unterschied zwischen beiden Prozessen: während der erste bis 100° noch sehr intensiv verläuft, hört letzterer bereits bei 750° im wesentlichen auf.

Nutzbar zum Kalkbrennen kann deshalb nur das Intervall gemacht werden, das über 750° liegt. Daraus ergibt sich, dass alle Mittel, die das Auftreten der höchsten Temperaturen vermeiden, notwendigerweise den Brennstoffverbrauch erhöhen müssen, da sie ja dies nutzbringende Intervall verkleinern.

D. R. P. 207, 881 löst nun die Aufgabe des Kalkbrennens unter höchster Ausnutzung des Brennstoffes, doch unter Innehaltung der gewünschten Brenntemperatur dadurch, dass es statt des in der Zementbrennerei üblichen und

notwendigen Gegenstroms in seinem Ofen den Parallelstrom anwendet, d. h. Kalkstein und Feuergase gehen in gleicher Richtung durch den Ofen.

Nach dem oben Ausgeführten ist die Wirkung leicht verständlich. Der Kalkstein kommt allerdings in höchste Temperaturen. Durch Abgabe der Kohlensäure kann er sich, so lange irgend erhebliche Mengen von unzersetztem Kalkstein vorhanden sind, nicht wesentlich über 750° erhitzen.

Demnach ist die im Ofen herrschende Endtemperatur die höchste, welche der Kalk annehmen kann. Dadurch nun, dass man mehr oder weniger Kalkstein in den Ofen einführt, kann man die Endtemperatur in weiten Grenzen halten.

Wir haben hier tatsächlich den ersten Ofen vor uns, der das scheinbar Unmögliche leistet, einmal mit den höchsten Temperaturen zu arbeiten, anderseits doch den Grad der Erwärmung fest zu begrenzen auf jede gewünschte Höhe. Ein derartiges Verfahren ist natürlich nur da zulässig, wo ein wärmebindender Prozess verläuft.

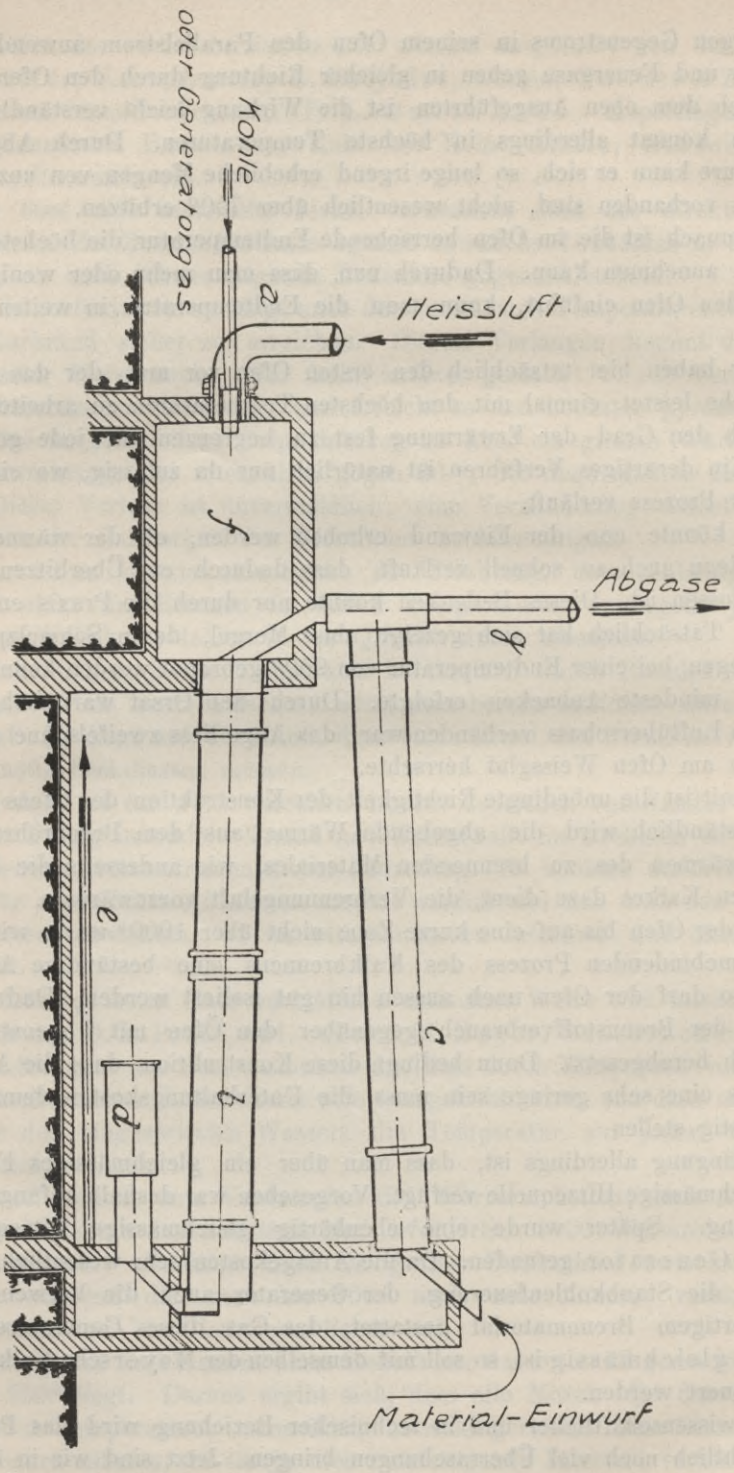
Es könnte nun der Einwand erhoben werden, ob der wärmebindende Prozess denn auch so schnell verläuft, dass dadurch ein Überhitzen wirklich ausgeschlossen ist. Dieses Bedenken konnte nur durch die Praxis entschieden werden. Tatsächlich hat sich gezeigt, dass Mergel, deren Schmelzpunkt bei 1150° liegen, bei einer Endtemperatur von 950° gebrannt werden konnten, ohne dass das mindeste Anbacken erfolgte. Durch den Orsat war nachgewiesen, dass kein Luftüberschuss vorhanden war; das Auge liess zweifelsohne erkennen, dass vorn am Ofen Weissglut herrschte.

Damit ist die unbedingte Richtigkeit der Konstruktion des Ofens erwiesen. Selbstverständlich wird die abgehende Wärme aus dem Brennrohre benutzt zum Vorwärmen des zu brennenden Materiales, wie anderseits die Hitze des gebrannten Kalkes dazu dient, die Verbrennungsluft vorzuwärmen.

Da der Ofen bis auf eine kurze Zone nicht über 1000° warm wird, durch den wärmebindenden Prozess des Kalkbrennens eine beständige Abkühlung eintritt, so darf der Ofen nach aussen hin gut isoliert werden. Dadurch wird natürlich der Brennstoffverbrauch gegenüber den Öfen mit Gegenstrom sehr wesentlich herabgesetzt. Dann bedingt diese Konstruktion, dass die Abnutzung des Ofens eine sehr geringe sein muss, die Unterhaltungskosten demnach sich sehr günstig stellen.

Bedingung allerdings ist, dass man über ein gleichmässiges Feuer und eine gleichmässige Hitzequelle verfügt. Vorgesehen war deshalb anfangs Kohlenausfeuerung. Später wurde eine ebenbürtig gleichmässige Hitzequelle im Morgan-Generator gefunden. Da die Anlagekosten sehr wesentlich geringer sind, als die Staubkohlenfeuerung, der Generator auch die Verwendung von minderwertigem Brennmaterial gestattet, das Gas dieses Generatores zudem überaus gleichmässig ist, so soll mit demselben der Meyersche Kalkdrehrohrofen befeuert werden.

In wissenschaftlicher und in technischer Beziehung wird das Patent uns voraussichtlich noch viel Überraschungen bringen. Jetzt sind wir in der Lage, unsere Mergel bei jeder gewünschten Temperatur brennen zu können. Nun werden wir Aufschluss erhalten können über das Verhalten von Mergel, dessen Kalkgehalt unter der bisher zum Brennen üblichen Grenze von 65% Kalzium-



karbonat liegt: ein Gebiet, das bislang weder wissenschaftlich noch technisch irgendwie erforscht ist, das uns aber jedenfalls noch viel Neues bringen wird. Ebenfalls wird nun auch die langumstrittene Frage einer einwandfreien Lösung

entgegen gehen, wie eigentlich Dolomite zu brennen sind, ob, wie berufene Forscher fordern, nur bis zur Zersetzung der Magnesia, oder, wie es die Praxis tut, bis zum Austreiben aller Kohlensäure. Es ist einleuchtend, dass im ersten Falle der Aufwand an Brennmaterial sich wesentlich geringer stellen wird, als im jetzt üblichen.

Zweifellos wird das genannte Patent eine bedeutende Umwälzung in der Kalkbrennerei hervorrufen. Gestattet es doch alle Kalksteine zu brennen, gleichgiltig, ob weich, ob fest, ob leicht, ob schwer schmelzbar, ob grob oder feinstückig. Ich glaubte deshalb im Interesse meiner Leser auf diese interessante Konstruktion ausführlicher eingehen zu sollen.

Die Ausführung des Ferd. M. Meyerschen Drehrohrofens (D. R. P. 207881) hat die Alpine Maschinenfabrik-Gesellschaft m. b. H., Augsburg, übernommen (siehe nebenstehende Skizze).

Ofen b: Brennofen. Damit die Gase bestmöglich ausgenutzt werden, sollen sie durch das Rohr c streichen. Hier kommen sie mit dem zu brennenden Stein zusammen, wärmen denselben an und werden dadurch selbst stark abgekühlt.

Der heisse Kalk fällt in das Kühlrohr ab. Hier muss er seine Wärme an die Luft abgeben, die dann in der Verbrennungskammer wieder zur Verwendung gelangt.

Nachstehend noch einige Worte über ein Generatorsystem, das in Amerika in der Kalk- und Zementindustrie Eingang gefunden und wie aus Betriebsberichten zu sehen mit den besten Erfolgen angewendet wird.

In Deutschland ist bislang dieser Generator in Zement- oder Kalkwerken nicht aufgestellt, was seinen Grund nur darin hat, dass die Gasfeuerung in diesen Betrieben noch sehr im argen liegt.

Der Morgangenerator, den die Maschinenfabrik Ehrhardt & Sehmer, Schleifmühle-Saarbrücken, als Lizenz noch immer baut, und der in Deutschland bereits in mehreren 100 Ausführungen vertreten ist, in Stahl und Walzwerken sowohl wie in chemischen Fabriken, Glashütten und Ziegeleibetrieben, ist in Abbildung 1 (Seite 28) im Schnitt dargestellt.

Der Morgangenerator ist als kontinuierlicher Apparat ausgeführt. Die Abschlackung geschieht während des Betriebes, ohne dass die Gasbildung in irgend einer Weise gestört wird. Die Kohlenaufgabe erfolgt durch eine rotierende Beschickungsvorrichtung (D. R. P. Nr. 159889), in welcher die Kohle durch eine besondere Vorrichtung verteilt und aus einem exzentrischen, der Kohlenart angepassten Streutrichter über die ganze Fläche des Generators ausgebreitet wird.

In kleineren Anlagen wird die Kohle vom Waggon auf die Beschickungsbühne abgeladen und von Hand in die Fülltrichter eingeschaufelt. Wenn mehrere Generatoren zu einer Batterie vereinigt sind, so werden über den Verteilapparaten Sammelbehälter angeordnet, die grössere Mengen Kohlen aufnehmen. Durch Öffnen eines Schiebers werden die Kohlen in die Beschickungsvorrichtung nach Bedarf herabgelassen.

Abbildung 2 (Seite 29) zeigt die Photographie einer grösseren Generatoranlage.

Bei den gebräuchlichen Generatoren anderen Systems wird in gewissen Zeiträumen eine grosse Kohlenmenge auf einmal aufgegeben. Von dieser entweichen zunächst die leicht flüchtigen Bestandteile und erzeugen ein an Kohlen-

wasserstoffen reiches Gas. Dann erhält man eine Zeitlang gutes Gas von normaler Zusammensetzung, dessen Qualität langsam abnimmt, bis der Gassstocher an dem Aussehen des Gases erkennt, dass er eine neue Kohlenmenge aufgeben muss.

Die gleichmässige Verteilung der Kohlen ermöglicht dagegen die Erzeugung eines absolut gleichmässigen Gases, während durch Änderung der Umdrehungszahl des Verteilers die in der Zeiteinheit erzeugte Gasmenge in weiten Grenzen reguliert werden kann.

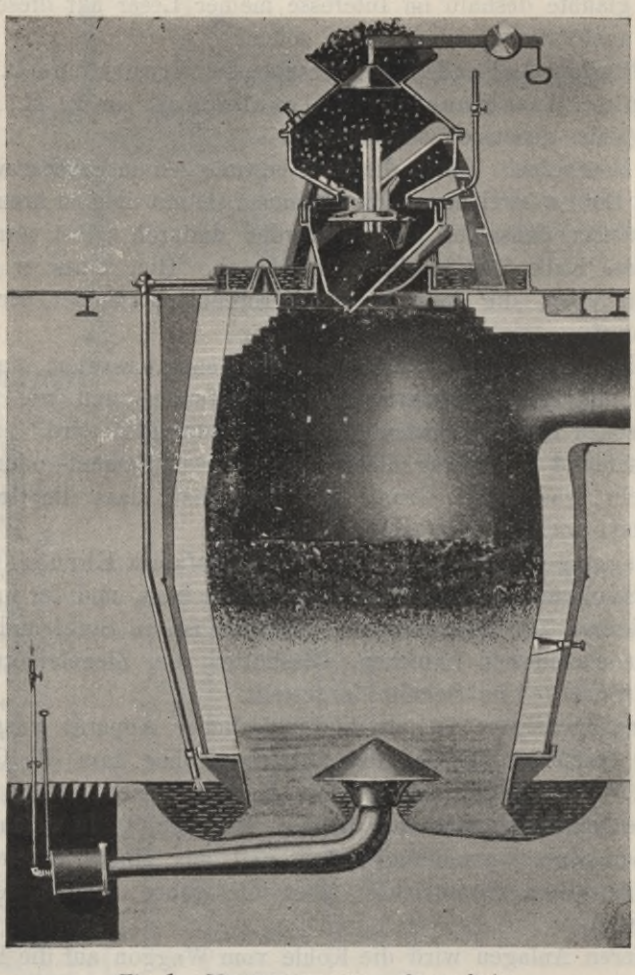


Fig. 1. Morgangenerator. Querschnitt.

Der Schacht ruht auf einem gusseisernen Ring, der in ein Wasserbassin eintaucht. Wie aus der Abbildung 1 ersichtlich, ruht die Beschickungssäule in diesem Bassin, aus dem in bestimmten Abständen die Asche herausgeschaufelt wird. Irgendwelche Störung findet beim Abschlacken nicht statt; wie aus den Betriebsresultaten ersichtlich ist, ändert sich die Gasqualität kaum merklich. Der Generator bleibt monatelang in Betrieb, ohne stillgesetzt zu werden. Das Abschlacken geschieht bei guten und mittleren Kohlensorten von Hand, kann aber bei Verwendung sehr aschereicher Kohle durch einen in der Schüssel

rotierenden Arm oder durch die Rotation der Schüssel selbst mechanisch bewirkt werden. Die automatische Abschlackung erhöht jedoch die Kosten des Generators auf das Doppelte; allerdings steigt auch die Leistung fast in demselben Masse.

Die Windzufuhr erfolgt durch ein zentrisch eingebautes Rohr, das mit einer kegelförmigen Schutzhaube überdeckt ist. Diese Haube ist so ausgebildet, dass eine Verstopfung des Windrohres mit Schlacke ausgeschlossen ist.

Die Kohlenschicht im Generator wird so gehalten, dass die Windhaube immer in der Asche steht; die Brennzone liegt etwa 20 cm höher. Beim Durchstreichen der Aschenschicht verteilt sich der Wind gleichmässig über den ganzen Querschnitt, und da die Beschickungsvorrichtung die Kohle gleichmässig über die ganze Fläche des Schachtes streut, so findet das aufsteigende Dampfluftgemisch überall den gleichen Widerstand und der Generator erzeugt ununterbrochen ein Gas von stets gleicher Zusammensetzung.

Um ein Verschlacken des Generators zu vermeiden, ist der Schacht bis in die Aschenschicht zylindrisch durchgeführt, so dass ein gutes Nachrutschen der Beschickung gewährleistet ist. Auch bei Vergasung aschereicher Kohle genügt der Morgangenerator in dieser Form; für besonders schwer zu verarbeitende Kohlensorten, die eine Asche mit sehr niedrigem Schmelzpunkt haben, kann man die Schachtwände mit Wasserkühlung versehen.

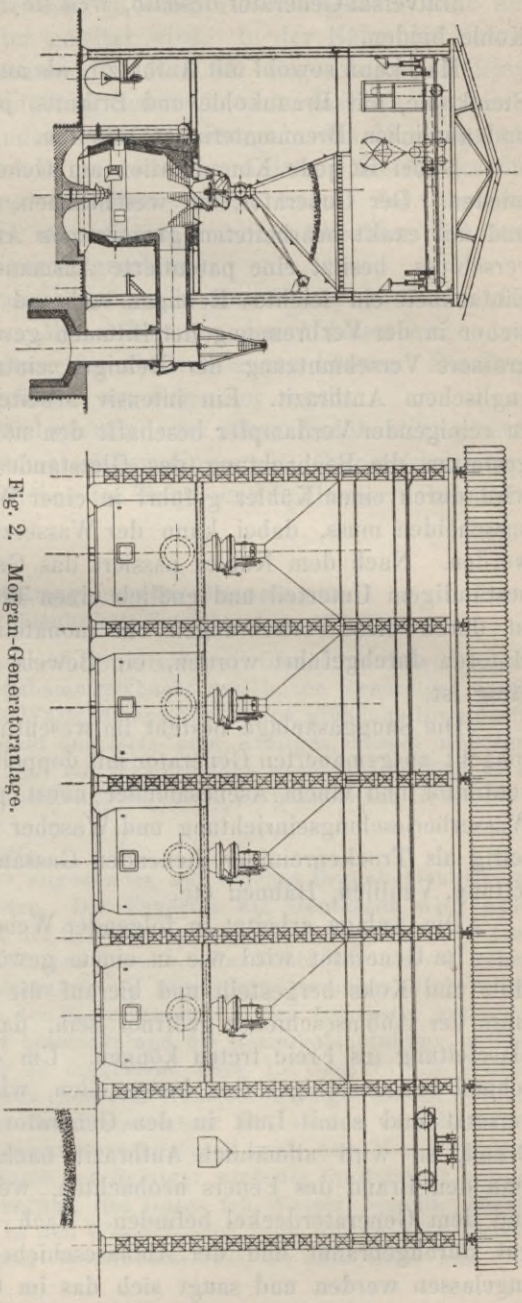


Fig. 2. Morgan-Generatoranlage.

Die Ausnutzung des Brennstoffes ist fast vollkommen. In der Asche gehen höchstens 1—1,5% Kohle verloren.

Im Anschluss an diese Ausführungen mache ich auf die Universal-Sauggenerator-Gasanlage der A.-G. Dresdener Gasmotorenfabrik vorm. Moritz Hille, Dresden, aufmerksam.

Es sind dies die neuesten Erzeugnisse vorstehender Firma, die sie nach langen genauen Prüfungen auf ihre Zuverlässigkeit und günstigen Verbrauch, sowie grosse Leistungsfähigkeit auf den Markt gebracht hat.

Universal-Generator deshalb, weil sie nicht mehr an den Betrieb mit einer Kohle binden.

Man kann sowohl mit Anthrazit, als auch mit Koks, mit Holz, mit magerer Steinkohle, mit Braunkohle und Briketts, ja bei entsprechender Güte mit Torf und ähnlichen Brennmaterialien arbeiten.

Dabei ist jede Komplikation am Generator, wie an den Apparaten vermieden. Der Generator, im wesentlichen aus Schmiedeeisenblech hergestellt und mit exakt bearbeiteten gusseisernen Armaturen, sowie doppeltem Einfüllverschluss, besitzt eine patentierte Ausmauerung aus Schamotte, die bei ihrer Einfachheit ein leichtes Reinigen während des Betriebes gestattet und doch sicher in der Verbrennung der Bitumen gewisser Brennstoffe wirkt, dass keine grössere Verschmutzung der Reiniger eintritt, als bei Betrieb mit reinstem englischem Anthrazit. Ein intensiv arbeitender, evtl. während des Betriebes zu reinigender Verdampfer beschafft den nötigen Wasserdampf, Schauöffnungen gestatten die Beobachtung des Glutstandes und der Verbrennung. Das Gas wird durch einen Kühler geführt in einer Weise, dass jede Unreinlichkeit sich ausscheiden muss, dabei kann der Wasserzufluss auf ein Minimum eingestellt werden. Nach dem Kühler passiert das Gas den üblichen Skrubber mit rostbeständigem Unterteil und endlich einen Trockenreiniger. Mit Steinkohle etc. ist durch diese Vorkehrungen ein monatelanger Betrieb ohne Reinigung der Motoren durchgeführt worden, ein Beweis dafür, dass die Erfindung marktfähig ist.

Die Sauggasanlage besteht im wesentlichen aus dem mit einem Schamotteschacht ausgemauerten Generator mit doppeltem Einfüllverschluss, einem Anlassventilator und einem Aschesammler nebst patentiertem Verdampfer; dem mit Wasserberieselungseinrichtung und Wascher ausgerüsteten Skrubber, dem gleichzeitig als Trockenreiniger dienenden Gassammeltopf und der gesamten Rohrleitung, Ventilen, Hähnen etc.

Die Anlage arbeitet in folgender Weise:

Im Generator wird wie in einem gewöhnlichen Stubenofen ein Feuer von Holz und Koks hergestellt und hierauf die Fenstertüren geschlossen. Hierbei muss der Abblaseschieber geöffnet sein, damit die Rauchgase durch die Abblaseleitung ins Freie treten können. Um das Feuer rasch zu entfachen und schnell betriebsfähiges Gas herzustellen, wird der Ventilator in Umdrehungen versetzt und somit Luft in den Generator gedrückt. Ist die Kohle gut in Brand, so wird allmählich Anthrazit nachgefüllt. Durch Schaulöcher kann man den Brand des Feuers beobachten, welche Löcher sich in der Feuertür und dem Generatordeckel befinden. Nach etwa 15 Minuten ist die Füllung gut durchgebrannt und der Abblaseschieber zu schliessen. Der Motor kann angelassen werden und saugt sich das im Generator erzeugte Gas durch den Aschesammler, Skrubber und den Gassammeltopf selbsttätig an. Das Anblasen mit dem Ventilator ist alsdann einzustellen. Beim Passieren des Aschesammlers bestreicht das Gas die Aussenwände der Einrichtung zur Dampferzeugung D. R. P., welche durch sichtbaren Wasserzufluss genau eingestellt werden kann.

Im Skrubber muss das Gas durch eine Waschvorlage treten und wird nachdem noch durch eine gegen den Gasstrom fliessende, genau einstellbare Wasserberieselung weiter gereinigt. Das Spülwasser läuft aus dem Skrubber durch ein unter Wasserverschluss stehendes Rohr in einen verschlossenen Bottich mit Überlauf, von wo aus es dann weiter geleitet wird. In der Nähe des Motors wird in die Gasleitung ein Gassammeltopf D. R. G. M. eingeschaltet, welcher einen Zwischenboden mit Eisenspanfüllung hat, wo sich das Gas nochmals selbstätig reinigt. Vor der Einmündung der Gasleitung in den Motor ist ein Probierhahn vorgesehen, durch welchen man vor dem Anlassen des Motors die Güte des Gases durch Entzündung desselben prüfen kann. Zur besseren Reinigung des Gases ist von 60 PS. an aufwärts zwischen Skrubber und Gassammeltopf noch ein Sägespänereiniger vorgesehen.

Während kürzerer Betriebspausen und auch über Nacht lässt man das Feuer im Generator weiter brennen. Man öffnet nur den Abblaseschieber, so dass die Gase durch die Ausblaseleitung ins Freie gelangen können. Die Zugverhältnisse kann man durch Luftschieber am Generator regeln.

Bevor der Generator zu Betriebspausen oder über Nacht still gesetzt wird, wird das Nachfüllen von Brennmaterialien eingestellt. Ferner wird einige Minuten vor dem Stillstande des Betriebes das Tropf- und Spülwasser abgestellt.

Beschreibung der Sauggenerator-Gasanlagen
für Braunkohlenbrikett-Betrieb.

Die Sauggenerator-Gasanlage der A. G. Dresdener Gasmotorenfabrik vorm. Moritz Hille besteht aus einem mit Schamotteschacht versehenen Generator, durch welchen vom Motor Luft vermischt mit Wasserdampf durch eine glühende Brennstoffschicht gesaugt wird. Hierdurch entsteht das Heiz- oder Kraftgas, dessen Heizwert durch Vermischung der angesaugten Luft mit Wasserdampf wesentlich erhöht wird. Nachdem das Kraftgas noch verschiedene Reinigungsapparate passiert hat, ist dasselbe zum Betriebe des Motors verwendbar.

Die Anlage funktioniert wie folgt:

Im Generator wird ein Holzfeuer angezündet, auf welches Braunkohlenbriketts in mässiger Höhe aufgeschüttet werden. Die Feuertür am Generator wird nach Anzünden des Feuers geschlossen und der Schieber so eingestellt, dass die Rauchgase durch die Ausblaseleitung ins Freie gelangen können. Das Feuer wird durch Drehen des Ventilators angefacht und in Zwischenpausen, unter fortwährendem Drehen des Ventilators Braunkohlenbriketts durch den Speisebehälter in den Generator gebracht.

Sobald der Generator genügend beschickt und die Braunkohlenfüllung in Glut geraten ist, wird der Abblaseschieber so umgestellt, dass die Gase in die Waschvorlage eintreten, wo sie durch Passieren mehrerer Wasserschleier gewaschen werden. Aus dem Wascher treten die Gase in den Koksreiniger und werden von da durch den Sägespänereiniger und dem Gassammeltopf hindurch nach dem Motor geleitet. Während des Durchganges der Gase durch den Reiniger wird der im Reiniger befindliche Koks zwecks Kühlung und Reinigung des Gases mit Wasser bespült. Dieses Spülwasser läuft aus dem Reiniger in den Wasserbottich, von wo dasselbe weitergeleitet wird. Der Abfluss steht unter Wasserverschluss, so dass Gase aus dem Reiniger nicht entweichen können.

Von dem Reiniger gelangen die Gase in den Sägespänereiniger und von da in einen Gassammeltopf, D. R. G. M. Letzterer enthält einen mit groben schmiedeeisernen Drehspänen gefüllten Einsatz, durch den ein Zurückschlagen der entzündeten Gase in die Apparate unmöglich gemacht wird. Dem gleichen Zwecke dient der im Koksreiniger befindliche, den Wasserabschluss bildende grosse Tauchring.

Zwischen Reiniger und Motor und zwar in nächster Nähe des letzteren ist ein Probierhahn zum Prüfen des Gases angebracht. Das Gas ist zum Betrieb verwendbar, wenn es mit gleichmässiger rötlich blauer Flamme aus dem Rohre des Probierhahnes brennt.

Der Motor kann hierauf angelassen werden. Wenn der Motor im Gange ist, wird das Drehen des Ventilators eingestellt, die Zugöffnungen in der Feuertür geöffnet und Tropfwasser in den Generator geleitet. Der Generator wird dann nach und nach voll gefüllt. Die Brennstoffschicht wird dann auch während des Betriebes auf gleicher Höhe gehalten. Der Stand des Feuers lässt sich durch das im Deckel befindliche Schauloch stets beobachten.

Während kürzerer Betriebspausen und auch über Nacht lässt man das Feuer im Generator weiterbrennen. Man schaltet nur den Abblaseschieber um, so dass die Gase durch die Ausblaseleitung ins Freie gelangen können. Zur Erreichung besserer Zugverhältnisse kann auch die Feuertür am Generator etwas geöffnet werden.

Bevor der Generator zu Betriebspausen oder über Nacht abgestellt wird, ist das Nachfüllen von Brennstoffen zu unterbrechen. Ferner wird das Tropfwasser, welches in den Generator geleitet wird, einige Minuten vor dem Stillstande des Betriebes abgestellt.

Beschreibung und Vorteile der Feinkohlen-Sauggenerator-Gasanlagen.

D.R.P. und Auslandspatente.

Durch die ausserordentlich grosse Aufnahme, welche die Anthrazitnuss-Sauggasanlagen infolge ihrer absoluten Betriebssicherheit erfahren haben, ist der Preis des dafür verwendeten Anthrazits, Korngrösse 12/15 mm, ständig gestiegen, während es für die beim Sortieren gewonnene Anthrazitfeinkohle, Körnung 1—10 mm, eine geeignete Verwendung für gewerbliche Zwecke nicht gab, es sei denn, dass man dieselbe in Brikettform in den Handel brachte. Nach umfangreichen Versuchen gelang es, diese Feinkohle in einem geeigneten Generator zu vergasen und ein Gas daraus zu gewinnen, welches sich unter anderm vorzüglich zum Betriebe von Gasmotoren eignet und somit eine Kraftquelle zu erschliessen, welche ausserordentlich wirtschaftlich ist.

Die Feinkohlen-Sauggasanlage D. R. P. ist ebenso einfach wie die bewährte Anthrazit-Sauggasanlage. Sie besteht im wesentlichen aus einem mit einem Schamotteschacht ausgemauerten Generator mit doppeltem Einfüllverschluss und eingebautem Dampferzeuger, einem am Generator angebrachten Anblaseventilator, einem als Wascher ausgebildeten Nass-Reiniger mit Wasserberieselung, an den sich noch ein Trockenreiniger anschliesst. Dient die Anlage zum Motorbetrieb, so wird zu dieser noch ein Gassammeltopf als Druckregler geliefert.

Die Sauggasanlagen in Verbindung mit dem Sauggasmotoren-Modell SOE bilden zur Zeit die billigste und zuverlässigste Betriebskraft. Der Brennstoffverbrauch des an und für sich sehr billigen Brennmaterials beträgt je nach Grösse des Motors bei Höchstbelastung während des Betriebes gemessen, pro Stunde und effektive Pferdekraft ca. 0,45—0,55 kg Anthrazit-Feinkohle von 8400 W. E. und höchstens 6 % Asche und Schlackengehalt. Statt Anthrazit-Feinkohle kann auch Koksrus und Rauchkammer-Lösche zur Beschickung des Generators verwendet werden.

Besonders hervorzuheben ist, dass sich bei jeder gewöhnlichen Sauggasanlage ohne erhebliche Schwierigkeiten ein Feinkohlengenerator einbauen lässt. Die bestehenden Reinigungsapparate können meist benutzt werden, und es ist dann nur erforderlich, an Stelle des gewöhnlichen Generators einen solchen für Feinkohlenbetrieb einzubauen.

Es soll noch hinzugefügt werden, dass die Generatoröfen einen ganz vorzüglichen, reinen und grossstückigen Kalk liefern, aber nur dann rentabel sind, wo minderwertige oder Abfallkohle bei ev. ebenfalls billiger Fracht, wie z. B. Wassertransport, zur Verfügung steht.

Zum passenden Ofensystem tritt nun als weitere Grundbedingung für die Erzeugung eines brauchbaren hydraulischen Kalkes der ordnungsmässige, den Eigenschaften des Rohmaterials gewissenhaft angepasste Brand. Namentlich der Wasserkalk in Stücken, als Handelsware, verlangt, da er einer weiteren Aufbereitung durch Mühle und Sieb nicht unterliegt, einen durchaus milden Brand, zur Vermeidung später im Mörtel auftretender Sprengkörper. Über die Höhe der Temperatur und die Dauer des Brandes lassen sich nun keine bestimmten Regeln aufstellen; Hitzegrad und langsames oder rasches Feuer hängen wesentlich ab von der naturgemäss abwechslungsreichen chemischen und manchmal auch physikalischen Natur des Rohmaterials. Im allgemeinen lässt sich jedoch wohl sagen, dass, wenn der in Säuren unlösliche Bestandteil des Mergels ausschliesslich oder vorwiegend aus Kieselerde (Quarzsand) besteht, eine gelinde, aber anhaltende gleichmässige Hitze anzuwenden ist. Enthält er ausschliesslich oder vorwiegend Ton, so ist eine schärfere Hitze von kürzerer Dauer vorzuziehen (Pettenkofer); ferner, je höher der Silikatgehalt steigt, desto vorsichtiger ist der Brennprozess zu leiten: die Mergel müssen um so schwächer gebrannt werden, je höher der Silikatgehalt steigt (Feichtinger).

Bei der schwankenden chemischen Zusammensetzung der Mergel in ein und demselben Bruch, oft sogar im gleichen Flötz, ist ein ebenso wechselndes Brenngut zu erwarten, evtl. zu befürchten, auch was den Brand anbetrifft. Bessere, grössere Werke analysieren daher in eigenen Laboratorien von Zeit zu Zeit ihr Rohmaterial. In vielen Fällen genügt schon der Augenschein des Fachmannes zur Erkennung der verschieden hydraulischen Steine; mitunter versagt aber dieses Reagenz total.

Es ist weiter zu beachten, dass die Kalkmergel und die Mergel, weil sie weniger kohlensauren Kalk, also weniger auszutreibende Kohlensäure enthalten, wie der zur Fabrikation von Weissfettkalk dienende gewöhnliche Kalkstein, einer weniger hohen Temperatur zum Brennen bedürfen, wie dieser. Man hat die Hitzegrade ermittelt für:

Kalkstein zu 1100—1250° (in manchen Fällen, z. B. für Harzer Marmorkalk sogar 1400°)
Kalkmergel zu 1100°
Mergel „ 800—1000°
(Romanzement zu einer den hydraulischen Steinen nahestehenden Temperatur
Portland-Zement zu 1300—1450°).

Bei etwa 400—500° beginnt die Kohlensäure zu entweichen; eine flotte Entsäuerung tritt bei 700—900° ein, zum nahezu gänzlichen Verflüchtigen des Restes und zur Erzeugung der verschiedenen Kalke sind die obigen verschiedenen Temperaturen erforderlich.

Je schneller beim Brennen die Kohlensäure abgeführt wird, desto leichter wird sie auch vom Stein abgegeben. Hieraus ist zu folgern, dass man für einen möglichst flotten Zug sorgen muss, der aber nicht wechseln soll.

Chemischer Vorgang beim Brennprozess. „Unlösliches“, „lösliche“ Kieselsäure, Hydraulefaktoren, Aufschliessen.

Welche Vorgänge finden nun bei dem Brennen der Mergel statt? Bevor wir jetzt ins einzelne gehen, seien namentlich zum verständnisvollen Lesen

einer Analyse und Verständnis des Brandes die Begriffe „Unlösliches“, „lösliche Kieselsäure“, „Hydraulefaktoren“ und „Aufschliessen“ erklärt.

Alle Kalksteine, sowie die mehr oder weniger durch einen Gehalt an toniger Substanz charakterisierten Mergel brausen, wie wohl Manchem bekannt, mit Säuren, wie Salzsäure und Salpetersäure, auf, unter Abgabe von Kohlensäure. Die sozusagen chemisch reinen Kalksteine, die Marmore, lösen sich dabei gänzlich zu Chlorcalcium oder salpetersaurem Kalk auf. Die tonigen oder tonig-sandigen Arten, die Mergel, liefern dagegen ausser den genannten löslichen Kalksalzen einen unlöslichen Rückstand von Ton und Sand.

Wiederholen wir jetzt das in Kapitel I Gesagte. Ton ist keine einheitlich chemische Verbindung. Als wasserhaltige Kieselsäure, Tonerde mit Eisenoxyd führt er noch mechanisch eingestreute, unzersetzte alkalienhaltige Feldspat- oder Glimmerpartikel oder sonstige pulverige, mehr oder weniger verwittterte Doppelsilikate, ferner freie Kieselsäure in amorphem Zustande (Opal) und in krystallinischem (Quarz, Sand) mit sich, wenn auch in der Regel in verschwindenden Mengen, wenigstens als „Tonsubstanz“ des Mergels. Opal ist wasserhaltige Kieselsäure SiO_2+4H_2O, löslich in Alkali, und in dieser Lösung wieder durch Säuren abscheidbar. Also, wie noch gezeigt werden soll, lösliche, hydraulische Kieselsäure. Als glasige Masse mit muscheligem Bruch gleicht er einer eingetrockneten Gallerte. Der Quarz oder Sand von krystallinischem Gefüge ist Kieselsäure ohne Wasser — SiO_2 — und in diesem Zustande nicht hydraulisch*). Glüht man nun diesen, mit Säuren aus dem Mergel abgeschiedenen Rückstand, also die „Tonsubstanz“ (Ton, sonstige Silikate, Opal und Sand) mit Kali oder kohlensaurem Kali (Pottasche), so zersetzt sich der Ton und wird in kieselsaures Kali und Tonerde-Kali (kieselsaures Kali ist der bekannte mineralische Leim, das Wasserglas) übergeführt; aus der Kieselsäure der anderen Silikate, des Opales und des Sandes resultiert ebenfalls kieselsaures Kali. Ein gleicher Prozess geht bei dem Glühen mit Ätzkalk oder kohlensaurem Kalk unter Bildung von kieselsaurem Kalk und Tonerde-Kalk vor, Verbindungen, welche die Eigenschaft haben, mit Wasser und unter Wasser zu erhärten. Aus diesen Salzen kann man durch Säuren die Kieselsäure leicht als eine in viel Wasser lösliche, wasserhaltige (hydratische) Gallerte abscheiden. Das Glühen nennt man nun das Aufschliessen der Silikate, weil die Kieselsäure in die gallertartige, verbindungsfähige, aktive, lebendige, hydratische, lösliche**), hydraulische, aufgeschlossene Modifikation übergeführt worden ist. Gleichfalls sind die Tonerde und das Eisenoxyd hydraulisch geworden. Bei kalter Behandlung von Sand mit Kalk, wie u. a. bei der Bereitung des gewöhnlichen Luftmörtels, tritt — das weiss jeder Fachmann — eine solche aufschliessende Reaktion nicht ein; nach Wochen noch kann man den Mörtel ausschlemmen.

Ein Naturaufschlussprodukt im grossen zeigen uns der zu den Schwemmsteinen verwendete hydraulische Bimssand und der vorzügliche hydraulische Tuff (Trass), vulkanische unter Mitwirkung des Wassers entstandene Gesteine, welche sich ebenfalls durch Säuren, allerdings nur teilweise, zersetzen lassen

*) Gemenge von quarziger oder opaliger Kieselsäure sind Feuerstein und Kieselsinter. Beide haben hydraulischen Charakter. Den ersteren findet man häufig als Zuschlag in altrömischen Mörteln am Rhein.

**) In 1400—7700 Teilen Wasser, zudem in Alkali löslich.

und die lösliche Kieselsäure in ebenfalls gallertartigem Zustande abscheiden. Die Menge dieser abscheidbaren hydratischen Kieselsäure bedingt naturgemäss den Grad der Hydraulizität.

Ein Aufschluss „im kleinen", ist das Anbacken des Ofenkessels, die jedem Kalkbrenner bekannte und gefürchtete Erscheinung. Hier tritt der Ätzkalk des Steines mit der Tonsubstanz der Ziegelsteine oder sog. feuerfesten Steine des Ofentrichters in ein Verhältnis: eine Verbindung, die nur durch Abstossen oder Übergiessen mit Wasser wieder getrennt werden kann*).

Brennt man also einen Kalkmergel, so schliesst der kohlensaure Kalk desselben unter gleichzeitigem Übergang in Ätzkalk — $CaCO_3 = CaO + CO_2$ — die Tonsubstanz und den ev. Sand auf, d. h. er lockert die Verbindung in dem Masse, dass sie nach dem Erkalten mit Wasser in Berührung gebracht, zerfällt und zwar in der Weise, dass Kieselsäure und Tonerde zuerst durch Aufnahme von Wasser in den verbindungsfähigen Zustand (Kieselsäurehydrat und Tonerdehydrat) übergehen und dann sogleich an den Kalk treten. Beide bilden mit diesem in Wasser unlösliche erhärtende Verbindungen von Kalksilikat (Kieselsaurer Kalk) und Kalkaluminat (Tonerde-Kalk) und Kalkferrat (Eisen-Kalk).

Die lösliche Kieselsäure, die Tonerde und das Eisenoxyd der gebrannten Kalkmergel nennt man die Hydraulefaktoren.

Tritt ferner in den tonigen Kalksteinen noch Magnesia als wesentlicher Bestandteil auf, so haben wir es mit den dolomitischen Mergeln, dem Rohmaterial einer ganzen Anzahl vorzüglicher Wasserkalke, wie solche ersteren an der Mosel und in der Gegend von Bingen (Rhein) manchmal auftreten, sowie dem Förderstedter Natur-Zement-Kalk, dem Braunsdorfer-Dolomit-Zement usw. zu tun. Da nun die später noch zu besprechende Erhärtung der hydraulischen Kalke unter Wasser in erster Linie der Bildung sehr basischer Kalkhydratsilikate, dass heisst Hydrosilikate mit viel Kalk, zuzuschreiben ist, so darf die Einwirkung zwischen Ton und Kalk im Ofen nicht so weit getrieben werden, dass diese im Feuer gebildete Verbindung auf nassem Wege keinen Kalk mehr aufzunehmen vermag. Die Kalkmergel dürfen daher nur so stark gebrannt werden, dass die Kohlensäure möglichst vollständig ausgetrieben, der Ton vollständig oder beinahe vollständig aufgeschlossen und noch eine beträchtliche Menge freien Kalks nach dem Brennen vorhanden ist (Feichtinger). Namentlich verlangt der Wasserkalk in Stücken zur Vermeidung von überbrannten Partikeln (Sprengkörner) ein mässiges Feuer; desgleichen die dolomitischen Mergel. Der Brennprozess bei den sandigen Kalkmergeln ist ebenfalls vorsichtig zu führen und das mehr oder minder gute Brennergebnis hängt von der Grösse des Sandkornes, bzw. von der Dauer und

---

*) Das letztere Verfahren zur Beseitigung von Schmolz halte ich allerdings, in Übereinstimmung mit erfahrenen Praktikern, für ebenso einfach wie verwerflich. Manche Werke verbieten geradazu ihren Brennern strikte ein für allemal zur Beseitigung angebackener Massen die Verwendung von Wasser, da die Lebensdauer des Ofenfutters dadurch ganz beträchtlich herabgesetzt wird. Man muss im Gegenteil von einem zuverlässigen Brenner verlangen, dass er die Anbackungen mit einer Stange losarbeitet. Diese Arbeit ist allerdings viel mühseliger als diejenige mit der Wasserdouche.

Stärke des Feuers ab. Diese Vorschrift gab Feichtinger in seinem vorzüglichen Werk „Die chemische Technologie der Mörtelmaterialien“ und zwar 1885, also zu einer Zeit, wo man den „gemahlenen“ in Deutschland noch nicht eingeführt hatte. Heutzutage, nachdem der Wasserkalk in Stücken weniger Anwendung findet und der Sackkalk auf der Höhe ist, muss hinzugefügt werden, dass gerade die überbrannten Teile dem Kalk seine hydraulischen Eigenschaften geben und man bei mildem Brande viel Ungares im Brenngut finden würde. Mit anderen Worten: der Silo, d. h. die Dämpfekammer, die Mühle und das Sieb machen wieder alles gut.

Besonderes Interesse verdient der rund 17 % Quarz enthaltende Kalkstein, welcher den berühmten „Chaux du Theil“ (Frankreich) liefert, mit etwa 24 % löslicher Kieselsäure im gebrannten Kalk. Die nahezu glatte Überführung der quarzigen unhydraulischen Kieselsäure in die lösliche hydraulische Modifikation zeigt folgende Gegenüberstellung:

Nach Rivot enthält ein Chaux du Theil (siehe übrigens auch die Analysen auf den später folgenden Tabellen) als Mergel 81,97 in Salzsäure lösliches $CaCO_3$, in Salzsäure unlösliche 0,81 % Al_2O_3, 16,89 % SiO_2 und 1,23 % H_2O.

Auf diesem Papiere ausgerechnet, müsste er nach erfolgreichem Brennen, d. h. nach Entweichen der Kohlensäure und des Wassers und nach Aufschliessen des Tons und des Sandes 45,40 Teile CaO, 0,81 Teile Al_2O_3 und 16,89 Teile SiO_2 = 63,10 Teile feste Substanz ergeben. Oder es wären in 100 Teilen derselben nach den Gleichungen

63,10 : 45,40 = 100 : q q = 71,95 % CaO
63,10 : 0,81 = 100 : r r = 1,28 % lösliche Tonerde
63,10 : 16,89 = 100 : s s = 26,77 % lösliche Kieselsäure.

Derselbe französische Chemiker Rivot fand nun in einer Probe des Chaux du Theil 75,18 % CaO, 1,28 % Al_2O_3 und 23,60 % SiO_2 und zwar die Tonerde Al_2O_3 und den Quarz SiO_2 gänzlich aufgeschlossen. Die von mir theoretisch berechneten und von Rivot durch die Analyse ermittelten Zahlen stimmen ja allerdings nicht genau überein. Aber dies ist erklärlich, denn die Rohsteine des Chaux du Theil und daher letzterer selbst, wechseln in ihren einzelnen Bestandteilen, wenn auch nicht erheblich.

Diese elegante Hydraulifizierung durch den Brand beruht einzig und allein in der durchaus feinen Form des Sandes. Auf diesen Kalk mit seiner berühmten Haltbarkeit, besonders im Seewasser, passt die auf S. 10 aufgeführte Hauenschildsche Grundregel mit den „5 % Kieselsäure in maximo“ allerdings nicht.

Inwieweit also ein toniger oder sandiger Kalkstein durch den Brand aufgeschlossen, d. h. hydraulisch geworden ist, stellt, wenn von der mörteltechnischen Untersuchung vorerst abgesehen werden soll, die chemische Analyse fest. Diejenige des Steins gibt schon dem Fachmann in den meisten Fällen einen guten Fingerzeig; ausschlaggebend jedoch ist einzig und allein die chemische Zusammensetzung des gebrannten Kalks. Behandelt man die Wasserkalksteine mit Säure, so wird der unter geeigneten Manipulationen ermittelte, in dieser nicht lösliche Rückstand, in der Hauptsache ein Gemisch von unwirksamem Ton und Sand aufweisen, welches also zu

seinem Aufschluss des Feuers bedarf. In der Regel wird der Ton gänzlich oder zum grössten Teil, der Sand nur in feinst zerteilter Form (Schluff-, Staub-, Feinsand) aufgeschlossen.

Die einerseits vollkommene und anderseits partielle Aufschliessbarkeit von tonhaltigen, nicht sandigen Mergeln sollen die zwei folgenden Beispiele klarlegen.

a) Ein Kalkmergel von Holkin-Mountain bei Holywell in Flintshire enthält nach Muspratt:

Vor dem Brand:			Nach dem Brand:		
In Salzsäure löslich	kohlensaurer Kalk	86,87	In Salzsäure löslich	Kalk	81,44
	kohlensaure Magnesia	3,90		Magnesia	3,11
In Salzsäure unlöslich	Tonerde-Eisenoxyd	4,23		Tonerde-Eisenoxyd	7,08
	Kieselsäure	5,00		Kieselsäure	8,36
		100,00	Unlöslich	—	—
					99,99

Theoretisch muss dieser Stein bei dem Brand 40,26 Kohlensäure verlieren, indem sich 48,65 % Ätzkalk + 1,86 % Magnesia bilden. Rechnet man zu diesen die 4,23 % Tonerde-Eisenoxyd + 5,00 % Kieselsäure, so erhält man 59,74 Teile geglühte Substanz. Eine prozentuale Rechnung

$$59{,}74 : 48{,}65 = 100 : v$$
$$59{,}74 : 1{,}86 = 100 : x$$
$$59{,}74 : 4{,}23 = 100 : y$$
$$59{,}74 : 5{,}00 = 100 : z$$

ergibt nun für v 81,44 % Kalk, für x 3,11 % Magnesia, für y 7,08 % Tonerde-Eisenoxyd und für z 8,37 % Kieselsäure. Diese theoretischen Zahlen stimmen nun erstens mit den analytisch ermittelten auf ein Haar überein; ferner finden wir die vorher in Salzsäure unlösliche Eisenoxyd-Tonerde, sowie die Kieselsäure nach dem Brande nicht mehr unter dem Unlöslichen vor; diese drei Bestandteile sind gänzlich aufgeschlossen, gelöst, hydraulisch, zu Hydraulefaktoren geworden.

b) Ebenso lehrreich, allerdings den Brennprozess eines tonreichen „Mergels" beleuchtend, aus dem, wie vorausgeschickt, die Roman-Zemente gebrannt werden, ist folgendes Beispiel. Nach Carl Knaus (Dingl. pol. 7.[135], 361) hatte ein englischer Kalkzementstein aus der Grafschaft Essex, der den sog. Harwich-Zement liefert, folgende Zusammensetzung:

Vor dem Brand I			Nach dem Brand II			Im geglühten Zustand, also nach Abzug der Kohlensäure des Kalzium- und Magnesiumkarbonats und des Wassers, würden sich folgende Zahlen für den gebrannten Mergel ergeben:	
In Salzsäure unlöslich	Quarz	12,3	In Salzsäure unlöslich	Quarz	8,3	Quarz	12,3
	Kieselerde	9,0		Kieselerde	0,5	Kieselsäure	9,0
	Eisenoxyd	1,9		Eisenoxyd	1,7	Eisenoxyd	1,9
	Tonerde	2,4		Tonerde		Tonerde	2,4
		25,6			10,5		25,6
In Salzsäure löslich	Kieselerde	0,6	In Salzsäure löslich	Kieselerde	17,4	Kieselsäure	0,6
	Eisenoxyd	6,3		Eisenoxyd	12,4	Eisenoxyd	6,3
	Manganoxyd	Spur		Manganoxyd	—	Manganoxyd	—
	Tonerde	1,1		Tonerde	4,6	Tonerde	1,1
	Kohlensaur. Kalk	57,8		Kalk	46,1	Kalk	32,4
	Kohlensaure Magnesia	5,7		Magnesia	3,7	Magnesia	2,7
	Kali	0,9		Kali	0,9	Kali	0,9
	Natron	0,2		Natron	0,1	Natron	0,2
	Wasser	1,8		Wasser	0,7		
		100,00		Kohlensäure	3,6		
					100,00		69,8

oder, auf Hundert umgerechnet und unter der Voraussetzung, dass sämtliches vorher in Salzsäure Unlösliche aufgeschlossen wäre, würde das Glühprodukt im Sinne der vorstehenden Gleichungen enthalten u. a.:

17,6 % lösliche Kieselsäure, aus dem Quarz herrührend,
12,9 „ „ „ „ Ton „
dazu 0,9 schon früher vorhandene lösliche Kieselsäure,
31,4 % gesamt-lösliche Kieselsäure,
6,2 % aufgeschlossene Eisenoxyd-Tonerde, aus dem Ton herrührend,
10,6 schon früher vorhandene, in Salzsäure lösliche Tonerde,
16,8 % hydraulische Eisenoxyd-Tonerde.

Bei einer Gegenüberstellung dieser auf dem Wege der Rechnung gefundenen Zahlen und der im gebrannten Produkt nach Analyse II ermittelten ist ersichtlich, dass die Quarz-Kieselsäure nahezu zur Hälfte unaufgeschlossen geblieben (17,6 : 8,3), die Kieselsäure des Tones dagegen fast gänzlich in die lösliche Modifikation übergeführt worden ist (12,9 : 0,5). Wir finden also das früher Gesagte bestätigt, dass die kristallinische Kieselsäure (Sand, Quarz) dem Aufschlussprozess mehr Widerstand entgegensetzt, als die amorphe, feinst zerteilte Kieselsäure des Tons.

Im ganzen waren nun in der gebrannten Ware nach Analyse II 8,5 Quarz + 0,5 unlösliche Kieselsäure des Tons + 17,4 lösliche Kieselsäure = 26,2 % unlösliche-lösliche Kieselsäure gegenüber 31,4 % errechneter gesamt-lösliche Kieselsäure, ferner 1,7 nicht aufgeschlossene Eisenoxyd-Tonerde + 17 lösliche =

18,7 % unlöslich-lösliche Eisenoxyd-Tonerde. Diese gegenübergestellten theoretischen und analytischen Zahlen stimmen allerdings nicht ganz genau, welcher Unterschied wohl auf die verschiedene Zusammensetzung der zu Analyse I (Stein) und Analyse II (gebrannte Ware) verwandten Materials zurückzuführen sein dürfte. Zum genauen Vergleich der theoretisch berechneten geglühten Substanz, d. i. ohne Reste von Wasser und Kohlensäure, müssen wir allerdings noch die Analsyse II ebenfalls auf den wasser- und kohlensäurefreien Zustand umrechnen, also von den 100 Teilen 0,7 % Wasser + 3,6 % Kohlensäure = 4,3 % flüchtige Stoffe abziehen und wieder auf Hundert kommen nach folgenden schon bekannten Ansätzen:

$$(100-4{,}3 =)\ 95{,}7 : 26{,}2 = 100 : t$$
$$95{,}7 : 18.7 = 100 : u,$$

woraus sich für t 27,4 % Gesamt-Kieselsäure und für u 19,5 % Gesamt-Eisenoxyd-Tonerde = 46,9 % Gesamtsilikate ergeben. Überraschender Weise stimmen diese Prozente mit denjenigen der Gesamtsilikate, welche rechnerisch ermittelt wurden, bis auf 48,2—46,9 = 1,3 %, also innerhalb einer ev. Versuchsfehlergrenze überein. Zur besseren Übersicht sind die verschiedenen Werte in folgender Tabelle noch einmal zusammengestellt. Es ergab

	Analyse II (Handelsware)	Analyse II auf den wasser- und kohlensäurefreien Zustand berechnet	die theoretische Berechnung
Gesamt-Kieselsäure . . .	26,2	27,4	31,4
Gesamt-Eisenoxyd-Tonerde	18,7	19,5	16,8
	44,9 %	46,9 %	48,2 %

Fassen wir alles noch einmal kurz zusammen. Der Vorgang beim Brennen der Mergel, als eines Gemisches von kohlensaurem Kalk und Tonsubstanz, ist neben einer einfachen Entkohlensäuerung, wie solche bei dem Kalkstein stattfindet, eine weitere chemische Reaktion, ein Aufschliessen, eine Bildung von neuen Stoffen, welche, in Wasser unlöslich, in diesem erhärten. Bedingt ist diese hydraulische Eigenschaft in erster Linie durch die eigentümlich umgewandelte Natur der immer vorherrschenden Kieselsäure, eben daran erkennbar, dass letztere sich jetzt durch Säuren in der wasserlöslichen, wasserhaltigen (hydratischen), gallertartigen Modifikation abscheiden lässt. Aus der inaktiven, nicht wirksamen, toten Kieselsäure des Tones und des Quarzes ist die mit Kalk verbindungsfähige, aktive, lebendige, lösliche hydraulische Kieselsäure geworden. Ebenso haben die Tonerde und das Eisenoxyd einen hydraulischen Charakter angenommen. Man findet also diese drei Bestandteile nach dem Brande in einer ganz anderen Gestalt wieder: sie sind zu Hydraulefaktoren geworden. Bei diesem Brennen setzt der kristallinische, dazu manchmal grobkörnige Quarz oder Sand naturgemäss dem Aufschluss grösseren Widerstand entgegen, als der amorphe weiche Ton und die amorphe opalige Kieselsäure.

Der eigentliche Vorgang dieser chemischen Umsetzung ist bis heute noch nicht erkannt worden. Da die Temperatur, bei welcher die Mergel und Kiesel-

kalke gebrannt werden, nur so hoch sein soll, dass eben die Kohlensäure ausgetrieben und der Ton und die Kieselsäure aufgeschlossen werden, so ist von einem Schmelzprozess, einer Versinterung unter gewöhnlichen Umständen nicht die Rede. Man spricht so landläufig von der Bildung eines Kalksilikats, eines Kalkaluminats, eines Kalkferrats, also von der Bildung chemischer Verbindungen. Dies ist nun, wenn man unter solchen nach stöchiometrischen Proportionen aufgebaute Körper versteht, nicht der Fall. Aber der Chemiker kann sie nicht im Reagenzglas „fassen", aus hier nicht zu erörternden Gründen. Ebenso versagt das Mikroskop. Es ist auch nach Michaëlis nebensächlich „ob wir die Vereinigung von einer gewissen, immerhin nicht unbeträchtlichen Menge Kalk mit Kieselsäure und Tonerde (Eisenoxyd) im Feuer schon annehmen oder nicht; sicher ist, dass die Temperatur niemals so hoch gesteigert wird, um sämtlichen Kalk in Verbindung zu bringen, dass also stets eine mehr oder minder beträchtliche Menge des vorhandenen Kalkes frei bleibt".

Chemische Untersuchung der Wasserkalke. Gang der Analyse.

In Kapitel I wurden die Analysen einiger zur Herstellung von Wasserkalken dienenden Kalkmergel und Kieselkalke mitgeteilt. Solche Analysen erlauben zwar, wie früher schon bemerkt wurde, einen gewissen Schluss auf den Grad der Hydraulizität des Brenngutes, aber in allen Fällen ausschlaggebend sind sie nicht. Mitbestimmend sind noch eine Menge anderer Momente, wie Lagerungsverhältnisse, Grad der Gleichartigkeit, Gefüge, Dichtigkeit, Korn des Rohmaterials und last not least Korn des den Mergel durchsetzenden Sandes. Will man also ein sicheres Bild von der Natur der Wasserkalke auf chemischem Wege erhalten, so ist es angezeigt, diese und nicht den Rohstein zu analysieren.

Ich empfehle, hierbei folgendes Verfahren einzuschlagen.

Bestimmung des Glühverlustes (Wasser und Kohlensäure).

Wasser und Kohlensäure können entweder einzeln ermittelt werden, oder man ermittelt beide zusammen durch den Glühverlust und dann die Kohlensäure für sich; der Gehalt an Wasser H_2O ergibt sich dann aus der Differenz.

Zur Bestimmung des Glühverlustes glüht man einige Gramm im Platintiegel über dem Gasgebläse. Der Gehalt an Kohlensäure CO_2 allein wird am genauesten durch direkte Wägung ermittelt, indem etwa 10 g Substanz in einer, 150—300 ccm fassenden Kochentwicklungsflasche mit Salzsäure und Wasser behandelt werden und die sich entwickelnde Kohlensäure, nachdem sie vollständig getrocknet und von mitgerissener Salzsäure befreit worden, in einer mit Natronkalk gefüllten Röhre oder in dem „Kaliapparat" auffängt und deren Gewichtszunahme bestimmt.

Diese Kohlensäurebestimmung durch direkte Wägung erfordert eine kompliziert zusammengestellte Apparatur und ein peinliches Arbeiten. Einfacher gestaltet sich die Bestimmung aus dem Gewichtsverlust. Das Verfahren beruht darauf, dass man in einem vorher beschickten und gewogenen Kohlensäure-Bestimmungsapparat die Kohlensäure durch verdünnte Salzsäure unter schwachem

Erwärmen austreibt, den Rest der Kohlensäure mittelst Durchleiten von Luft verdrängt und den Apparat wieder wägt. Der Gewichtsverlust ist die vorhanden gewesene Kohlensäure.

Das Wasser kann auch durch direkte Wägung ermittelt werden, indem man 1—2 g Substanz in einem Platinschiffchen unter Durchleiten von trockener Luft im Verbrennungsrohr glüht, das entweichende Wasser in einem gewogenen Chlorcalciumrohr auffängt und dann wieder wägt: die Gewichtszunahme des letzteren ergibt den Gehalt an Wasser.

Bestimmung der Kieselsäure und des „Unlöslichen".

Etwa 5 g werden in einer mit einem Uhrglas bedeckten Porzellanschale mit Wasser und Salzsäure behandelt, die Flüssigkeit auf dem Wasserbad zur Trockne eingedampft und dann die annähernd trockene Masse im Trockenschrank bei 110—120° C etwa eine Stunde lang erhitzt. Die anfangs gallertartige, wasserhaltige Kieselsäure wird dadurch wasserunlöslich und bleibt nach dem Behandeln mit salzsäurehaltigem Wasser auf dem Filter — zusammen mit dem „Unlöslichen" — zurück.

Das Filtrat wird in einem 500 ccm-Kolben ebenso wie das Waschwasser aufgefangen und dient zur Bestimmung der salzsäurelöslichen Bestandteile.

Der Filterrückstand wird mit einer konzentrierten Lösung von kohlensaurem Natron heiss digeriert. In Lösung geht die Kieselsäure, während Sand, unaufgeschlossener Ton oder sonstige Silikate zurückbleiben. Durch Filtration und Auswaschen trennt man das Unlösliche von der in Lösung gegangenen Kieselsäure. Letztere wird dadurch bestimmt, dass man sie aus dem Filtrate wieder durch Salzsäure abscheidet, die Flüssigkeit zur Trockne verdampft, den Rückstand bei 120° C nachtrocknet, mit salzsäurehaltigem Wasser aufnimmt und die jetzt wieder unlösliche Kieselsäure auf einem Filter sammelt, gut auswäscht, trocknet, stark glüht und wägt: SiO_2.

Das beim Bestimmen des Unlöslichen und der Kieselsäure erhaltene, im Halbliterkolben aufgefangene Filtrat, dient, wie schon gesagt, zur Bestimmung der übrigen Bestandteile.

Zur Bestimmung der Schwefelsäure

nimmt man von diesem $^1/_2$ Liter-Filtrat 250 ccm, schlägt mit Chlorbaryum dieselbe als unlösliches schwefelsaures Baryum $BaSO_4$ nieder, welches auf dem Filtrat gesammelt und ausgewaschen, dann getrocknet und gewogen wird. Durch Rechnung wird dann der Gehalt an Schwefelsäure SO_3 gefunden.

Eisenoxyd und Tonerde

scheidet man aus den anderen 250 ccm mit Ammoniak in der Siedehitze aus, nachdem man durch etwas rauchende Salpetersäure oder Chlorwasser alles Eisen in Oxydsalz verwandelt und bei etwa reichlicher Anwesenheit von Magnesia einen Überschuss von Salmiak-(Chlorammonium-)Lösung zugegeben hat.

Auf dem Filter befinden sich Eisenoxyd- und Tonerdehydrat $Fe_2H_6O_6 + Al_2H_6O_6$, welche aufgewaschen, getrocknet und zu $Fe_2O_3 + Al_2O_3$ geglüht, gewogen werden. Auf die Trennung von Eisenoxyd und Tonerde wird fast durchweg verzichtet.

Das Filtrat bringt man auf 500 ccm und schlägt in 250 ccm den Kalk mittels oxalsaurem Ammon als später auf dem Filter gesammelten unlöslichen oxalsauren Kalk $CaC_2O_4 + H_2O$ nieder, der dann auf dem Gebläse in Calciumoxyd CaO übergeführt und als solches gewogen wird.

In Lösung bleibt die

Magnesia,

welche mit phosphorsaurem Natron und Ammoniak als phosphorsaure Ammoniak-Magnesia niedergeschlagen, ausgewaschen und, dann geglüht, als pyrophosphorsaure Magnesia $Mg_2P_2O_7$ gewogen wird. Diese Verbindung wird dann auf Magnesia MgO umgerechnet.

Die „Alkalien": Kali und Natron

werden in der Regel, weil in unwesentlichen Mengen vorhanden, aus der Differenz, als „Rest" rechnerisch ermittelt, indem man die Gesamtprozente der übrigen Bestandteile von 100 abzieht. Sie können jedoch auch in dem Filtrat der Schwefelsäurebestimmung gewichtsanalytisch festgestellt werden.

Nun noch die

Bestimmung von freiem Ätzkalk CaO neben Calciumcarbonat $CaCO_3$.

Sie lassen sich annähernd durch Titration nebeneinander bestimmen.

100 g eines Durchschnittsmusters werden, gelöscht, in einem Halbliterkolben mit Wasser zur Marke aufgefüllt. 100 ccm von dem dünnen Brei werden in einem Literkolben mit Wasser aufgefüllt und bei dem gut durchgemischten Inhalt 50 ccm (= 1 g Substanz) zur Untersuchung verwendet.

Eine Probe wird mit Normalsalzsäure aufgelöst und mit Normalnatron zurücktitriert. Die Differenz ergibt den Gehalt an $CaO + CaO_3$.

Eine zweite Probe wird mit Normaloxalsäure und Phenolphtaleïn als Indikator direkt titriert. Die verbrauchten ccm geben den Gehalt an CaO an, da die Oxalsäure den kohlensauren Kalk nicht angreift. Magnesia wird hierbei als Kalk bestimmt.

Für betriebstechnische Zwecke ist eine solche mehr wissenschaftliche Analyse zu langwierig und Überfluss. Man darf sich hier mit der Ermittelung der Hydraulefaktoren Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd begnügen, und auch das etwa Unlösliche (nicht aufgeschlossener Ton und Sand), Kalk und Magnesia zu bestimmen, hätte nur Zweck, wenn letztere in wesentlichen Mengen vorkäme. Flott und einfach verfährt man, wenn man einige Gramm geglühte Substanz mit Salzsäure behandelt, zur Trockne verdampft und den Inhalt der Schale mit verdünnter Salzsäure aufnimmt. Im Becherglase digeriert man dann die durch Kieselsäure getrübte Lösung mit überflüssigem Ammoniak, bringt den Niederschlag von Tonerde und Eisenoxyd und Kieselsäure auf das Filter, glüht und wägt. Diese Arbeitsweise gibt zwar nicht genaue Zahlen,

weil immer etwas Kalk in den Ammoniakniederschlag übergeht, aber zur Kontrolle des Betriebes genügt sie. Selbstverständlich ist bei der Behandlung mit Salzsäure auch unaufgeschlossener Ton und Sand ungelöst geblieben, aber diese Mengen sind dem Auge des geübten Chemikers leicht und quantitativ erkennbar; sind doch solch vereinfachte Methoden nur Kontroll- bzw. Vergleichsanalysen.

Auch dürfte das Kalk-Kalorimeter von Dr. Stiepel*) in manchen Fällen gute Dienste tun.

Analysen von Wasserkalken.

Da der „Wasserkalk in Stücken" auf der Baustelle gelöscht wird und zwar zu Pulver, ohne dass dieses eine weitere Aufbereitung erfährt, so werden zum Brennen desselben nur solche Mergel genommen, deren Gehalt an Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd eine gewisse Grenze nicht übersteigt, etwa 10—20% Ton im Stein. Theoretisch würden sie 15—30% Hydraulefaktoren geben. Man kann jedoch fast immer mit einigen Prozenten weniger rechnen, weil etwas Ton nicht durch den Brand aufgeschlossen wird. Der Typus der schwachhydraulischen Kalke, der aber immerhin recht brauchbaren Stückkalke, wird repräsentiert durch den berühmten Beckumer und Sötenicher (Eifeler) Wasserkalk. Es mögen jetzt einige Analysen folgen:

		1	2	3	4	5
Wasserkalk von	Lengerich (Westfalen)	Sötenich (Eifel)**)	Wiehlthal (Rheinland)	Geseke (Westfalen)	Sötenich (Eifel)**)	Beckum (Westfalen)
Kalk — CaO — . . .	86,71	83,22	84,88	71,63	74,78	78,12
Magnesia — MgO — .	0,43	1,81	0,36	0,32	1,36	0,56
Tonerde — Al_2O_3 — .	3,11	4,56	1,95	3,89	5,86	4,03
Eisenoxyd — Fe_2O_3 —.	1,14		0,91	1,27		2,81
Kieselsäure — SiO_2 —.	6,96	8,66	11,32	13,56	15,44	14,48
Unlösliches (Sand, Ton) .	—	—	0,24	7,10	1,74	—
Glühverlust — CO_2 und H_2O —	1,00	1,69	—	2,55	0,82	—
Alkalien — K_2O, Na_2O —	—	—	0,25	—	—	—
Schwefelsäure — SO_3 —	0,42	—	0,09	—	—	—
	99,77	99,94	100,00	100,22	100,00	100,00

*) Kiepenheuers „Kalk und Mörtel" Seite 350.

**) Eine genaue Durchschnittsprobe eines auf der Baustelle abgelöschten Doppelwagens Wasserkalk von Kalkwerk Schulz wurde von baubehördlicher Seite im Jahre 1908 der chemischen Untersuchung übergeben. Die Analyse des Mehles ergab — $CO_2 + H_2O$: 11,85% — SiO_2 : 11,70% — $Al_2O_3 + Fe_2O_3$: 5,00% — CaO : 69,30% — MgO : 1,65 = 99,50%, was einen ursprünglichen Stückkalk mit 19,05% Hydraulefaktoren darstellt.

Als eines der zahlreichen Anfangsglieder der Wasserkalkreihe habe ich zum Vergleich mit den ausgesprochenen Wasserkalken den harmloseren Lengericher Kalk aufgeführt. Dass dieser auf der Grenze zwischen Luft- und Wasserkalk steht, geht am besten daraus hervor, dass er auch unter dem Namen „Fettkalk“ in den Handel kommt und ebenso wie dieser gelöscht, eingesumpft und — allerdings unter einer Decke von Wasser — in der Grube aufbewahrt wird.

Die vorstehenden Analysen 1—5 ergeben also fortschreitend 13,22%—14,18%—18,72%—21,30%—21,32% Hydraulefaktoren (Tonerde, Eisenoxyd, Kieselsäure). Sie stellen jedoch nur die chemische Natur eines einzelnen der Untersuchung unterworfenen Kalkstückes dar, nicht des Durchschnittsinhalts des ganzen Ofens. Gerade wie die einzelnen Lagen und Partien eines Mergelbruchs, wie in Kapitel I schon betont wurde, eine sehr schwankende chemische Zusammensetzung aufweisen, so ist also auch deren Brennprodukt nicht einheitlich, und man kann wohl sagen, dass der Doppelwagen Wasserkalk von irgendeinem Werk ein Durcheinander von Stücken ist von etwa den soeben chemisch gekennzeichneten 5 Marken — und deren Zwischenglieder.

Es seien jetzt noch einige nicht deutsche Kalke aufgeführt, welche ebenfalls eine grosse Verschiedenheit in der chemischen Zusammensetzung zeigen. Mit Ausnahme des ersten sind es vorzügliche Wasserkalke, die nach dem Mahlen die sog. Zementkalke und Roman-Zemente liefern.

Bezeichnung bezw. Ursprung des Kalkes	Chaux hydraulique de Grenoble	Chaux du Theil (La Farge)	Chaux du Theil (Alignole)	Chaux du Senonches	Teplitzer Wasserkalk	Beocsiner Wasserkalk	Curowitzer (Tlumatschauer) Kalk	Epperinser Wasserkalk
Kieselsäure .	7,23	22,95	20,33	26,77	23,62	16,82	30,27	26,4
Tonerde . .	4,56	1,12	1,00	1,57	6,55	7,18	1,30	4,0
Eisenoxyd .	0,05	1,28	0,82	1,12	9,55	4,88	2,16	1,9
Kalk . . .	84,22	74,64	77,87	70,54	60,62	54,07	60,42	64,4
Magnesia . .	—	—	—	—	—	9,31	1,06	2,16
Alkalien . .	—	—	—	—	—	—	0,76	0,93
						Unlösl. Kiesels.	Kohlens. 3,62	
Sand, Ton .	3,04	—	—	—	—	5,36	—	—

Die kieselsäure- und tonerdearmen Dolomitkalke, wie der gewöhnliche Normaldolomitkalk (Graukalk), der Trierer Kalk, der Aschaffenburger Grau- oder Schwarzkalk usw., alle ganz vorzügliche Luftkalke, werden nun häufig als Wasserkalke angesprochen. Dass dies nicht der Fall ist, geht aus den folgenden Analysen von drei dem Handel entnommenen Proben hervor (Nr. 1, 2, 3).

	1	2	3	4	5
	Graukalk aus Sachsen	Trierer Kalk	Aschaffenburger Schwarzkalk	Schwarzkalk aus der Pfalz	Ein „hydraulischer Kalk“ ohne Ursprungsangabe
Unlösliches (Sand, Ton) . .	—	—	0,22	—	—
Kieselsäure — SiO_2 — . .	1,42	4,05	1,40	2,40	4,12
Tonerde-Eisenoxyd — Fe_2O_3 —Al_2O_3	0,87	2,98	5,65	7,43	5,89
Kalk — CaO —	59,78	56,01	59,56	56,33	55,37
Magnesia — MgO — . .	37,72	36,85	31,74	33,71	34,17
Manganoxyd — Mn_2O_3 — .	—	—	1,26	—	—
Schwefelsäure — SO_3 — .	—	—	—	0,32	0,45
	99,79	99,89	99,83	100,19	100,00

Der erstere Kalk enthält nur 2,29 %, der zweite 7,03 %, der dritte endlich 7,05 %, bzw. wenn man das Manganoxyd als gleichwertig mit dem Eisenoxyd hinzurechnet, 8,31 % Hydraulefaktoren. Die Magnesia nun, in dem Zustande, wie sie in diesen Kalken vorkommt, ist nicht hydraulisch*). Im übrigen halten viele Behörden diese Dolomitkalke ebenfalls für nicht wassererhärtend, wie z. B. — nach einer Mitteilung an den Verfasser — die Nürnberger Baupolizeibehörde den Aschaffenburger Schwarzkalk. Zudem sind die Zug- und Druckfestigkeiten der entsprechenden Mörtel minimal. So ergab ein rheinischer Normal-Graukalk von der ungefähr gleichen Zusammensetzung des oben angeführten sächsischen Graukalkes (Mischungsverhältnis: 1 Vol. Pulver + 3 Vol. Normalsand) bei 8tägiger Lufterhärtung und 20-, 52-, 82tägiger Wasserlagerung 1,57, 0,88, 1,24 kg Zug- und 1,7, 2,5, 1,9 kg Druckfestigkeit. Ein Trierer Kalk (1 Gewichtsteil Pulver + 4 Gewichtsteile Normalsand) lieferte nach 28- bzw. 90tägiger Lufterhärtung 2,89 bzw. 5,05 kg Zug und 8,74 bzw. 16,35 kg Druck; ein Aschaffenburger Schwarzkalk (1 : 4 in Gewichtsteilen) nach 90tägiger Lufterhärtung 4,18 Zug bzw. 28,7 Druck. Der Schwarzkalk aus der Pfalz, trotz seiner 9,83 % Hydraulefaktoren (1 Vol. Pulver + 2 Vol. Sand), ergab nach 6- bzw. 10wöchentlicher Lufterhärtung 4,4 bzw. 4,2 kg Zug und 13,1 bzw. 17,8 kg Druck. Die Mörtelproben, nachdem sie 9 Tage an der Luft erhärtet waren, wurden im Wasser nach zwei Tagen rissig und zerfielen. Dies ist auffällig und mag vielleicht auf den mangelhaften Brand — der Kalk ergab nach dem Ablöschen 10,9 % steinige Rückstände — zurückzuführen sein. Der Kalk endlich der Analyse 5 ergab an der Luft:

*) Kiepenheuers „Kalk und Mörtel“, Seite 49—52.

	Zugfestigkeit			Druckfestigkeit		
	in kg/qcm nach Tagen					
1 Volumen Kalkpulver + 2 Vol. Normalsand	28	60	90	28	60	90
(Mischungsverhältnis in Gew.-Teilen 1:4,8)	5,14	8,45	8,52	11,4	14,5	20,9

Diese Zahlen reden eine beredte Sprache und beweisen, dass der Normaldolomitkalk oder ein magnesiareicher Kalk mit verhältnismässig wenig Hydraulefaktoren nie und nimmer ein Wasserkalk sein kann. Wonach sich Kalkfabrikanten, Händler, Abnehmer, Chemiker und Bücherschreiber richten mögen*).

Der Wasserkalk stellt nur im frischen Zustande meistens grossstückige Ware dar, namentlich wenn er im ruhigen Ringofen gebrannt wird. Im Trichterofen leidet seine Grösse und Ansehnlichkeit in Folge der Wanderung des Materials von oben nach unten. Der Dietzsche Etageofen endlich liefert einen durch das Rutschen und Bearbeiten mit der Krücke zum Teil recht zerkleinerten Kalk, der nach dem Auslesen der grossen Stücke, zur Fabrikation des „gemahlenen hydraulischen" genommen wird. Wie schon erwähnt, ist milder Brand eine wesentliche Bedingung zur Vermeidung von verschlackten, „totgebrannten", schwieriger löschbaren und dazu im Mörtel treibenden Kalkpartikeln. Es darf also der Stückwasserkalk nicht gesintert sein, keine Glasur oder porzellanartiges Aussehen zeigen. Man brennt ihn daher nur so stark, dass die Kohlensäure des Steins ganz oder annähernd ganz entweicht. Der Glühverlust (Kohlensäure) bei frischer Ware steigt nach Tetmayer in der Regel über 8 %**). Alter Kalk enthält erklärlicherweise ausser der nicht ausgetriebenen Kohlensäure des Steins noch solche aus der Luft aufgenommene und Wasser.

Ein grösserer Gehalt an Sand, der als Ballast anzusehen ist, macht den Kalk minderwertig.

Die Farbe der Wasserkalke ist in der Regel grau- oder grüngelblich, gelblich mit oftmals einem Stich ins Braune. Die aus den dolomitischen Mergeln erbrannten Kalke sind gelblich, braun, dunkelbläulich bis schwarz. Eisen, Mangan und Bitumen sind die Färbefaktoren. Die Farbe übrigens spielt absolut keine wesentliche, bestimmende Rolle, und etwa an dieser einen Kalk erkennen oder anerkennen zu wollen, verrät Unkenntnis. So nennt man z. B. im Rheinland und Bayern die graubläulichen und tief dunkelen dolomitischen Kalke Grau- bzw. Schwarzkalke, während in manchen Gegenden der Pfalz und Thüringens diese Bezeichnung für die aus Mergelkalken ohne besonderen Magnesiagehalt gebrannten Sorten gilt.

---

*) Alles weitere über die Nichthydraulizität der Graukalke usw. siehe in Kiepenheuers „Kalk und Mörtel", Seite 49—70.

**) Zum Vergleich sei hinzugefügt, dass der Glühverlust — wieder nach Tetmayer — bei Roman-Zement bis zu 5 % steigt, bei Portland-Zement meistens unter 2 % liegt.

Das spezifische Gewicht liegt nach Schoch bei 2,9, nach Tetmayer meistens unter 2,9*). Die Dichte der gebrannten Ware ist naturgemäss abhängig von derjenigen des Rohmaterials und ein dichter, d. h. spezifisch schwererer Stein gibt zum Vorteil des Fabrikanten auch einen spezifisch schwereren, d. h. mehrwertigen Kalk, bei gleichen Ausgaben für Arbeitslöhne, Sprengmittel usw.

Das Löschen.

Im Gegensatz zu den aus tonreichen Mergeln erbrannten, nicht löschbaren Roman-Zementen und den höher hydraulischen schwer löschbaren Kalkmarken beginnen sich die Stückwasserkalke des Handels leicht, meistens schon nach einigen Minuten oder innerhalb einer Viertelstunde unter intensiver Wärme- und Dampfentwicklung abzulöschen, welche jedoch nicht so ungestüm wie bei dem Weisskalk ist. Alter und Brand des Kalks spielen naturgemäss eine mitbestimmende Rolle. Nach einigen Stunden ist unter günstigen Umständen die Hydratisierung im wesentlichen beendet. Das Löschprodukt ist je nach der Eigenart des Materials, dem Brande, dem Alter und dem Gang des Löschprozesses ein mehr oder minder weiches, manchmal sich sandartig anfühlendes, auch wohl knirschendes Mehl von gelblicher oder gräulicher Farbe, in welchem oft eine Menge gröberer Stücke liegen. Beim Abbrausen zeigen sich nämlich die weniger hydraulischen Teile — infolge ihres höheren Ätzkalkgehaltes — und die milde gebrannten dem Zerfallen geneigter, als die an Hydraulefaktoren reicheren und die ev. versinterten oder verschlackten. Daher ist die Löscharbeit mit besonderer Aufmerksamkeit und Bedächtigkeit vorzunehmen. Manche lieben es, die grösseren Stücke zu zerschlagen, damit das Wasser besser in den Kalk gehen kann. Auch wird das Pulver meistens noch einmal „umgesetzt“ und schwach abgebraust. Zu Verputzzwecken ist ein vorheriges Sieben unbedingt nötig. Bei dem Bau der Städtischen Wasserwerke Berlin wurde der Beckumer Kalk folgendermassen behandelt.

„Zum Zwecke der Ablöschung wurde der gebrannte Kalk in 3,5 m lange, 1,60 m breite und 0,25 m hohe Bänke gebracht, dort in Stücke von etwa Faustgrösse zerschlagen und 10—15 cm hoch aufgeschüttet. Darauf erfolgte das erstmalige Begiessen bei aufgesetzter Brause, und dann wurde der Kalk ca. 1 Stunde sich selbst überlassen; darauf abermaliges Begiessen, und nach nochmaligem 1—$1^1/_2$stündigem Stehenlassen war der Kalk fertig. Je nach Alter und sonstiger Beschaffenheit wurde auch wohl dreimaliges Begiessen notwendig. Die betreffenden Arbeiter erlangten bald die erforderliche Übung und Urteilsfähigkeit. Der Kalk wurde dann mit Sand 10—15 cm hoch bedeckt, und bis zur Verwendung 24 Stunden stehen gelassen. Der Sand wurde dann abgenommen und es erfolgte das Durchsieben, wofür sich Siebe mit 20 Maschen auf 0,1 m Länge als zweckentsprechend empfehlen.“

Im übrigen baue man, wie dies mitunter regelwidrig geschieht, die Kalkhaufen nicht zu hoch auf, weil sonst das Wasser durch die oberen zu Pulver zerfallenen Schichten nicht mehr durchsickert und die unteren Stücke also nicht zum Ablöschen gelangen.

---

*) Das spez. Gewicht des Weisskalks ist 3,09, des Kalkhydrats 2,1, des Roman-Zements 2,7—3, des Portland-Zements gewöhnlich 3,1—3,2.

In der im übrigen sehr lesenswerten Broschüre der Wickingschen Portland-Zement- und Wasserkalk-Werke in Recklinghausen 1893 findet sich ausserdem die sehr umständliche und wohl nur in vereinzelten Fällen ausgeübte Löschmethode mittelst Korb:

„Man zerschlägt den Kalk in etwa faustgrosse Stücke, füllt solche in einen Draht- oder Rohrkorb und hält den gefüllten Korb so lange unter Wasser, bis der Kalk sich vollgesogen hat. Solches ist daran zu erkennen, dass das Aufsteigen von Luftblasen aus dem Wasser aufhört, was in der Regel schon nach einer halben Minute der Fall sein wird. Man hebt dann den Korb sofort heraus, lässt das Wasser gut ablaufen und bringt den Kalk, welcher nunmehr das zum Hydratisieren erforderliche Quantum Wasser aufgenommen hat, in Haufen oder Schuppen, deckt nach Behandlung des ganzen Quantums den Kalk mit einer Sandschicht ab und lässt denselben 24 Stunden kochen. Der Kalk wird dann, unter Vermehrung seines Volumens auf ca. das Doppelte, ganz zu Mehl (Wasserkalkhydrat) zergangen sein und kann sofort verarbeitet werden.

Die vorstehend näher beschriebene Löschmethode hat gegenüber der Methode des Abbrausens den Vorteil, dass der Kalk genau das zum Hydratisieren erforderliche Wasserquantum bekommt, und weder durch Zusatz zu vielen Wassers klümperig wird, noch durch Mangel an Wasser sich nicht völlig auflöst.“

Die anderen Löschmethoden mittelst Mulden, Löschtrommeln, Löschzylinder usw., welche nur in Ausnahmefällen auf der Baustelle in Anwendung kommen, sollen bei der Besprechung des fabrikmässig hergestellten gemahlenen hydraulischen Kalkes erwähnt werden.

Ein Löschen des Wasserkalks in der Pfanne mit viel Wasser und Einsumpfen der Brühe in Gruben ist ausgeschlossen, weil der Kalk dann vorzeitig abbinden und erhärten würde, bis zu dem Masse, dass man ihn mit der Hacke entfernen müsste. Ganz im Gegensatz zu Weisskalk, der jahrhundertelang lagern kann*). Nur solche sehr schwach hydraulische Sorten, wie etwa der Lengericher Kalk, können, wie schon früher erwähnt, eingesumpft werden und zwar unter einer ständigen Decke von Wasser. Dies ist nicht zu verwerfen, denn die Wasserkalke, wie überhaupt alle Kalke, fangen erst dann an anzuziehen, abzubinden und zu erhärten, wenn sie der Luft ausgesetzt gewesen sind und ihr Wassergehalt bis auf einen gewissen Grad herabgesunken ist.

Wasserkalk ist eine Mischung von löschbarem freiem Ätzkalk und den nicht löschbaren Hydraulefaktoren Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd und dem ebenfalls nicht löschbaren übrigen. Von seinem Gehalt an freiem Ätzkalk hängt also die Wasserbedürftigkeit ab.

Chemischer Vorgang bei dem Löschen.

Der Löschvorgang spielt sich nun nach folgender, insbesondere auch für den Weisskalk geltenden chemischen Formel ab:

$$\begin{array}{ccccc} CaO & + & H_2O & = & CaH_2O_2 \\ 56 & & 18 & & 74 \end{array}$$

in Worten: Kalziumoxyd (Kalkerde, Ätzkalk) und Wasser geben Kalziumhydroxyd

*) Kiepenheuers „Kalk und Mörtel“, Seite 31.

(Kalkhydrat). Hierbei erfordern 56 Gewichtsteile CaO 18 Gewichtsteile H_2O und liefern 74 Gewichtsteile CaH_2O_2, oder 100 CaO verlangen 32 H_2O und ergeben 132 CaH_2O_2; in dem letzteren sind also, auf Hundert berechnet, 24,3 % Wasser. Dazu tritt noch möglicherweise der weitere Bedarf an letzterem für die zwar nicht löschbaren, jedoch hydratisierbaren Hydraulefaktoren. Auch ist in Anschlag zu bringen, dass ein Teil des Wassers verdampft. So ist es schwer möglich, theoretisch die Wasserzugabe vorher zu bestimmen. Es ist dies Erfahrungssache. Mitteilenswerte Daten bringt der Erbauer der Berliner Wasserwerke 1876, C. F. Genth in der schon angezogenen Wickingschen Broschüre über die Aufnahmefähigkeit von Wasser, speziell des Beckumer Wasserkalks beim Löschen:

„1 Kasten = 0,1 cbm gebrannter Kalk in Stücken von Faustgrösse und

einem Gewicht von Kilo	nahm bei einem Alter von	und einer Löschungsdauer von Stunden	auf an Wasser Liter (= Kilo)	und gab Kubikmeter	im Gewichte von Kilo
90—93	frisch	$2^1/_2$	34	0,2	ca. 124
	8 Tagen	$2^1/_4$	25,5	0,19	
	3 Wochen	2	17	0,175	

Bei einem Alter von 3 Wochen war der Kalk beinahe gänzlich zerfallen und zeigte beim Löschen nur geringe Lebendigkeit.“ Nach vorstehenden Zahlen betrug die Wasseraufnahme des frischen Kalks prozentual nach den Gleichungen

$$90 : 34 = 100 : \times$$
$$93 : 34 = 100 : \times$$

37,7—36,6 %. Dementsprechend geben nach der Gleichung 90—93 : 124 = 100 : x × 100 Gewichtsteile Wasserkalk 134—138 Teile Pulver. Man ersieht auch ferner die besondere Wasserbegierigkeit des frischen Kalkes; bei zunehmendem Alter und abnehmender Frische hatte er einen bedeutend geringeren Wasserdurst, da er schon aus der Feuchtigkeit der Luft denselben in etwa befriedigt hatte und zudem teilweise durch die Luftkohlensäure in unlöschbaren kohlensauren Kalk übergeführt worden war.

Selbstverständlich darf man, wie es auch manche Löschvorschriften hervorheben, nicht übermässig viel Wasser nehmen. Abgesehen davon, dass das Pulver dann klümperig wird und dem evtl. Sieben auf der Baustelle Schwierigkeiten bereitet, hat ein solch feuchter Kalk bei oft wochenlangem Lagern Gelegenheit, in sich selbst vorzeitig zu erhärten, also die Güte des Mörtels zu beeinträchtigen. Jedenfalls muss man bei altem Wasserkalkpulver zu gleicher Wirkung im Mörtel mehr Menge des letzteren nehmen. Zudem ist der Löschprozess bei zuviel Wasser recht unsicher. Gerade die anhaltende feuchte Hitze, der heisse Wasserdampf ist die treibende, zerteilende Kraft, der Quellfaktor. Auch vergesse man nicht, dass etwa fehlende Mengen Wasser bei der Bearbeitung des Mörtels ersetzt werden und etwa unaufgegangene, nicht abgelöschte Partikel bei ent-

sprechender Zeitlagerung und evtl. weiterer Zerteilung durch die Mörtelhaue nachlöschen können.

Löschergiebigkeit.

Über das Quellvermögen oder die Löschergiebigkeit der Wasserkalke nun ist mit einer gewissen Vorsicht zu berichten, wenn man nicht landläufige Irrtümer weitertragen will. Sie ist naturgemäss erstens abhängig von der chemischen Natur der betreffenden Kalke, insofern als Sorten mit wenig Hydraulefaktoren, d. h. mit verhältnismässig viel Ätzkalk, mehr Mass ergeben als höher hydraulische. Dann sind, und nicht zuletzt, mitbestimmend Dichte, Brand und Alter.

Nach den sehr genauen Ermittlungen des Tiefbauamts Köln für den Stückkalk des Kalkwerks Schulz, Sötenich (Eifel) — 220 Doppelwagen wurden für die Kölner Hafenbauten 1892—1894 verarbeitet — ergaben 10 t*) oder 20 cbm Pulver. Zu annähernd derselben Zahl kommt C. F. Genth in der schon mehrmals erwähnten Wickingschen Broschüre für den „Beckumer". In den „Mitteilungen aus den Königlich-technischen Versuchsanstalten zu Berlin" 1894, Heft IV, finde ich folgende Angaben:

2 l Stückkalk in Walnussgrösse ergaben an Kalkpulver:

	eingelaufen l	eingerüttelt l
bei dem hydraulischen Kalk von Rietbrock und Kröner, Lengerich	3,8—4,4	2,5—2,8
bei einem Beckumer Kalk	4,0	2,5
bei dem hydraulischen Kalk von Westfalia, Thoholte und Cie., Geseke	4,1	2,7

Zum Vergleich sei der Trierer Kalk hinzugezogen, der 4,7 l eingelaufenes Mass ergab. An dieser Zahl erkennt man das grosse Quellvermögen der Dolomitkalke, das hier übrigens noch durch den, wenn auch nicht bedeutenden Gehalt an Hydraulefaktoren beeinträchtigt ist. So lieferte ein Normaldolomitkalk von Bärenstein (Rheinland) 5,13 l eingelaufen, 3,33 l eingerüttelt, ein Aschaffenburger Schwarzkalk 5,19 bzw. 3,09 l.

Das Königliche Materialprüfungsamt Gross-Lichterfelde untersuchte nun 1907/1908 einen Stückwasserkalk von Kalkwerk Schulz, indem es, wie jetzt üblich, 10 l desselben mit einem Gewichte von 0,754 kg bis zu etwa Walnussgrösse zerkleinerte und mit 34 % Wasser — bezogen auf das Gewicht des ungelöschten Kalkes — abdämpfte. Das Löschergebnis waren 14,6 eingelaufene und 8,6 eingerüttelte, beides unabgesiebte Liter Pulver, bzw. 15,2 eingelaufene und 8,4 eingerüttelte abgesiebte Liter. C. F. Genth ermittelte für 1 hl = 91,5 kg (im Mittel) des „Beckumer" 1,9 hl Pulver. Die Gegenüberstellung dieser Zahlen mit denjenigen für den Sötenicher Kalk gefundenen befremdet im ersten Augenblick wegen des grossen Unterschiedes. Aber dieser findet seine natürliche Erklärung in dem grossen Unterschiede des spezifischen Gewichts beider Marken, der verschiedenen Dichte der betreffenden Rohsteine,

*) 1 Doppelwagen = 10 t = 10 000 Kilo enthält rund 11 cbm Stückkalk.

also auch der Kalke. Rechnet man auf gleiches Gewicht um, nach welchem ja auch fast durchweg bezahlt wird, so ergibt sich nach der Gleichung

$$91{,}5 : 1{,}9 = 75{,}4 : x$$

für das Löschergebnis des Beckumer Kalks eine fast gleiche Zahl wie für den Sötenicher, nämlich 15,7 l. Man sieht ferner aus dieser Betrachtung, dass es unter Umständen nicht angebracht ist, nach Mass zu kaufen.

Die vorstehenden Löschergebniszahlen auf den Doppelwagen = 10000 kg umgerechnet, würde ergeben für den Sötenicher Wasserkalk 19,4, für den Beckumer 20,7 cbm loses Pulver. Im grossen und ganzen stimmen diese mit den früher mitgeteilten 20 cbm überein.

Die Langsurer Kalkwerke, G. m. b. H., Trier, geben an, dass ein Doppelwagen = 10000 kg = 12 cbm ihres hydraulischen Langsurer Dolomitkalks*) nach dem Abdämpfen 19—20 cbm Mehl ergeben; hier wäre als das Löschergebnis im Mittel 1 : 1,63.

Mörtelergiebigkeit.

Übrigens besagen alle diese Zahlen für die Praxis nicht viel. Man wird richtiger nach dem Gewicht des erhaltenen Pulvers fragen oder darnach — um es endlich zu sagen —, wieviel Sand etwa ein Doppelwagen Kalk im trocken gelöschten Zustand meistert, d. h. wieviel Kubikmeter Mörtel er liefert. Diese Sandkapazität, das Sandmeisterungsvermögen, die Mörtelergiebigkeit ist nun erklärlicherweise nach der chemischen Eigennatur der verschiedenen Kalke schwankend.

Bei den besseren Sorten, wie Beckumer und Sötenicher, rechnet man auf 1 Raumteil Pulver 2—3 Teile Sand, welche 1,75 bzw. 2,5 Teile Mörtel ergeben sollen. Die Natur des Sandes spielt hierbei übrigens eine Rolle. C. F. Genth nahm auf „1 Kasten Kalk 2 Kasten scharfen reinen Sand und erhielt 2 Kasten Mörtel“.

Zug- und Druckfestigkeit.

Über die Zug- und Druckfestigkeit gibt ein Auszug aus den „Mitteilungen der Königlich-technischen Versuchsanstalten“ 1894, Heft IV, und 1902, Heft VI**), eingehend Bericht. Probekörper von Mörtel in der Mischung 1 Gewichtsteil Kalkpulver : 3 Gewichtsteilen Normalsand ergeben je nach der Natur der Stückwasserkalke — bei 3 Tage Luft- und 25 Tage Wasserlagerung — etwa — 6,5 kg Zugfestigkeit und 12—33 kg Druckfestigkeit pro qcm.

Verwendungszwecke.

Der Wasserkalk wird überall da verwendet, wo der Luftkalk, sei es Weiss- oder Graukalk (Normal-Dolomitkalk) nicht ausreicht, sei es zu Luft- oder Wasserbauten, als Verputz oder im Mauerwerk. Bei besonders anspruchsvollen Arbeiten ist der Zusatz von dem „hydraulischen“ Trass oder Zement geboten.

Neuerdings wird der Wasserkalk an Stelle des Weisskalkes mit sehr gutem Erfolge zu der Fabrikation der Kalksandsteine verwendet.

---

*) Mit rd. 15,5 % Hydraulefaktoren im gebrannten Kalk.

**) Siehe Tabellen in Kapitel V.

Versuche mit westfälischem hydraulischen Kalk und Weisskalk liess 1909 der Verkaufsverein westfälischer Kalkwerke anstellen. Die zu prüfenden Kalke hatten folgende Zusammensetzung:

I.	Weisskalk	mit	90,12 %	Ätzkalk und	0,95 %	Kieselsäure
II.	Wasserkalk	„	73,05 %	„ „	19,65 %	„
III.	„	„	73,88 %	„ „	15,55 %	„
IV.	„	„	88,40 %	„ „	5,52 %	„
V.	„	„	74,28 %	„ „	12,78 %	„

Die Kalke wurden trocken gelöscht und mit Sand in 2 Mischungen *a* und *b* verarbeitet. Mischung *a* enthielt 6 % Kalkerde, Mischung *b* 8 % beide mit 5 % Wasser angemacht, gekollert und 24 Stunden gelagert. Aus dem Gemenge wurden dann Probewürfel von 7 cm Kantenlänge hergestellt, die mit 250 kg/qcm Druck gepresst und 9 Stunden lang im Härtekessel unter 8 Atm. Druck gehärtet wurden. Die eine Hälfte der Würfel wurde trocken gelagert, während die andere feucht gehalten wurde. Nach 7, 30, 90 und 180 Tagen geprüft, ergaben die Proben folgende Druckfestigkeiten:

Kalksorte (*a* = 6 % Kalkzusatz) (*b* = 8 % „	Druckfestigkeit in kg/qcm nach 7 Tagen	30 Tagen	90 Tagen	180 Tagen
Trocken gelagert:				
I a	128	151	137	184
I b	152	166	181	205
II a	209	225	211	227
II b	244	280	302	330
III a	170	219	213	237
III b	153	200	236	261
IV a	145	176	190	192
IV b	142	173	219	216
V a	197	196	225	222
V b	211	206	238	241
Feucht gelagert:				
I a	119	128	142	193
I b	130	158	146	201
II a	190	208	213	241
II b	239	272	291	303
III a	160	219	219	245
III b	150	170	232	309
IV a	133	156	184	192
IV b	119	148	191	194
V a	159	177	211	223
V b	103	165	242	242

Vorstehende Ergebnisse bestätigen, dass für die Verwendbarkeit eines Kalkes zur Kalksandsteinfabrikation nicht der Ätzkalkgehalt, wie man bisher annahm, ausschlaggebend ist, und dass der löslichen Kieselsäure eine sehr

wichtige Rolle zufällt. Hervorragend ist die hohe Anfangsfestigkeit der mit hydraulischem Kalk hergestellten Steine gegenüber den mit Weisskalk gefertigten welche es erlaubt, dieselben sofort vom Kessel zur Baustelle zu liefern. Dazu kommt, dass die ersteren sich durchweg billiger stellen, als die Weisskalksandsteine. Über alles dies bringt eine Broschüre des Verkaufsvereins westfälischer Kalkwerke G. m. b. H. Dortmund interessante eingehende Daten.

Auf die verschiedenen Verwendungszwecke, soweit der Wasserkalk den Weisskalk und Graukalk schlägt, soll bei der Besprechung des gemahlenen hydraulischen Kalks näher eingegangen werden.

Zum Schluss sei noch auf das grossartige, beinahe zwei Jahrtausende alte Bauwerk der Römer in der Eifel, die nach Köln führende Wasserleitung, deren Mörtel mit Eifeler Wasserkalk bereitet worden ist, hingewiesen und zwar durch den Abdruck eines Aufsatzes, den der Verfasser in Nr. 23 des „Baumaterialien-Markt“ Leipzig — Jahrgang 1910 — veröffentlichte.

Der Eifeler Römerkanal, insbesondere die Zusammensetzung seines Mörtels.

Einen Steinwurf weit von meiner Fuchshöhle entfernt, zieht sich die unter dem Namen Römerkanal bekannte, von den Römern vermutlich unter den Kaisern Trajan (98—117) und Hadrian (117—138) erbaute kunstvolle Wasserleitung hin. Sie nahm in der Gegend der Rosentaler Mühle, etwa in der Mitte zwischen Urft und Nettersheim, ihren Anfang und endete nach einem gewundenen Lauf von 77,6 km — die Luftlinie beträgt nur 53 km — durch die Nordeifel und am Vorgebirge vorbei, hier und da ihr Wasser an Nebenleitungen abgebend oder auch von anderen empfangend, an der Stelle des jetzigen Kölner Domes. In dessen südlichem Querschiff wurde am 15. Oktober 1886 noch der Auslass gefunden. Für die Kölner vornehmlich wird es interessant sein, zu erfahren, dass die Hochleitung auf einer nur von einzelnen Bogen durchbrochenen Langmauer und später bei zunehmender Erhebung über das Gelände auf einem von Pfeilern gestützten Viadukt begann, unweit der militärischen Ringstrasse (Stadtgrenze). Der oberirdisch erhaltene Rest eines Pfeilers, der allerdings stark abgehauen ist, steht noch, 2,40 m hoch, in der Nähe des Gutes Neuenhof in Sülz auf der Berrenrather Strasse. Die Einführung der Wasserleitung in die Stadt erfolgte unmittelbar neben dem Turm am Laach durch eine Öffnung in der Stadtmauer. Nach der Überlieferung zog sich die Hauptleitung über die Herzogstrasse nach dem Hof zur Hacht, und von dort nach ihrem höchsten Punkt und Abschluss, dem Domhügel. Reste von Verteilungsleitungen finden sich auf der Südseite des Neumarkts, in der Hämergasse, An St. Agatha, Am Lichthof, Unter Fettenhennen 9, Auf dem Domkloster und sonst. Der Wasserversorgung der Vororte und Landhäuser dienten ohne Zweifel die Leitungen durch die Tore am Dom, an der Breitenstrasse, der Klemenstrasse und Hohenpforte.

Die allerdings spärlichen Überreste dieses grossartigen Denkmals, welches das die Kultur in ferne Gegenden tragende Römervolk seiner Intelligenz und seiner hochentwickelten Bautechnik gesetzt hat, weisen auf wundersame, nicht ohne Absicht und Zweck berechnete, alle Schluchten und Buchten umgehende Windungen hin. Sie zeigen zugleich an verschiedenen Stellen die verschiedenen Dimensionen der Leitung —0,52—0,78 m Breite und 0,68—1 m Höhe mit aufstehender Gewölbekappe — und deren Luft-, Licht- oder Einsteigschächte und überraschend, ein nach allen Regeln der Kunst — trotz Fehlens der Libelle — fortschreitendes Gefälle von durchschnittlich 1 : 216,5.

Der Zweck des Kanals war, die verschiedenen römischen Befestigungen, Kastelle und schliesslich die Colonia Agrippinensis mit frischem Quellwasser zu versorgen. Die Römer scheinen ausser ihrer Vorliebe für gutes Essen, auch noch besondere Feintrinker gewesen zu sein, also dass sie, ähnlich wie in Rom, auch hier das gewöhnliche Fluss- und Brunnenwasser verschmähten. Dies scheint manchen Bücher-

schreibern des Mittelalters nicht eingeleuchtet zu haben, denn man behauptete, der Kanal habe nie zur Beschaffung von Wasser gedient, sondern sei lediglich zur Beschäftigung der am Unterrhein stehenden Legionen gebaut worden, um diese von weiteren Kriegszügen abzuhalten.

Aber auch die Sage spann ihr Spinnennetz um das altehrwürdige Steinwerk und dichtete dem Teufel den Baumeister an, wie die Bezeichnungen Düvelsader, Auf dem Düvelsgraben, Düvelskalle usw. dartun. Ja, als man noch fälschlicherweise annahm, der Ursprung des Kanals sei bei Trier gewesen, tauchte im 11. Jahrhundert das Märchen auf, derselbe hätte den Trierer Bürgern dazu gedient, ihre Kölner Freunde mit Wein zu versorgen, sei also eine richtige Weinleitung gewesen. Der phantasievolle Abt Bertelius von Echternach — gegen Ende des 16. Jahrhunderts — erzählte noch diese Legende weiter. Veranlassung zu solchen Dichtersprüngen mag der im Innern des Kanals gebildete Kalksinter gegeben haben, dessen Farbe und Streifenbildung allerdings eine Ähnlichkeit mit dem in Fässern abgelagerten Weinstein hat. Dieser Niederschlag aus dem Eifeler Quellwasser war überraschend stark und zugleich fest, so dass er vielfach das Material zu Säulen, Stufen, Platten u. dgl. abgab. So sind in Münstereifel die Säulen an der Eingangstür zur Pfarrkirche und je drei Säulen an den Seitenwänden des Chors sowie die Stufen der Chortreppen, die prächtigen Säulen an dem Grabmal des Pfalzgrafen Heinrich in der Klosterkirche zu Maria-Laach, die Deckplatte an dem Grabmal der hl. Lüftildis in der Kirche zu Lüftelberg, verschiedener ornamentaler Schmuck in der Cäcilienkirche und in der Taufkapelle der Gereonskirche zu Köln, in der Münsterkirche zu Bonn, in den Kirchen von Siegburg, Altenahr und Flamersheim aus diesem Sinter hergestellt.

Ebensowenig, wie die Zeit der Erbauung des Römerkanals bestimmt festgestellt werden kann, ebenso ungenau erscheint die Benutzungsdauer desselben. Dass jahrhundertelang Wasser hindurchgeflossen ist, beweist die Dicke und die Festigkeit der soeben besprochenen Sinterschicht. Auch werden die Römer, solange sie am Rhein standen, auf den Schutz der Leitung geachtet haben. Die Annahme schlägt wohl nicht fehl, dass bei Beginn der Völkerwanderung, als die römischen Legionen vom Rhein abberufen wurden und die Hunnen nach Deutschland vordrangen — etwa gegen Mitte des 5. Jahrhunderts — der einzig grossartige Kanal sein Ende sah.

In den Hauptzügen bin ich bisher dem äusserst interessanten, ein eifriges Studium verratenden Vortrage des Herrn Prof. Hürten in Münstereifel, wie dieser ihn s. Zt. im Kölner Eifelverein und in der Ortsgruppe Call hielt, gefolgt. Den Druck dieses Vortrags mit vorzüglichen, lehrreichen Abbildungen lese man im Eifelvereinsblatt Nr. 1, 2 und 3, Jahrgang 1910 — im Verlage Carl Georgi, Universitäts-Buchdruckerei Bonn (Rhein) — nach. Nach der Lektüre werden wir eine hohe Meinung von der Baukunst der alten Römer, wie solche uns auch der römische Schriftsteller und Architekt Marcus Vitruvius Pollio in seinem Werk „De Architectura“ (13 v. Chr.) beschreibt, gewinnen. Die Römer waren zudem äusserst praktisch und dazu peinlich gewissenhaft in der Ausführung ihrer Bauten, indem sie dieselben durch eigens angestellte Beamte, Ädilen und Zensoren beaufsichtigen liessen. Naturgemäss nahmen sie ihre Baumaterialien möglichst aus der nächsten Umgebung der Baustelle, arbeiteten also von Fall zu Fall unter ganz verschiedenen Verhältnissen, jedoch mit durchweg sicherem Erfolg, der wiederum auf ihre eminent hohe praktische Begabung hindeutet. So finden wir in dem Mörtel als Zuschlag zu den verschiedenen Sorten Kalk, hier Caller Sand, da Sötenicher Kalkstein, Grauwacke, Quarz, dann weiter abwärts Bleisand, Trass und im Innenputz überall zerklopftes Ziegelsteinmehl. Der eigentliche Körper ist fast durchweg Gusswerk (Beton), inwendig verputzt und durch ein Gewölbe überdacht.

Im übrigen sind die Quellen über die Zusammensetzung des Mörtels recht spärlich oder ungenau. Namentlich war die Frage, welche Sorte Kalk genommen worden sei und ob Trass zur Verwendung gelangt, bisher offen oder wurde verschieden beantwortet. Aber auch hier gilt das soeben Gesagte: die Römer nahmen das nächste Beste im guten Sinne des Worts. So wird man in der Gegend von Köln angesichts der bequemen und billigen Rheinfahrstrasse — ausser Sand und Kleinschlag — Weisskalk mit Trass verwendet haben, auf welche Mörtelmischung ja auch

die alten Kölner Römermauern, welche im Verlaufe des 1. Jahrhunderts n. Chr. erbaut worden sind, Bonner Landhäuser usw. hinweisen. Ferner stellte Anton Hambloch fest, dass z. B. ein römischer Brunnen in Andernach am Rhein mit Trassmörtel aufgemauert ist.

Im Jahre 1869 sah Siegfried Stein aus Bonn im Stiftbachtale, nicht weit von Call, zuerst ein Stück der alten nach Köln führenden römischen unterirdischen Wasserleitung. Die Analyse des beim Bau dieses Wasserkanals benutzten Mörtels zeigte auf Dolomitkalk (?). Der vom Wasser berührt gewesene, immer geglättete Wandputz des Kanals besteht aus Dolomitkalk (?), zerklopftem Ziegelsteinmehl und zu Sand zerklopftem Feuerstein. Er ist klingend hart und fest. Ähnlich zusammengesetzten Mörtel fand derselbe auch benutzt bei der Herstellung von alten Mosaikfussböden in mehreren Kölner Kirchen und in Trierschen Römervillen. Mit anderen Worten: von Strecke zu Strecke begegnet man einem anderen Mörtel, und es wäre verfehlt, ein einheitliches Mörtelrezept anzugeben. Jedenfalls steht die Tatsache fest, dass der Mörtel des Römerkanals von einer geradezu wunderbaren Härte und Festigkeit ist, so dass z. B., als in Sötenich vor einigen Jahren mit dem Kalkstein ein Teil der Leitung mit herausgesprengt wurde, das römische Gusswerk sich stärker zeigte, als der natürliche Fels. Gleich günstige Erfahrungen machte man in Köln beim Abbruch der alten Römermauer; auch hier erwies sich der mit Trass hergestellte Mörtel härter wie der Bruchstein. Es soll nun zugegeben werden, dass gutes Material und gute Bereitung des Mörtels das ihrige zu der ausserordentlich hohen Festigkeit des in Rede stehenden Bauwerks beigetragen haben. Aber man unterschätze nicht die Mitarbeit einer Zeit von nahezu zwei Jahrtausenden und zudem die guten Bedingungen, wie Feuchtigkeit, verhältnismässig viel Kohlensäure, Eindringen von kalkhaltigem Wasser in die Poren des Mörtels, welches nach dem Verdunsten den kohlensauren Kalk in diesem zurückliess und so also verkittete und ähnliches mehr, durch welch alles der Mörtel erhärten konnte und musste.

Dass wahrscheinlich in Köln und Umgebung bis zum Vorgebirge oder noch weiter hinauf Trass in Anwendung kam, ist sehr gut erklärbar durch den Umstand, dass der mitbenutzte Weisskalk oder auch — nach Siegfried Stein — der Graukalk (Dolomitkalk) an und für sich nicht hydraulisch ist, also zu seiner Festigkeit und Wetterbeständigkeit einen besonders tüchtigen Begleiter verlangte. Dass dagegen, wie noch 1887 in vielen Zeitungen und Schriften verkündet wurde, das Geheimnis des altrömischen Mörtels sei in einer Mischung von Kalk und weissem Zucker entdeckt worden, oder wie viele Bewunderer des Mörtels glauben, dieser verdanke seine Festigkeit einem Zusatze von Chlornatrium (Kochsalz), ist eitel Phantasie und Flunkerei. Es ist ja wohl richtig, dass letzteres wie überhaupt alkalische Salze den Bindeprozess unterstützen, aber deswegen brauchen die Römer NaCl nicht verwendet zu haben. Ein Zusatz von Zucker zum Kalkmörtel zum Zwecke einer flotteren, festeren Erhärtung dagegen ist purer Unsinn, denn dieser ist für Kalk gerade das Gegenteil, ein Lösungsmittel.

Als Chemiker, Mörteltechniker und zugleich als unmittelbarer Nachbar des Eifeler Römerkanals nahm ich nun, begeistert durch die einfach grossartige Festigkeit des Mörtels im Gussbeton und Verputz, ein starkes Interesse daran, die Zusammensetzung desselben in dem hiesigen Tale von Dalbenden nach Sötenich zu erforschen. Das liebenswürdige Entgegenkommen der Herren Direktoren Karl Köller von Kalkwerk Schulz, G. m. b. H., Sötenich, und Anton Hambloch, Teilhaber der Trassfirma Gerhard Herfeldt, Andernach, setzt mich nun in die angenehme Lage, folgendes zu berichten: Herr Köller sandte eine Probe des römischen Mörtels, und zwar von der Leitung, die durch den Schulzschen Steinbruch, gegenüber dem Wachtberg bei Sötenich, führt, nach dem Königlichen Materialprüfungsamt Gross-Lichterfelde und erhielt folgende Antwort:

„Die seinerzeit dem Amt freundlichst überlassenen Materialproben vom dortigen Römerkanal haben sich bei der Untersuchung als ein fein- bis mittelkörniger, ziemlich fester und dichter Kalkmörtel erwiesen, der gröbere Trümmer verschiedener Gesteinsarten, vorwiegend Quarzit, Sandstein, Kalkstein, letzteren bis zu doppelter Faustgrösse enthielt. Der die Gesteinstrümmer verkittende Mörtel hatte folgende Zusammensetzung:

60 % quarziger Kiessand,
4 „ abschlämmbare Bestandteile — Ton und feinster Staubsand,
14,5 „ Ätzkalk,
7,5 „ lösliche Kieselsäure,
7 „ Kohlensäure,
7 „ Hydratwasser.

Hieraus berechnet sich ein ungefähres Mischungsverhältnis von:

1 Raumteil Kalkteig + 1—2 Rt. Kiessand. Auf ein Raumteil dieses Mörtels kommt ungefähr ein Raumteil gröberes Gesteinsmaterial — Schotter. — Der Beton ist mit fein- bis mittelkörnigem Kalkmörtel abgeglichen. Letzterer ist an der Oberfläche in einer Dicke von ungefähr 2 mm mit rotem, griesigen Ziegelmehl vermischt. Der Putzmörtel ist anscheinend damit oberflächlich eingerieben worden. Auf der abgeglichenen Oberschicht des Betons befindet sich eine braune, schwammigporöse, tropfsteinartige, sehr harte, kristallinische Kalkkruste von durchschnittlich 2 cm Dicke. Dieselbe ist wahrscheinlich infolge Auslaugung des Kalkes aus dem Beton durch Sickerwasser entstanden.

Die Kalkkruste besteht bis auf 6% zufälligen Beimengungen (Verunreinigungen) aus kohlensaurem Kalk[1]). Abteilung für Baumaterialprüfung. Gary.

Herr Direktor Hambloch, dem ich gleichfalls Mörtel- und Betonstücke, und zwar von der Dalbendener Leitung zur Prüfung schickte, untersuchte zu gleicher Zeit mit Hilfe des Mikroskops. Er schreibt wörtlich:

„Meine Untersuchungen über den Römermörtel sind abgeschlossen und haben also mein früheres Urteil im vollsten Masse bestätigt, nur mit dem einzigen Unterschiede, dass hier nicht ein Weisskalk, sondern ein Wasserkalk Verwendung gefunden hat.

Als Dünnschliffe habe ich zwei sehr charakteristische Stücke herstellen können, und zwar zeigt das mikroskopische Bild einen Teil des Mörtels, wie einen Teil der roten Putzschicht. Der Befund bei Einschaltung des Polarisators ist folgender:

Die Grundmasse des Mörtels lässt mit besonderer Deutlichkeit die charakteristischen Kalkkristalle neben denjenigen derselben Substanz eingelagerten Ton- und Quarzteilchen hervortreten.

Der dem Mörtel ausserdem beigemengte Sand rührt von dem feinsten Material des Betonzuschlages her und zeigt sich als ein vorwiegend aus Quarz- und Feldspatsubstanz herrührendes Sandkonglomerat, auch sind Partikelchen von Grauwacke vorhanden.

Diese Feststellungen weisen mit apodiktischer Sicherheit auf die Verwendung von Eifelkalk bzw. einem tonigen Magerkalk oder Wasserkalk hin. Zweifellos ist es der örtlichen Lage wegen Sötenicher Wasserkalk gewesen; auch die gelbliche Färbung des Mörtels unterstützt mich sehr in dieser Annahme. Bekanntlich hat der Sötenicher Wasserkalk diese gelbliche Färbung von einem beigemengten bzw. mit ihm vermischten Ton. Der Zusatz von Trass ist nirgendwo zu erkennen, was auch das Fehlen von Hornblende, Sadinin, Augitglimmer usw., lauter Fragmente des Trasses, bestätigt.

Es weist dieses Ergebnis auch auf die Kenntnis der Römer hin, dass dieselben Wasserkalk von Fettkalk zu unterscheiden vermochten und den ersteren also ohne Bedenken als selbständigen Wassermörtel benutzt haben (vergleiche den schon aus Römerzeiten bekannten und nach ihnen benannten Roman-Zement). Dass man keinen besonderen Sand hinzusetzte, mag seine genügende Erklärung in der sehr körnigen Art des Sötenicher Wasserkalkes hinsichtlich seiner unlöschbaren Teile finden. Man beschränkte sich vielmehr nur auf den feinsten Teil des im Beton bzw. Kieszuschlag enthaltenen Sandes, worauf ich auch bereits an früherer Stelle hingewiesen habe. Mit anderen Worten ist hier ein Mörtel gewonnen worden aus Wasserkalk und einem Kieszuschlage, welcher auch feinere Teile als Sand wirkend enthielt. Bestimmt man empirischerweise das äquivalente Verhältnis zwischen Wasserkalk und Kieszuschlag, so kommt man durch Bestimmung des Mörtels zum Kies, indem man den ersteren aus einem grossen Betonstück pulvert und dann die Menge zu dem in diesem Stück enthaltenen Kieszuschlag wiegt, dass eine Mischung angenommen worden ist, etwa in

1) Diese Kalkkruste ist der schon vorhin erwähnte Kalksinter, der in der Gestalt von Marmorsäulen, Treppen und Platten die ornamentale Verwendung fand.

der Zusammensetzung: 1 Raumteil Kalk und 4—4½ Raumteil Sand und Kies. Es handelt sich also um eine für unsere Verhältnisse ausserordentlich fette Betonmischung.

Dass aber andererseits auch die Römer die Eigenschaften von Ziegelmehl als künstliche Puzzolane zum Kalk gekannt haben, erklärt die rote Putzschicht des Gussmörtels der römischen Wasserleitung. Allerdings sieht man in der roten Putzschicht bei gekreuzten Nikols und beim Drehen des Objekttisches nur sporadisch auftretende Kalkkörner.

Die Römer haben also das Ziegelmehl nur wegen seiner Feinpulvrigkeit und der damit erzielbaren Glätte mit dem geringstmöglichen Kalkzusatze als erhärtendem Faktor vorwiegend behandelt. Dass aber die Putzschichten fast nur aus Ziegelmehl bestehen, dafür ist nicht der mindeste Zweifel vorhanden. Von einer diffusen Färbung, etwa durch Eisenoxyd, kann hier gar nicht gesprochen werden, weil auch weiterhin Aggregate des Ziegelmehls im Mikroskop als gesinterte Körper, die einen Schmelzprozess durchgemacht haben, erscheinen.

In der beigegebenen Abbildung eines Dünnschliffs bezeichnet die Partie *a* einen Teil des vorzüglichen Mörtels aus Wasserkalk und Sand. Die Gleichmässigkeit dieses Bildes beweist die vorzügliche Umbildung des Kalkes in Kalkkristalle. Die zweite Schicht, mit *b* bezeichnet, ist ein Teil des Gussbetons, und weisen die verschiedenen schwarzen Stellen auf die Steinbrocken hin, die natürlich auf dem Dünnschliffe nur schwach sichtbar sein können. Die Partie *c* stellt den roten Putz dar, in welchem sich verhältnismässig viel kalkige Teilchen als Bindematerial zum Ziegelmehl befinden. Allgemein ist aber, und dies ist z. B. auf dem zweiten Dünnschliffe, der aber sonst wenig gut ausgefallen ist, der Fall, dass das Ziegelmehl gegenüber den Kalkteilchen die vorherrschende Stellung einnimmt."

Mörtelstück von der röm. Wasserleitung bei Dalbenden (Eifel).

Auffallend ist die von Gross-Lichterfelde und Herrn Hambloch festgestellte fette Betonmischung 1 Teil Kalk : etwa 2 Teilen Sand und Schotter bzw. 1 : 4—4½. Dass sich die beiden ermittelten Verhältnisse hinsichtlich der Mörtelmenge zum Schotterzuschlag bei den Probestücken nicht direkt decken, ja eine verhältnismässig grössere Abweichung aufweisen, hat einfach in der Auswahl der betreffenden Muster seinen Grund und ist daher ohne Belang. Im übrigen kommen beide Prüfungsergebnisse zu dem von manchem Fachmann wohl nicht erwarteten Schluss, dass zur Bearbeitung des Mörtels — soweit wenigstens die Wasserleitung von Dalbenden nach Sötenich in Frage kommt — Trass nicht verwendet wurde. Die besondere eigentümliche Festigkeit des Bauwerks ist also einzig und allein, abgesehen von den schon hervorgehobenen günstigen Bedingungen und der Länge der Zeit — dem Sötenicher Wasserkalk zuzuschreiben, und zwar sind es ohne Zweifel die jetzigen Brüche von Kalkwerk Schulz gewesen, welche den Römern Stein und den Kalk geliefert haben.

Darauf hin deutet auch die Übereinstimmung der Kalksteinschotterstücke im Gusswerk in Gefüge und Aussehen mit dem Kalkstein in den heutigen Schulzschen Brüchen, an einer jetzt verlassenen Stelle, wo vermutlich die Römer ihren Stein gebrochen haben. Auffallend und auf den ersten Blick befremdend ist allerdings der

niedrige Kalkgehalt im Verhältnis zur löslichen Kieselsäure 14,5 : 7,5, also rund 2 : 1, während der Sötenicher Wasserkalk etwa 8 : 1 durchschnittlich aufweist. Diese Tatsache findet jedoch eine befriedigende Erklärung in dem Umstande, dass der nicht durch die Kieselsäure gebundene, also freie Kalk zum grösseren Teile durch die Sickerwasser gelöst und weggewaschen wurde, eine Erscheinung, wie wir sie unter gleichen Bedingungen bei jedem Mörtelkalk sehen.

Aus den schätzenswerten Prüfungsergebnissen ist also als Kern herauszuschälen, dass von den Römern im Dalbenden-Sötenicher Tal einerseits Trass nicht verwendet wurde und dass andrerseits — was bisher wohl kaum bekannt war — schon die Alten kurz nach dem Anfang unserer Zeitrechnung die guten Eigenschaften eines, wenn auch mässig hydraulischen Kalkes zu schätzen und mit dessen Herstellung und Bereitung zu Mörtel ausgiebigen Bescheid wussten. Dass zu dieser Mörtelmischung ein besonderes, jetzt nicht mehr auffindbares Verfahren angewendet worden sei, wie manche behaupten wollen, darf wohl in das Reich der Fabel verwiesen werden. Der Zusatz für den Fachmann sei noch gestattet, dass der Sötenicher Kalk, wenn er auch in die Klasse der sog. schwachhydraulischen Kalke eingereiht werden muss, ein ausgesprochener Wasserkalk ist. Denn er erhärtet nicht allein im Wasser und in feuchter Umgebung, sondern seine Erhärtung nimmt auch mit der Zeit immer mehr zu.

Die chemische Analyse des Kalksinters ist nach C. A. Eick: Die römische Wasserleitung aus der Eifel nach Köln (Bonn, 1867):

	Sinter von Kalmuth, als Niederschlag aus den Hauptquellen des Urfttals	Sinter von Burgfey, als Niederschlag nach Einführung der Hausener Quellen
In Säure Unlösliches (eisenhalt. Ton)	0,145 %	3,550 % (+ Quarzsand)
Kohlensaure Kalkerde	98,880 „	95,251 „
Kohlensaures Eisenoxydul	0,312 „	0,589 „
Eisenoxydhydrat	0 015 „	0,004 „
Organische Beimengungen	—	0,052 „
Chlor	Spuren	Spuren

Angeregt durch vorstehende Abhandlung übergab mir freundlicher Weise Herr Direktor Franz Lüttgen vom Kalkwerk Frz. Zilkens, Sötenich, eine Analyse des Eifelkanalmörtels von ebenfalls der Sötenicher Strecke, welche er im Juli 1895 gemacht hat. Seine Ergebnisse decken sich — wenn man den Unterschied in der Wahl der beiden Muster berücksichtigt — mit denjenigen von Grosslichterfelde.

Sand und Ton	66,90 %
Ätzkalk	17,80 „
Magnesia	0,79 „
Eisenoxyd-Tonerde	6,10 „
Lösliche Kieselsäure	8,35 „
	99,94 %.

B. Der gemahlene hydraulische Kalk.

In der Regel wird darunter ein Wasserkalk verstanden, welcher vorher abgedämpft und dann gemahlen und gesiebt wird. Diese Marke soll zuerst erörtert werden; die Besprechung des „ungedämpften“ gemahlenen hydraulischen Kalkes erfolgt später.

In Frankreich stand die Wiege des „gemahlenen“ Kalkes. Die jetzt etwa 50 Jahre alte Kalkmühlen-Industrie wurde dort durch die Umstände geboten. Diese sind zu suchen in dem besonders hohen Tongehalt einer Menge

französischer Mergel, welche sich nach dem Brand als Stückkalk teilweise schwer oder gar nicht ablöschen und nur in feinst zerteiltem Zustand der weiteren Einwirkung des Wassers bei der Mörtelbereitung geneigt sind. Die Fabrikation des sog. Sackkalks (Feinkalks) nahm dann ihren Weg über die ebenfalls viele hochtonhaltige Mergel aufweisende Schweiz, über Belgien, und weiter über Elsass-Lothringen nach Deutschland, welches jetzt unzählige Mahlwerke aufweist. In der Rheinprovinz war es das schon mehrfach erwähnte Kalkwerk Schulz, Sötenich, welches im Anfang der neunziger Jahre des vorigen Jahrhunderts zuerst die Herstellung des gemahlenen hydraulischen Kalkes aufgriff.

In Westfalen hatten schon vor mehr als 30 Jahren die Wickingwerke Mahlanlagen in Beckum betrieben, welche allerdings nach kurzer Zeit stillgelegt wurden, weil sich der gemahlene Wasserkalk damals noch keinen Eingang verschaffen konnte. Wie anders jetzt der Westfalenkalk mit seiner gebietenden Machtstellung!

Die Aufbereitung besteht vorab in dem Abdämpfen des Brenngutes, wobei es selbstverständlich nicht auf die Grösse der einzelnen Kalkstücke ankommt. Selbst die Asche geht mit in die Aufbereitung, und dies ist ohne Anstand zu gestatten, weil sie ebenso, wenn nicht höher hydraulisch ist als der Stückkalk. Der ewigen Unwahrheit — um nicht zu sagen Lüge —, dass die Asche „Dreck“ sei, kann nicht häufig genug widersprochen werden.

Während der Stück-Wasserkalk einen verhältnismässig tonärmeren Kalkmergel verlangt, ist diese Rücksicht bei dem „gemahlenen“ nicht geboten — wenigstens nicht in gewissen Grenzen. Gewöhnlich wird alles, was der Bruch gibt, mit Ausnahme der sehr tonreichen Mergel, gebrannt, gedämpft und gemahlen. Selbst Weisskalk. Um ein wenigstens halbwegs einheitliches Produkt zu erhalten, ist es nur nötig, zu gattieren, d. h. tonärmere und -reichere Steine — immer wieder in gewissen Grenzen — in einem passenden Verhältnis dem Ofen zu überliefern. Wie man zuverlässige Proben in einem Steinbruch nimmt, darüber gibt eine Abhandlung in der Tonindustrie-Zeitung, Berlin Nr. 45 — Jahrgang 1905 — Seite 524 und 525 belehrender Aufschluss.

Auch die Brenntemperatur spielt nicht die Rolle wie bei dem Stückwasserkalk. Im Gegenteil, man brennt verhältnismässig höher, so dass manche Stücke versintern und verschlacken. Gerade dadurch wird der Kalk besonders hydraulisch, weil ein vollkommener Aufschluss der Tonsubstanz stattfindet. E. Leduc sagt in seiner Abhandlung „Über die hydraulischen Kalke und Krebs-Zemente*):

„Der Brenngrad hat sich in erster Linie den Eigentümlichkeiten des Rohkalkes anzupassen. So verfügte ein gewisses Werk über vorzüglichen Rohstoff und erzielte trotzdem nur sehr mittelmässige Ware. Nach jahrelangem Hin- und Hersuchen, in dessen Verlauf sich die Kundschaft nach und nach verlor, entschloss man sich auf meinen Rat hin, bei etwas höherer Hitze zu brennen. Dann wurde das Brennergebnis wie folgt behandelt: Vom Ofen weg wurden zwei getrennte Haufen *A* und *B* aufgefahren, die beide durch Bewässern trocken abgelöscht wurden. Nachdem der Löschvorgang beendet war, wurde der Haufen *A*, wie er war, ohne Auslesen der nicht zerfallenen

*) Tonindustrie-Zeitung Nr. 142, Jahrgang 1906 Seite 2125.

Stücke gemahlen und als „schwerer“ hydraulischer Kalk verkauft. Der Haufen *B* wurde auf einer Brechmaschine gröblich zerkleinert und dann abgesiebt. Das feine Hydratmehl gab den „leichten“ hydraulischen Kalk, der Rest wurde gemahlen und als „Krebs-Zement“ gesondert verkauft. Alle drei Erzeugnisse wurden im Silo so lange gelagert, bis sie sich in dem Nadelring von Le Chatelier als vollkommen raumbeständig erwiesen. Zu ihrer nun folgenden chemischen Zusammensetzung sei bemerkt, dass der Krebs-Zement einen ungewöhnlich hohen Glühverlust und dementsprechend auch geringere Festigkeiten besass, als ähnliche Erzeugnisse aufzuweisen haben. Dies lag an ungenügender Vorzerkleinerung. Die Krebse enthielten noch zu viel löschbaren Kalk.

	leichter hydraulischer Kalk v. H.	schwerer hydraulischer Kalk v. H.	Krebs-Zement v. H.
Sand	0,15	0,60	1,10
Verbindungsfähige Kieselsäure	13,45	15,10	19,40
Tonerde	2,35	2,80	4,31
Eisenoxyd	1,50	1,80	2,30
Kalk	67,40	66,40	64,00
Magnesia	0,90	0,87	0,86
Schwefelsäure	1,00	0,96	0,75
Glühverlust	13,20	11,45	7,25
Zugfestigkeit nach:	kg/qcm	kg/qcm	kg/qcm
2 Tagen: rein	1,3	10,5	9,8
1 : 3	0,5	6,0	6,5
1 Woche: rein	5,7	18,7	22,0
1 : 3	4,8	13,5	11,8
4 Wochen: rein	11,0	26,7	32,0
1 : 3	8,8	19,2	16,8
12 Wochen: rein	16,7	28,0	33,3
1 : 3	10,2	24,5	18,5

Aus den mitgeteilten Zahlen geht deutlich hervor, wie durch sachgemässes Behandeln des gebrannten Kalkes anstatt der früheren wertlosen, unverkäuflichen Ware ganz hervorragende Erzeugnisse erzielt werden können.“

Hinsichtlich der Gattierung, zum Zwecke der Herstellung einer einigermassen gleichmässigen Marke ist eine ständige Kontrolle des Steins nötig, entweder durch den Augenschein, der jedoch manchmal trügt, oder durch die Analyse. Diese beschränkt sich, wie schon dargelegt, auf die Bestimmung der Kohlensäure oder des Tongehalts.

E. Leduc*) sagt weiter: „Wenn man diese Untersuchung unterlässt, so geschieht dies oft darum, weil man die Beschaffenheit der Ablagerung für gleichmässiger hält, als es tatsächlich der Fall ist. Zu welchen Trugschlüssen dies führen kann, zeigt folgendes Beispiel: Einem Kippwagen wurden 20 Kalksteine vor dem Einwerfen in den Ofen entnommen. Ihre chemische Untersuchung ergab:

Nr.	Tongehalt v. H.	Nr.	Tongehalt v. H.	Nr.	Tongehalt v. H.	Nr.	Tongehalt v. H.
1	15,0	6	14,9	11	15,5	16	16,7
2	16,9	7	15,0	12	57,4	17	22,5
3	22,9	8	17,1	13	19,9	18	18,5
4	15,3	9	11,9	14	18,8	19	19,8
5	14,9	10	17,5	15	34,1	20	30,4

*) Ebendaselbst Nr. 139, Jahrgang 1906 Seite 2073.

Um ein wirklich gleichmässiges Erzeugnis zu erzielen, müssten zweifellos die Schichten von der Zusammensetzung von Nr. 3, Nr. 9, Nr. 12, Nr. 15, Nr. 17 und Nr. 20 ausgeschaltet werden, denn niemand wird behaupten wollen, dass man einen Mergel von 12 v. H. Tongehalt bei derselben Hitze brennen kann als einen solchen von 57,4 v. H. Tongehalt. Alle diese Schichten führen lediglich zu einer Betriebserschwerung. Als das betreffende Werk schon im Steinbruche die entsprechende Ausscheidung eintreten liess, konnte es mit seinen Erzeugnissen Absatzgebiete erobern, die ihm bis jetzt verschlossen gewesen waren, und ausserdem einen höheren Verkaufspreis erzielen, so dass der Mehraufwand an Arbeit für das Aussondern mehr als ausgeglichen war.

Gerade kennzeichnend für viele Verhältnisse waren die eines anderen Werkes. In seiner nächsten Umgebung lagen ältere Werke, die anerkannt vorzügliche Kalke lieferten. Die Ablagerungsverhältnisse schienen für die ganze Gegend dieselben zu sein, so dass man mit bestem Vertrauen an den Bau des fraglichen Werkes ging. Trotzdem wollte in den ersten Jahren der ausgebrachte Kalk nicht befriedigen. Man entschloss sich zu einer eingehenden Untersuchung des Bruches und fand:

	1	2	3	4	5	6	7	8
Sand	0,20	0,70	0,10	0,40	0,70	1,25	0,25	0,50
Geb. Kieselsäure	20,10	18,45	9,10	16,15	25,20	18,25	16,55	23,40
Tonerde	0,95	0,70	1,07	0,50	1,05	1,70	1,50	3,25
Eisenoxyd	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,35	1,00
Kalk	43,40	44,20	49,60	45,95	40,30	43,15	43,60	23,95
Magnesia	0,30	0,30	0,30	0,20	0,20	0,25	1,08	12,78
Schwefelsäure	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,08
Glühverlust	34,70	35,75	39,45	36,40	32,20	35,00	36,50	35,00

Der Kieselsäuregehalt schwankt also zwischen 9 und 25 v. H. Schicht 8 enthält ausserdem 12,78 v. H. Magnesia, was nach aller bisherigen Kenntnis der örtlichen Lagerungsverhältnisse niemand erwarten konnte. Man sieht, welchen Überraschungen man ausgesetzt sein kann, wenn man allzu vertrauensselig auf die Bruchzusammensetzung ist, und wie auf der genauen Kenntnis der zur Verfügung stehenden Ablagerungen sich der ganze Fabrikbetrieb aufbauen muss.

Noch lehrreicher ist der folgende Fall: Ein Kalkwerksbesitzer kann sich gar nicht genug darüber wundern, dass sein hydraulischer Kalk nichts taugt. Trotz verlängerter Silolagerung will er nicht ablöschen. Und doch ist in allernächster Nachbarschaft eine Fabrik, die vorzügliche Ware herstellt. Bei der Analyse des Siloinhaltes findet man 42 v. H. Tongehalt. Jetzt war das Rätsel gelöst. Solcher Kalk wird niemals löschen, und auch durch Mahlen nicht besser werden. Zerfällt er unter Wasser auch nicht vollständig, so kann er doch höchstens nur ganz ungenügende Festigkeiten geben. Bei der Prüfung des Bruches fand man zwei Schichten, deren Tongehalt viel zu hoch war. Der Brennversuch ergab bei Mitverwendung dieser beiden Schichten dasselbe wertlose Zeug, wie man es im Silo vorgefunden hatte. Als man die fraglichen Ablagerungen ausschied, gelang es auch im Betriebe, einwandfreien Kalk zu erzeugen."

a. Gedämpfter gemahlener hydraulischer Kalk.

Das Ablöschen und die verschiedenen Löschmethoden, -apparate und -einrichtungen.

Die Zugabe des Wassers ist in engen Grenzen zu halten: ein „viel zu wenig" macht den Sackkalk später im Mörtel treibend, ein „zuviel" macht ihn klumpig, so dass er die Siebe verstopft und die Fabrikation in erheblicher Weise erschwert. Man löscht ihn daher „unvollkommen" ab. Das aufgenommene Wasser entspricht nicht dem Durstbedürfnis des freien Ätzkalks, dieser ist nicht gänzlich chemisch hydratisiert, so dass der Wassergehalt z. B. in den später folgenden Analysen bei voller Sättigung um 6—8 % höher sein müsste. Die gewöhnlich in den Loren überbrausten Massen werden dann in geräumige Silos abgestürzt und dort etwa zwei oder mehr Wochen dem Selbstlöschprozess überlassen. Diese Zeit ist durchaus nötig, damit der Kalk später nicht im Sack oder im Mörtel treibt. Bei starker Nachfrage läuft mitunter ganz junger Kalk in die Welt, und Schadenrechnungen des Verbrauchers an den Fabrikanten in oft bedeutender Höhe sind die unausbleibliche Folge. Dem Verfasser ist ein Fall bekannt, in welchem es sich um 40000 M. — geschrieben vierzigtausend Mark — für die vollständige Erneuerung des Verputzes an weitläufigen Kasernenbauten im Elsass handelte. Muss absolut ein zu frischer „gemahlener" in der Not geliefert werden, so sollte der Fabrikant den Abnehmer hiervon in Kenntnis setzen und ihm aufgeben, den Mörtel länger wie gewöhnlich im Saft stehen zu lassen. Es gibt nun auch Selbstlöschapparate, u. a. lange geschliffene Mulden, in welchen das kalte Löschwasser durch an verschiedenen Stellen angebrachte Düsen dem am Kopfende eingeworfenen Kalk begegnet, der durch sich drehende Rührflügel bewegt wird. Nach Klehe geben zwei der Raumersparnis wegen übereinander angeordnete Mulden von je 6 m Länge und 60 cm Querschnitt bei einhalbstündiger Löschdauer in 10 Arbeitsstunden 8500 kg trocken gelöschten Kalk. Ferner gibt es die kugelförmigen oder zylindrischen rotierenden Löschtrommeln mit Rührarmen an den Wellen, in denen das Löschen des Kalks mittels Wasserdampf von hoher Spannung — meist 8 Atmosphären — vor sich geht*). Ein amerikanisches Trockenlöschverfahren für Grossbetriebe bedient sich eines Turmes mit schiefen Ebenen, auf welchen der Kalk abwechselnd hinuntergleitet, wobei ihm von unten nach oben Dampf entgegengeführt wird. Eine andere Methode in Nordamerika bringt den Stückkalk erst auf ein gleichmässiges Korn von etwa 3 mm Dicke. Dieser Kalkgries fällt in eine selbsttätige Wage, in welcher — je nach der leichteren oder schwereren Löschbarkeit des Materials — Sätze von 665—900 kg abgewogen werden. Jeder Satz gleitet für sich in die rotierende Löschpfanne mit 15 Pflügen und erhält in dieser einen ein für allemal festgesetzten Wasserzusatz. In einigen Minuten soll der Kalk abgelöscht sein. Gegen diese selbsttätige flotte Aufbereitung nimmt sich das in kleineren Werken geübte und noch dazu unsichere Ablöschen des Kalkes auf einer Tenne armselig aus.

In neuerer Zeit hat Dr. W. Schulthess, Ingénieur-Chimiste, Paris, einen patentierten Kalklöschapparat mit grossem Erfolge in die Industrie eingeführt, dessen Beschreibung jetzt folgt.

---

*) Siehe Kiepenheuers „Kalk und Mörtel" Seite 179, 180, 245, 376.

Der Kalklöschapparat besteht aus einem gut isolierten oder mit Doppelwand versehenen, wagerechten Behälter, in dessen Mitte eine Welle drehbar gelagert ist, auf welcher ein ebenfalls zylinderförmiges Sieb, sowie eine Anzahl von Misch- und Förderflügeln befestigt sind. Der gebrannte Kalk wird in dieses Sieb mittels eines Einfülltrichters und eines entsprechenden Anschlussstutzens eingeführt, die am Ende des Apparates angebracht sind; der Kalk wird in der Weise gelöscht, dass man Wasser durch die hohle, mit kleinen Öffnungen versehene Welle auf ihn fliessen lässt. Das durch die Siebmaschen gefallene Gut wird hierauf der reibenden Wirkung des sich drehenden Siebes ausgesetzt und dann den Misch- und Förderflügeln zugeführt, die es innig bearbeiten und nach der Austrittsöffnung befördern.

Fig. 1 stellt einen Längsschnitt dieser Kalklöschvorrichtung dar.

Fig. 2 zeigt eine Draufsicht derselben Vorrichtung.

Ein zylinderförmiger, aus Eisenblech bestehender Behälter (1), der wie bereits erwähnt mit heizbarer Doppelwand oder aber mit einer guten Isolation versehen sein muss, ist an einem Ende mit einem Einfülltrichter (2) versehen, mit welchem er mittelst eines beweglichen Gitters (3) in Verbindung gesetzt werden kann.

Dieser Behälter ist des weitern mit einer Welle (4) versehen, deren eines, dem Einfülltrichter (2) benachbartes Ende ein grobmaschiges Sieb (5) trägt; auf dem Umkreis dieses zylinderförmigen Siebes ist eine Schnecke (6) befestigt, dazu bestimmt, den durch die Siebmaschen fallenden Kalk in den hintern Teil des Behälters (1) zu schaffen. Das Gerüst dieses Siebes wird durch die Arme (7 und 8) getragen; den in der Mitte des Siebes angebrachten Armen (7) ist die Form von Förderflügeln gegeben; sie dienen dazu, den aus dem Einfülltrichter in das Sieb gefallenen Kalk unter dem Einfluss der drehenden Bewegung in dessen hintern Teil zu bringen.

Das Sieb ist auf der dem Einfülltrichter zugekehrten Seite offen und mit letzterem mittelst des Stutzens (9) verbunden; dieser Stutzen ist mit einer kreisförmigen Nut (10) versehen, in welcher der Kopf des Siebes läuft, zum Zwecke, ein Durchfallen des Kalkes zwischen Stutzen und Sieb und damit eine rasche Abnützung dieser Teile während der Drehung der Welle zu verhindern.

Der Stutzen (9) ist mit einer Öffnung versehen, die mittels einer beweglichen Klappe (11) verschlossen ist. Durch diese Öffnung können alle nicht löschbaren, im Sieb verbleibenden grössern Kalksteine, Schlacken, Koks u. dgl. zeitweise entfernt werden.

Der Behälter ist ferner mit einem Dunstrohr (12) versehen, das oberhalb des Siebes angebracht ist; desgleichen hat er in der hintern Stirnwand eine seitliche Öffnung (13) nebst einem Stutzen (14) behufs Entleerung des gelöschten Kalks. Die Welle (4) ist auf der ganzen Länge des Siebes hohl und mit kleinen Öffnungen (15) versehen, welche das zur Löschung des Kalkes nötige Wasser fein zerteilt austreten lassen; die Welle kann mittels der Antriebsscheibe (16) in Bewegung gesetzt werden; sie trägt eine Reihe von entsprechend gestellten Schaufeln (17), zum Zwecke, den Kalk aufs innigste zu bearbeiten, zu mischen und in den hintern Teil der Vorrichtung zu bringen.

Die Arbeitsweise mit diesem Apparat ist die folgende:

Nachdem durch einige Vorversuche festgestellt worden ist, wieviel Wasser

zur vollkommenen Löschung des Kalkes nötig ist, wird in den Einfülltrichter eine gewisse Menge Kalk eingefüllt und hierauf Wasser in der Weise durch die hohle Siebachse zugeleitet, dass in der Zeiteinheit soviel Kalk in den Einfülltrichter eingefüllt wird, als der in derselben Zeiteinheit zufliessenden Wassermenge entspricht; man hat mit Beginn der Wasserzuführung die Welle (4) durch Einschalten der Antriebscheibe (16) in Drehung versetzt. Die eintretende Löschung verwandelt die Kalkstücke in ein Gemenge von feinem Pulver, kleinen Stücken und kleinen, feuchten Kalkknollen, die durch die Öffnungen des Siebes auf den Behälterboden fallen. Der zwischen Siebumfang und Behälterboden befindliche Raum wird rasch durch das durchfallende Gut angefüllt und es übt das sich drehende Sieb infolgedessen einen gewissen Druck, eine reibende Wirkung auf letzteres aus, wodurch die feuchten Kalkknollen zerdrückt werden. Diese Wirkung des sich drehenden Siebes wird noch bedeutend verstärkt durch die auf dem Siebumfang angebrachte Förderschnecke (6) die das Gut vorwärts und den Mischflügeln (17) zuschiebt. Von diesen wird es aufs innigste bearbeitet und unter der Entwicklung des durch den Löschvorgang entwickelten Wasserdampfes fertig gelöscht. Der so gelöschte Kalk tritt ununterbrochen aus der Austrittsöffnung (13) aus und ist beinahe vollkommen frei von Kalkkörnern. Zur Entfernung aller Fremdteile, kleiner Stücke ungebrannten Kalkes, vom Brennen herrührende Schlacken, Koks und dgl. wird der Entleerungsstutzen (14) mit einem auf der Zeichnung nicht ersichtlichen Feinsieb verbunden, durch welches der Kalk bei seinem Austritt fällt.

Um ein Festsetzen des durch die Schnecke (6) nicht mitgenommenen Kalkes in dem ringförmigen Raum zwischen dem Siebe (5) und den entsprechenden Teil des Zylinders zu vermeiden, ist letzterem eine kegelförmige Form gegeben, wie es in Fig. 1 mit strichpunktierten Linien angegeben ist, so dass der Kalk immer in einen erweiterten Raum gelangt und sich nicht festsetzen kann.

Das Produkt bildet ein äusserst feines, vollkommen trockenes Pulver, das sich durch grosse Regelmässigkeit auszeichnet.

Der eben beschriebene Apparat kann auch für periodischen Betrieb verwendet werden. Zu diesem Behufe wird eine bestimmte Menge, stets die gleiche, Kalkes in den Fülltrichter (2) eingeführt, der gegen das Sieb hin mittels des beweglichen Gitters (3) abgeschlossen ist; andererseits bringt man die zur Löschung des Kalkes nötige Menge Wasser in einen auf der Zeichnung nicht ersichtlichen Behälter. Durch Zurückziehen des gitterförmigen Schiebers 3 bewirkt man, dass der in dem Einfülltrichter befindliche gebrannte Kalk in das Sieb fällt; gleichzeitig lässt man das im Behälter befindliche Wasser durch die Öffnungen (15) auf den Kalk fliessen, worauf sich der oben beschriebene Löschprozess vollzieht.

Das Dunstrohr (12) wird zweckmässig mit einem Kondensator nach Patent Schulthess versehen, das erlaubt, sämtlichen durch dieses Dunstrohr mit den Wasserdämpfen entweichenden Kalkstaub niederzuschlagen und in Form von Kalkmilch, die als Löschwasser verwendet wird, wieder in den Apparat einzuführen; jeder Kalkverlust wird so vermieden, jede Staubbelästigung auch nach aussen unmöglich gemacht und gleichzeitig eine beträchtliche Vorwärmung des Löschwassers erzielt, die für den Löschprozess sehr vorteilhaft und für bestimmte Kalksorten sogar nötig ist.

Fig. 1.

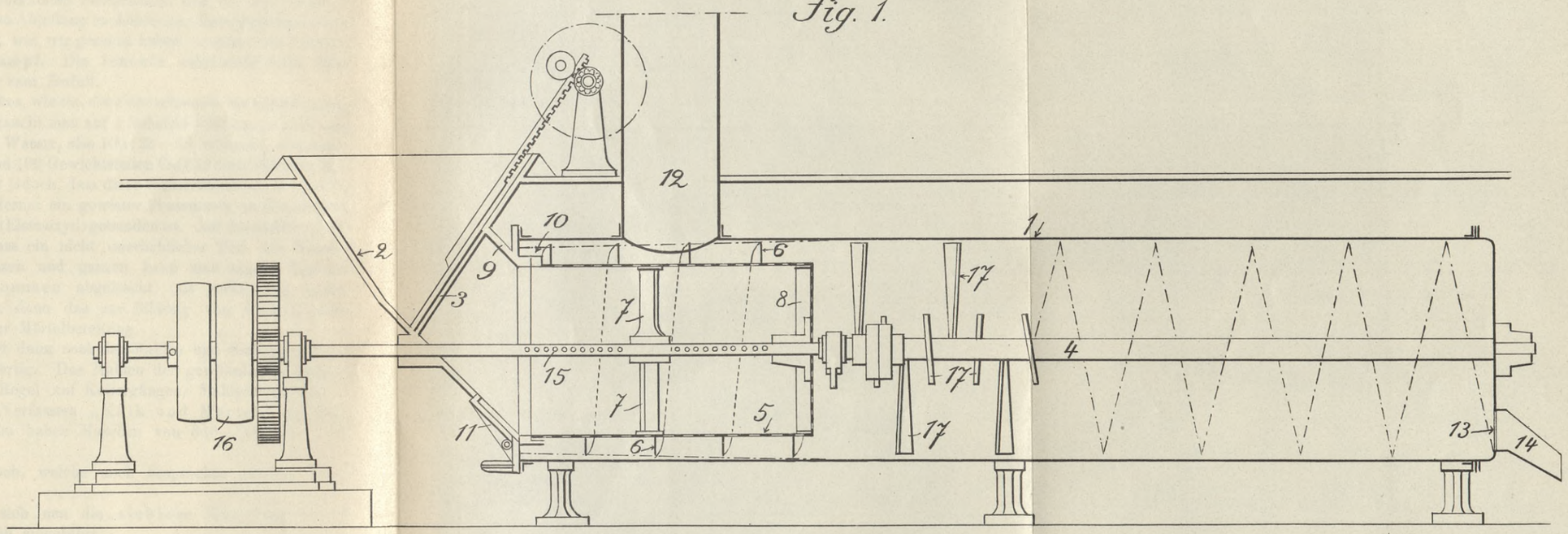
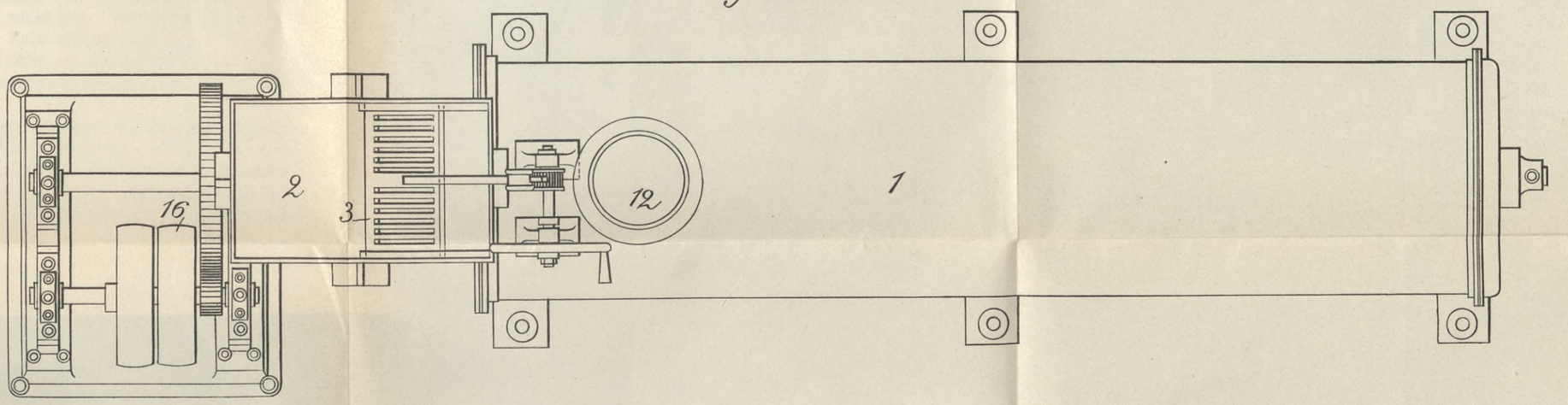


Fig. 2.



Lith. Carl Georgi, Bonn.

BIBLIOTEKA
KRAKÓW
Politechniczna

Nach dem Verfahren D.R.P. 188307 J. von Jannes Reanney jr. in Rider Post Office (Maryland, U. St. A.) erfolgt das Löschen des Kalkes dadurch, dass Kalkmasse und Löschwasser in einem geschlossenen, liegenden Zylinder fortwährend in Bewegung gehalten werden. Diesen Bewegungen vermögen nur die leichteren Teile der Löschmasse zu folgen, während die schwereren auf durch Rippen gebildete Hindernisse stossen, welche die noch nicht gelöschten Kalkteile, sowie Steine und Unreinigkeiten zurückhalten und nur die fertig gelöschte Menge über ihren Rand, von Abteilung zu Abteilung, hinweggleiten lassen.

Das Trockenlöschen ist also, wie wir gesehen haben, weniger ein Löschen mit Wasser, als mit Wasserdampf. Die feuchte anhaltende hohe Hitze hydratisiert und treibt den Kalk zum Zerfall.

Für das Ablöschen eines Kalkes, wie ihn etwa der schwach- bis mittelhydraulische Sötenicher vorstellt, gebraucht man auf 1 Scheffel = 40 kg, je nach dem Ätzkalkgehalt desselben, 10—13 l Wasser, also 100 : 25—33, während, wie früher erwähnt, für die Hydratisierung von 100 Gewichtsteilen CaO 32 Gewichtsteile H_2O nötig sind. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass diese Wasserkalke nur etwa 80 % CaO enthalten, von welchen wiederum ein gewisser Prozentsatz an Kieselsäure, Tonerde und „eiseniger Säure“ (Eisenoxyd) gebunden ist. Auf der anderen Seite darf nicht vergessen werden, dass ein nicht unerheblicher Teil des Wassers als Dampf verdunstet. Im grossen und ganzen kann man sagen, dass der gemahlene Kalk eher unvollkommen abgelöscht, als vollständig hydratisiert ist. Dies schadet nichts, denn das zur Bildung von CaH_2O_2 etwa fehlende Wasser erhält er bei der Mörtelbereitung.

Dem Selbstlöschprozess folgt dann noch das Mahlen und Sieben, und der Kalk ist im Sack — gebrauchsfertig. Das Mahlen der gewöhnlichen hydraulischen Kalke geschieht in der Regel auf Kollergängen, Mahlgängen oder in Kugelmühlen. Sie sind in des Verfassers „Kalk und Mörtel“ auf Seite 186—191 beschrieben. Die Siebe haben Maschen von 340—500 pro □ cm, je nach der Güte der Marke.

Die sog. Zementkalke jedoch, welche noch besprochen werden, haben ein feineres Korn.

Seit einigen Jahren hat sich nun die sieblose Kugelmühle mit Windseparator sehr erfolgreich eingeführt.

Diejenige von Gebr. Pfeiffer, Kaiserslautern, ist in des Verfassers „Kalk und Mörtel“ auf den Seiten 187—192 einer eingehenden Würdigung unterzogen worden. Der frühere Vorwurf einer Entmischung des Mahlgutes ist nach den Äusserungen anerkannt hervorragender Fachleute, wie Michaelis, Naske, Meyer, Meode u. a., nicht stichhaltig. Zudem spricht der beispiellose Absatz der Windsichter in der Kalkmahl-Industrie gegen die Möglichkeit einer Entmischung. Das Modell 1909 hat namentlich in den Hauptfunktionen, der Aufnahme und der Abscheidung des Staubes, eine wesentliche Verbesserung gebracht.

Einem einzigen Bedürfnis vermochte der zu hoher Vollkommenheit ausgestaltete Separator nicht zu genügen: der Herstellung allerfeinster Mehle. Es ist zwar erwiesen, dass der Separator von dem zu behandelnden Material vorzugsweise die feinsten Teile abscheidet, daneben werden aber mehr oder weniger gröbere Teilchen mitgeführt, je nachdem man den Luftstrom verstärkt oder abschwächt.

Dem Erfinder des Separators, Robert Moodie, gelang es nach vielen Versuchen, eine wirklich geniale Lösung der angedeuteten Frage zu finden,

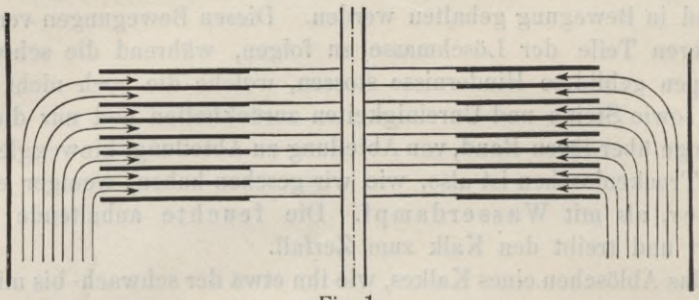


Fig. 1.

während die Spezialfirma Gebr. Pfeiffer auch diese Maschine mit grösstem Erfolge eingeführt hat.

„Wie bekannt, besteht der Wind-Separator aus zwei Haupträumen, dem Staubsättigungs- oder Aufnahmeraum und dem Abscheideraum; ein im Separator angebrachter Ventilator bewirkt die ständige Zirkulation der Luft, die den Staub in dem einen Raum aufnimmt und im zweiten wieder abgibt, um dann das gleiche Spiel von neuem wieder zu beginnen. Der Selektor besitzt diese beiden Haupträume ebenfalls, weist aber neben anderen Unterschieden noch ein sehr wichtiges Element auf, welches hierstehend abgebildet ist. Es ist dies ein System von Scheiben oder Tellern, die in geringem Abstand voneinander so angeordnet sind, dass der Staubluftstrom sie auf dem Wege vom Sättigungs- nach dem Abscheideraum passieren muss. Die Teller oder Ringe sind mit dem Ventilator und der Streu-Vorrichtung verbunden und werden mit dieser in Umdrehung versetzt. Der von unten in der Richtung der Pfeile ankommende Staubluftstrom wird durch die Schleuderteller in viele dünne Schichten oder Strahlen zerlegt. Auf dem wagerechten Wege durch die Zwischenräume sinken naturgemäss die grösseren und schwereren Teilchen jeder Schicht nach unten. Sie kommen so in Berührung mit den schnell umlaufenden Tellern, werden durch die Zentrifugalkraft nach aussen geschleudert, wo der Luftstrom weniger stark ist und fallen hier nach unten in den Griestrichter. Die feinsten Staubteilchen dagegen unterliegen dem Einfluss der Zentrifugalkraft nicht, sondern werden durch die Teller in den Staubabscheideraum geführt. Die Regelung der Feinheit kann sowohl durch den Luftstrom wie durch die Einstellung der Teller auf grössere oder geringere Abstände geschehen.

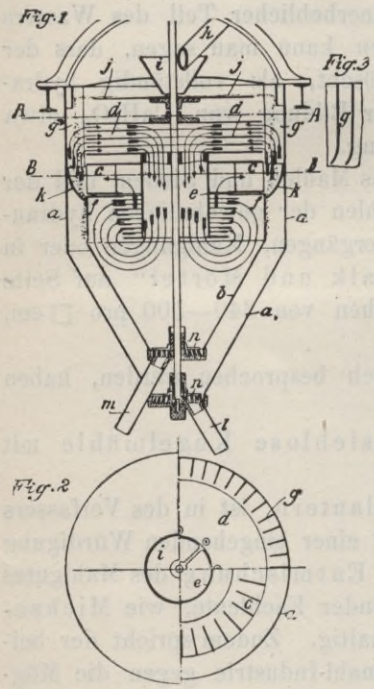


Fig. 2.

Das Prinzip des Selektors ist also durch die Abbildungen 1—2 (Seite 66) veranschaulicht worden, und ist wiederholt in kurzen Zügen folgendes:

Das zu sichtende Material wird durch die Zuführungen *h* und *i* auf einen Verteilungs- und Streuteller *j* aufgegeben und sinkt darauf in den Ringraum *g* regenartig aufgelöst abwärts. Hierbei begegnet es einem vom Ventilator *c* kommenden Luftstrom, dessen Weg in der Abbildung durch Pfeile angedeutet ist. Die Schleuderteller *d* haben die Aufgabe, die gröberen Teilchen, welche

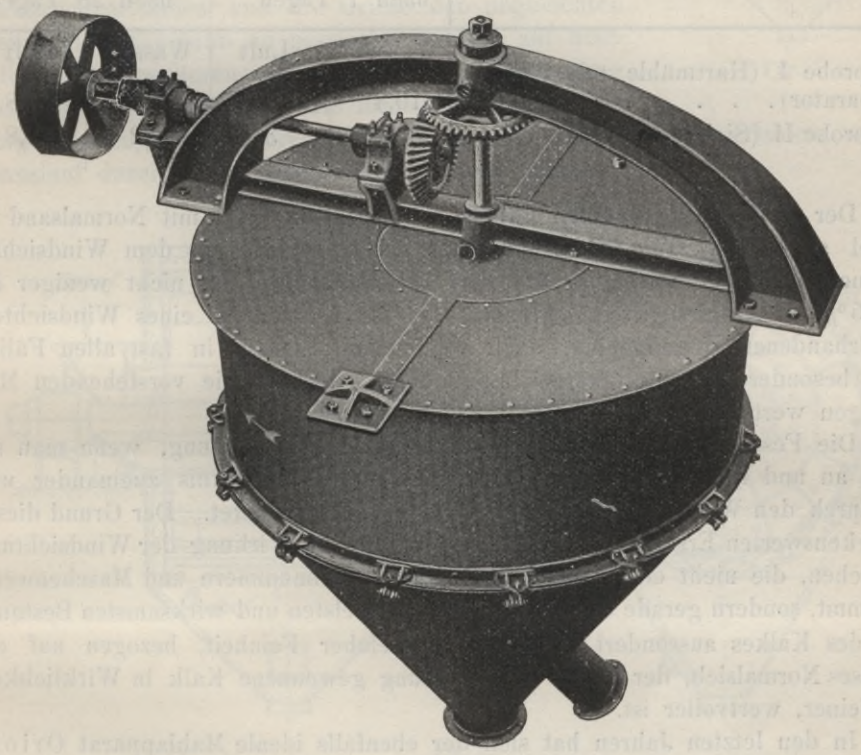


Fig. 3. Der Gebr. Pfeiffer'sche Selektor.

infolge ihrer Schwere während des Durchzuges mit ihnen in Berührung kommen, wieder nach aussen zu schleudern, während sie den Durchtritt des feinsten und infolgedessen leichten Staubes nicht hindern. Die Griese verlassen den Apparat bei *l*, die Feinmehle bei *m*. Ausserdem sind noch eine Anzahl von Hilfsvorrichtungen angebracht, wie Luftführungen, Sammetkränze und andere, die jedoch hier weniger interessieren.

Die Anwendung der Windseparatoren und Selektoren ermöglicht es, bei gleichem Kraftaufwand wie bei mit Sieben bespannten Mühlen, eine ungleich höhere Leistung zu erzielen. Neu ist die Mitteilung, dass die Qualität des bei der Verwendung von Windseparatoren erzeugten Kalkes diejenige des aus Siebkugelmühlen gewonnenen Kalkes erheblich übertrifft. Hierzu teilt die Firma Gebr. Pfeiffer, Kaiserslautern, Ergebnisse von Versuchen mit, die von einer unbeteiligten Firma mit hydraulischem Sackkalk gleicher Herkunft angestellt wurden. Ich gebe diese Ergebnisse nachstehend wieder und bemerke

dass Probe I mittels eines Windsichters abgesichtet wurde, während die Probe II einer Siebkugelmühle erstklassiger Herkunft entnommen war. Beide Mühlenarten, nämlich die Pfeiffersche Hartmühle mit Windseparator und die betreffende Siebkugelmühle befinden sich am Versuchsorte nebeneinander, verarbeiten den gleichen Kalk und sind auf gleiche Siebfeinheit, nämlich etwa Sieb 35 eingestellt:

	Zugfestigkeit kg/qcm mit Sand 1:3			
	nach 7 Tagen		nach 28 Tagen	
	Wasser	Luft	Wasser	Luft
Kalkprobe I (Hartmühle mit Windseparator)	10,4	25,0	27,1	39,8
Kalkprobe II (Siebkugelmühle) . .	3,7	3,7	12,2	22,8

Der Kalk wurde in allen Fällen im Verhältnis 1 : 3 mit Normalsand zu Mörtel angerührt. Wie die Aufstellung zeigt, ist der aus dem Windsichter stammende Kalk demjenigen aus der Siebkugelmühle um nicht weniger als ca. 75 % an Ausgiebigkeit überlegen. Da die Aufstellung eines Windsichters zu vorhandenen Kugelmühlen, auch solchen mit Sieben, in fast allen Fällen ohne besondere Schwierigkeiten möglich ist, dürften die vorstehenden Mitteilungen wertvoll sein.

Die Festigkeitszahlen sind natürlich nur von Bedeutung, wenn man sie nicht an und für sich, sondern nur nach ihrem Verhältnis zueinander und der durch den Windseparator erzielten Besserung betrachtet. Der Grund dieser bemerkenswerten Erscheinung ist in der besonderen Wirkung der Windsichtung zu suchen, die nicht eine rohe Trennung nach Siebnummern und Maschenweite vornimmt, sondern gerade die allerfeinsten ev. edelsten und wirksamsten Bestandteile des Kalkes aussondert, so dass bei gleicher Feinheit, bezogen auf ein gewisses Normalsieb, der durch Windsichtung gewonnene Kalk in Wirklichkeit viel feiner, wertvoller ist.

In den letzten Jahren hat sich der ebenfalls ideale Mahlapparat Orionmühle mit Windsichtung (Fabrikant „Alpine Maschinenfabrik-Gesellschaft m. b. H. Augsburg) mit steigendem Erfolge eingeführt.

Genannte Gesellschaft ging bei der Konstruktion dieser Mühle von dem grundlegenden Gedanken aus, dass zwischen dem Widerstand der äusseren Hülle und des inneren Kerns eines Mahlobjektes dem Zerkleinerungstrieb der Mahlvorrichtung gegenüber ein zum Teil bedeutender Unterschied zeigt. Es lassen sich z. B. bei den Kugelmühlen die äusseren Schichten und scharfen Kanten des Kalks rasch und leicht pulverisieren, während der Kern unberührt bleibt: die sog. Griese.

Die Orionmühle besteht aus einer Mahltrommel, bei der zwischen den Überhöhungen der Mahlbalken auf eine gewisse Länge Austrittsöffnungen für das Mahlgut (und zwar an der Trichterseite *a*) freigelassen werden, während der Rest der Mahlbahn ein geschlossenes Ganzes darstellt (siehe die nachstehende schematische Skizze). Bei dieser Anordnung fällt das von den Kugeln zertrümmerte Mahlgut durch die Öffnungen *b* in den Staubgehäusetrichter *c* und wird von hier durch ein Becherwerk in einen verbesserten Patent-Wind-

separator gehoben, der die Trennung der Griese von dem Mehlfeinen besorgt. Während letzteres direkt abgesackt werden kann, kehren die Griese durch ein Fallrohr und einen zweiten kleinen Trichter *d* in eine, neben der Mahltrommel angeordnete Griessammelkammer zurück und werden von hier durch Rückführungsschaufeln *e* und Aussparungen *f* der hinteren Nabe wieder in die Mahltrommel geleitet. In der Mahltrommel haben nun die Griese den ungelochten Teil g der Mahlbahn zu passieren, werden auf demselben einer weiteren, sehr intensiven Nachmahlung unterworfen, bis sie durch die nachströmenden Griese vorgeschoben, wieder durch die Schlitze *b* die Mahltrommel verlassen, um den Kreislauf durch den Sichter von neuem zu beginnen.

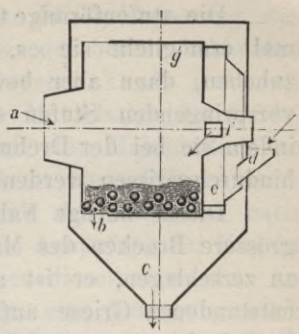


Fig. 1.

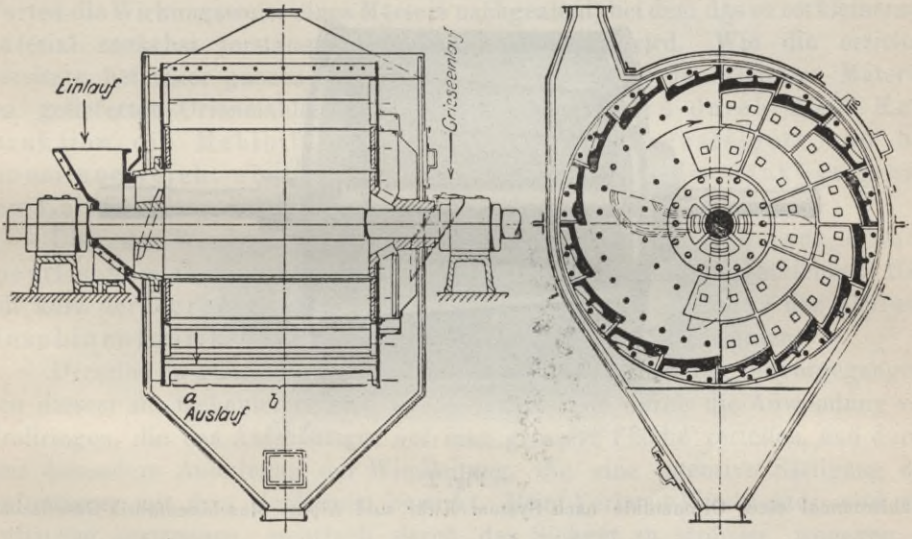


Fig. 2.

Man hat es dabei ganz in der Hand, da sich die Öffnungen b in ihrer Längsrichtung verstellen lassen, den ungelochten Teil der Mahlbahn *g* zu verlängern oder zu verkürzen, wodurch sich also die Mahltrommel, der Mahlfähigkeit der Griese entsprechend, ganz genau einstellen lässt. Bei dem leicht mahlbaren Kalk wird man also die Mahlbahn *g* kurz halten, dagegen bei schwerer zu vermahlenden Stoffen dieselbe verlängern.

Ein weiterer, sehr bedeutender Vorteil dieser Orionmühlen wird durch die folgende Abbildung verdeutlicht. Bekanntlich liegt bei allen Kugelmühlen und Rohrmühlen die ganze Menge der Mahlkörper (Kugeln) am Umfange der Mahltrommel, infolge der durch die Umdrehung der letzteren erzeugten Fliehkraft, so lange fest, bis sie auf eine gewisse Höhe emporgehoben, sich von der Wandung der Trommel loslösen und auf das Mahlgut herabstürzend, dasselbe durch den sogenannten schiefen Schlag zertrümmern. Eine Zerreibung des Mahlgutes zwischen den Kugeln findet dabei, wie nachgewiesen ist und sicher feststeht, in nennenswerter Weise nicht statt.

Die stufenförmige Gestalt der Mahlbahn erfüllt nun zwei Aufgaben. Einmal ermöglicht sie es, die Kugeln höher als bei glatter Mahlbahn emporzuheben, dann aber bewirken die nach dem Zentrum der Mühle exzentrisch vorspringenden Stufen der Mahlplatten einen verstärkten Fall der Kugeln, indem sie bei der Drehung der Mahltrommel durch den oberen Teil der Kugeln hindurchgerissen werden und diese beiseite drücken.

Dieser heftige Fall der Kugeln ist wohl nötig oder wünschenswert, um grössere Brocken des Mahlgutes, die in das Mühleninnere eingeführt werden, zu zerschlagen, er ist aber nicht notwendig zur weiteren Zerkleinerung der entstandenen Griese auf Mehlfeinheit. Ist nämlich das Mahlgut erst einmal in Griesform verwandelt, so genügen leichtere Schläge für die weitere Vermahlung und es bedeutet einen unnützen Kraftaufwand für die Zerkleinerung dieser Griese, die Kugeln übermässig hoch zu heben und sie heftig auf das Mahlgut herunter zu schleudern. Zweckmässiger wären für diesen Zweck

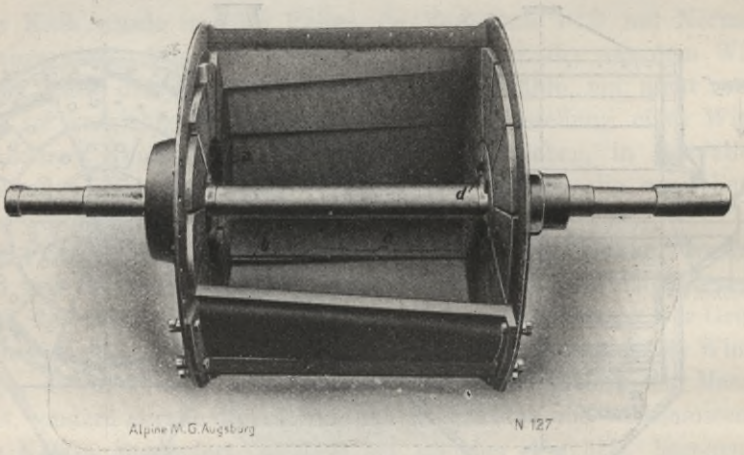


Fig. 2.
Mahltrommel einer Orionmühle nach System Kuhr und Alpine Maschinenfabrik-Gesellschaft.

leichtere, aber zahlreichere Schläge, also ein öfteres Herabfallen der Kugeln aus geringer Höhe. Es ist dies der Grund gewesen, weshalb man vielfach für die Vorzerkleinerung von Materialien auf Griesform Kugelfallmühlen mit stufenförmiger Mahlbahn, dagegen für die Fertigmahlung der Griese zu Mehl Trommelmühlen verwendet. Die Orionmühle nun vereinigt in sich die Vorteile der üblichen Kugelfallmühlen und der Trommelmühlen, indem die Stufen an der Einlaufseite des Mahlgutes weiter in das Innere der Mahltrommel vorkragen als am entgegengesetzten Ende, um den Fall der Mahlkörper auf das neu eingeführte Gut intensiv zu gestalten, dagegen das sich bereits im vorzerkleinerten Zustande befindliche durch leichtere, aber zahlreichere Schläge fein zu vermahlen, wobei entstehende Mehle sofort aus der Mahltrommel entfernt werden.

Wie aus der vorstehenden Abbildung ersichtlich ist, verlaufen die Kanten der Mahlplatten nicht parallel zur Achse der Mahltrommel, sondern es kragt die Platte an der Einlaufseite des Mahlgutes weiter in das Mühleninnere vor, wie an der entgegengesetzten Seite. Die Kugeln werden daher auf der Aufgabeseite des Mahlgutes höher emporgehoben und mit grösserer Kraft herab-

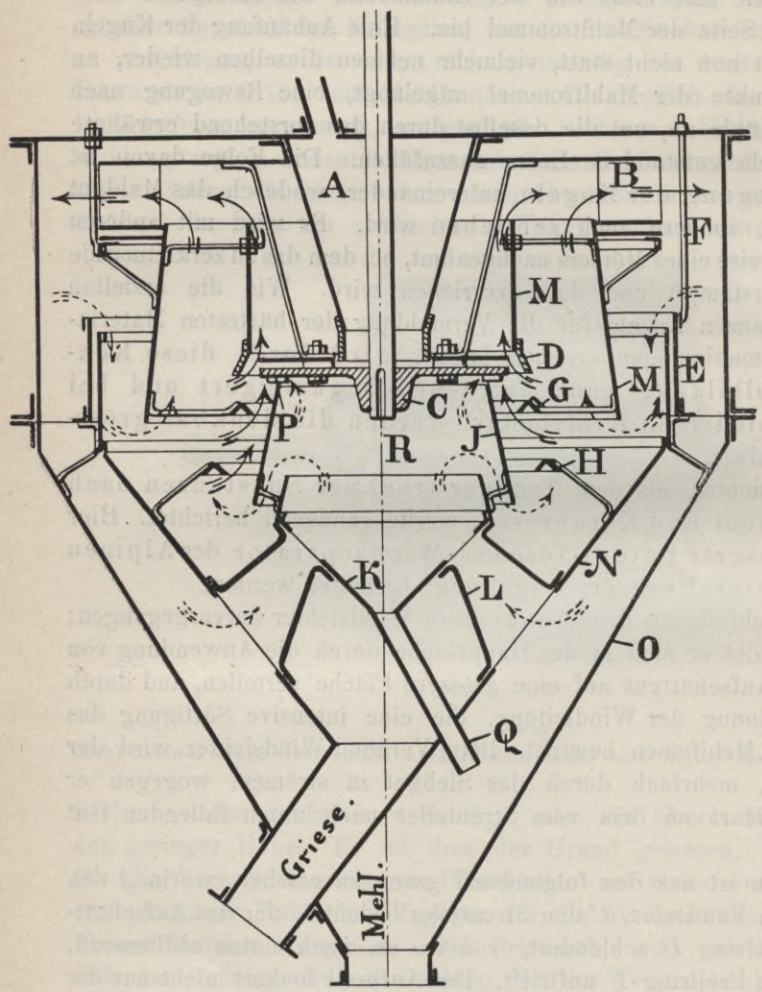
geschleudert als auf der Einlaufseite der Griese, wo die Zerkleinerung des Mahlgutes bereits weiter fortgeschritten ist. Gegenüber den bereits bekannten Kugelfallmühlen wird dadurch beträchtlich an Betriebskraft gespart. Ein weiterer Vorteil der besonderen Konstruktion der Mahlplatten der Orionmühlen ist der, dass infolge der windschiefen Gestalt der Mahlplatten die Kugeln ähnlich wie das Erdreich durch das Wendebrett eines Pfluges übereinandergestürzt werden und zwar von der Einlaufseite des Mahlgutes nach der entgegengesetzten Seite der Mahltrommel hin. Eine Anhäufung der Kugeln an dieser Stelle findet nun nicht statt, vielmehr nehmen dieselben wieder, an einem bestimmten Punkte der Mahltrommel angelangt, eine Bewegung nach der Einlaufseite der Mühle an, um die daselbst durch das vorstehend erwähnte Überstürzen der Kugeln entstandene Leere auszufüllen. Die Folge davon ist eine intensive Bewegung der Kugeln untereinander, wodurch das Mahlgut nicht nur zerschlagen, sondern auch zerrieben wird. Es wird mit anderen Worten die Wirkungsweise eines Mörsers nachgeahmt, bei dem das zu zerkleinernde Material zunächst zerstampft und dann zerrieben wird. Wie die erzielten Resultate bei einer ganzen Anzahl für die Vermahlung der härtesten Materialien gelieferten Orionmahlanlagen ergeben haben, wird durch diese Konstruktion die Mehlbildung ganz beträchtlich gesteigert und bei einem unerreicht niedrigen Kraftbedarf werden die denkbar grössten Leistungen erzielt.

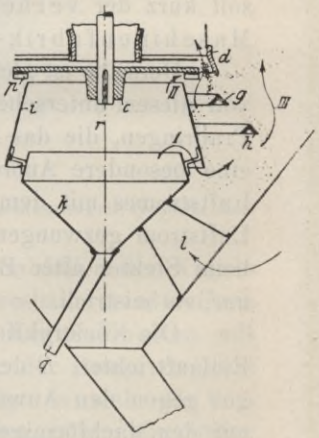
Über den Windsichter, als dem Trenner trockner Substanzen nach spezifischem Gewicht und Korngrösse, wurde genügend berichtet. Hier soll kurz der verbesserte Patent-Verband-Windseparator der Alpinen Maschinenfabrik-Gesellschaft, Augsburg, berichtet werden.

Derselbe ist gleichfalls aus dem Moodi'schen Windsichter hervorgegangen; von diesem unterscheidet er sich in der Hauptsache durch die Anwendung von Prallringen, die das Aufschüttgut auf eine grössere Fläche verteilen, und durch eine besondere Anordnung der Windleitung, die eine intensive Sättigung des Luftstromes mit dem Mehlfeinen bewirkt. Beim Verbund-Windsichter wird der Luftstrom gezwungen, mehrfach durch das Siebgut zu strömen, wogegen er beim Sichter alter Bauart an dem vom Streuteller nach unten fallenden Gut nur vorbeistrich.

Die Konstruktion ist aus den folgenden Figuren zu ersehen, worin *A* den Einlauftrichter, *B* den Ventilator, *C* den Streuteller bedeutet, der das Aufschüttgut gegen den Anwurfring *D* schleudert, von wo es, nach unten abfliessend, auf den dachförmigen Prallring *F* auftrifft. Der Aufprall lockert nicht nur die den Griesen anhaftenden Mehlteilchen auf, sondern trennt auch das Gut nach zwei Seiten, wobei ein Teil gegen den Blechmantel *I* abgelenkt wird und der andre Teil auf den zweiten Prallring *H* fällt, worauf sich der vorhin beschriebene Vorgang wiederholt. Gleichzeitig strömt der vom Ventilator erzeugte Luftstrom auf einem durch die Mäntel *M* und M_1 bestimmten Wege durch das in breiter Schicht nach unten fallende Gut und sättigt sich dabei mit den feinen Teilchen des letzteren, während die gröberen Teile in den inneren Kegel *N* fallen und durch das Griesablaufrohr abfliessen. Der staubbeladene Luftstrom wird gegen das Gehäuse *O* geblasen, das Mehl sinkt an diesem nach unten in den Auslauf, und die Luft kehrt unter den Streuteller und in den Ventilator

zurück, wo sie, durch Rohrstutzen L in den von I und K gebildeten Raum R eintretend, den durch Pfeile angedeuteten Weg zurücklegt. Die etwa noch mitgerissenen Mehlteilchen kommen in R zur Ruhe und fliessen durch Q in den Mehlraum ab, während die reine Luft auf dem Wege der Pfeile I, II und III wieder mit dem Gut in Berührung kommt und dieses somit mehrfach durchstreicht. An der Unterseite des Streutellers C angeordnete einstellbare Windleisten P unterstützen dabei die Wirkung des Ventilators. Der Feinheitsgrad der Sichtung lässt sich hier — wie bei allen Windsichtern — in weiten Grenzen durch die Veränderung der Umlaufzahl des Ventilators beeinflussen, und kleinere Änderungen desselben können durch Heben oder Senken des an Schrauben F hängenden Ringschiebers E bewirkt werden.

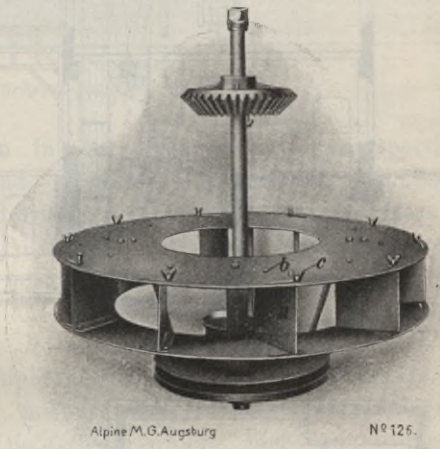




Verband-Windsichter der Alpinen Maschinenfabrikgesellschaft, Augsburg.

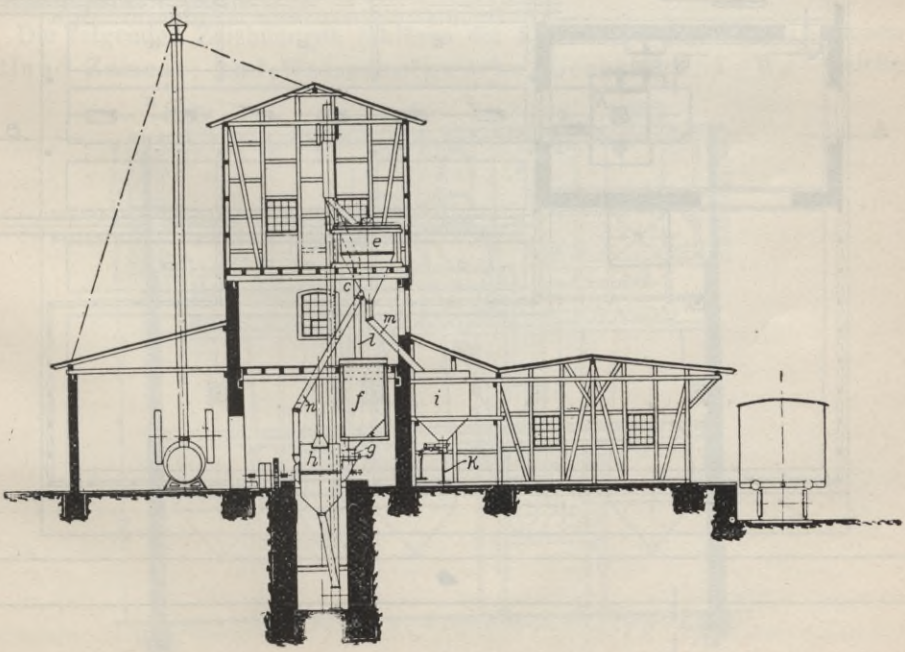
In weiteren Grenzen kann man aber bei diesen Sichtern die Änderung des Feinheitsgrad auch durch eine patentierte Vorrichtung in einfachster Weise bewirken. Bei den bisher bekannten Windseparatoren war man in solchen Fällen gezwungen, hierzu eine Änderung der Tourenzahl des Ventilators eintreten zu lassen, um die Stärke des saugenden, die Sichtung bewirkenden Luftstromes zu vergrössern oder zu verringern. Mit dieser Geschwindigkeitsänderung des Ventilators tritt natürlich auch eine Änderung der Umfangs-

geschwindigkeit des mit dem Ventilator auf einer Achse sitzenden Streutellers ein. Dadurch wird der Übelstand bedingt, dass bei leichteren Materialien, deren Sichtung eine geringere Umdrehungszahl des Ventilators erfordert, sobald feinste Mehle gewünscht werden, die Geschwindigkeit des Streutellers nicht mehr ausreicht, um das Material mit der erforderlichen Wucht gegen den Anwurfring zu schleudern, so dass das Material nicht genügend aufgelockert wird. Bei dieser Konstruktion wird erreicht, dass bei unveränderter Umfangsgeschwindigkeit des Streutellers die Stärke des Luftstromes ohne Änderung der Umlaufzahl des Ventilators geändert werden kann. Zu diesem Zwecke ist der Ventilator dieser Separatoren mit verstellbaren Flügeln versehen, derart, dass durch Verstellen derselben die Luftstromstärke geregelt wird, was in wenigen Minuten geschehen kann.

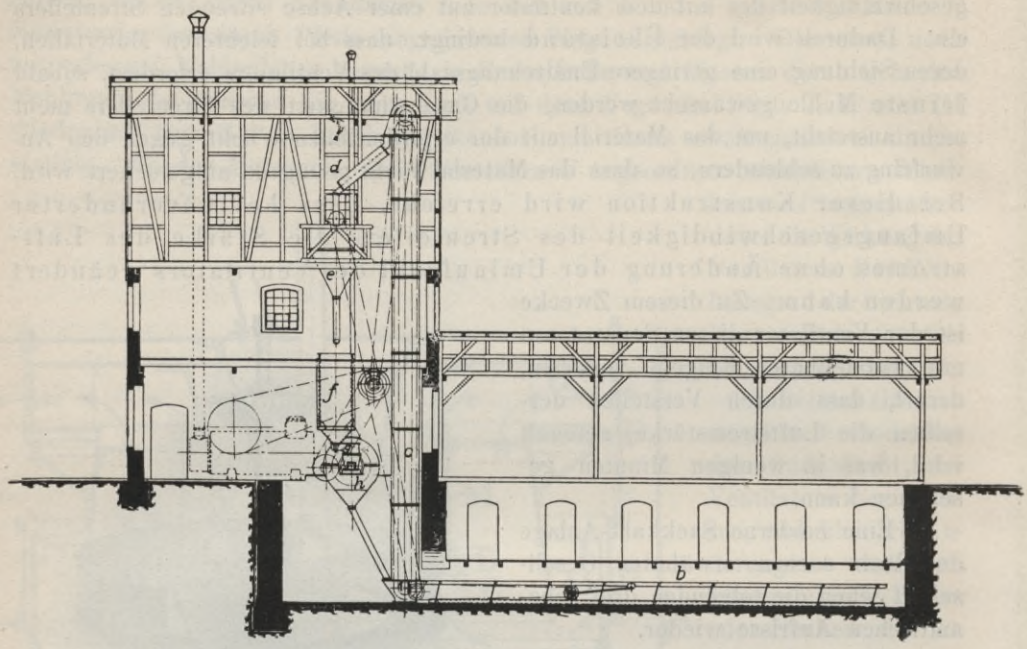


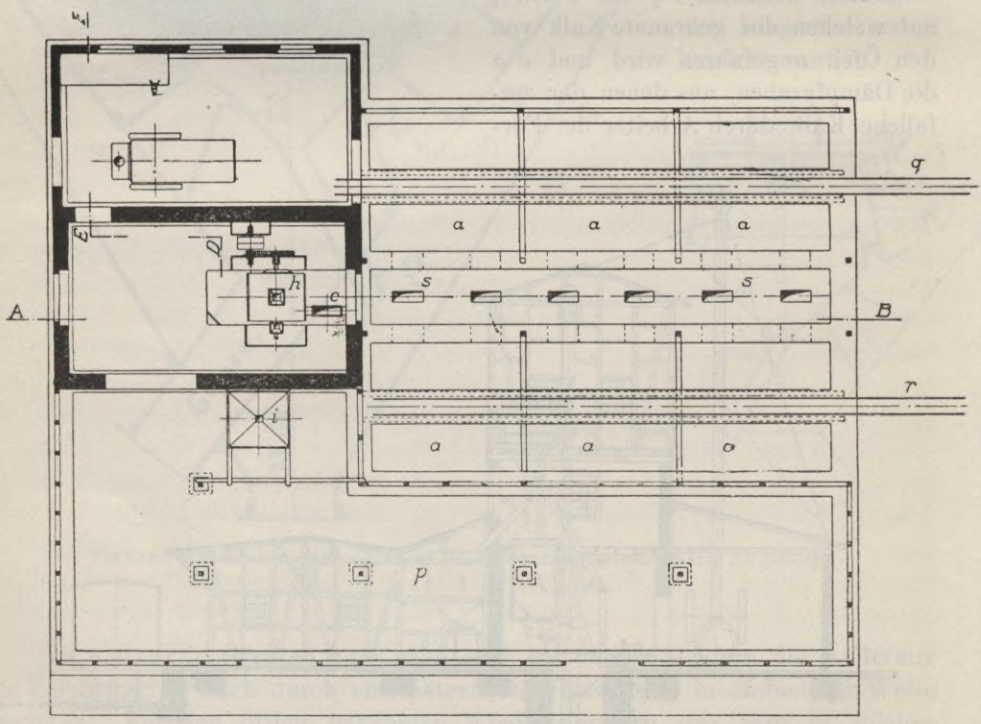
Eine moderne Sackkalk-Anlage derselben soeben erwähnten Gesellschaft geben die folgenden drei schematischen Aufrisse wieder.

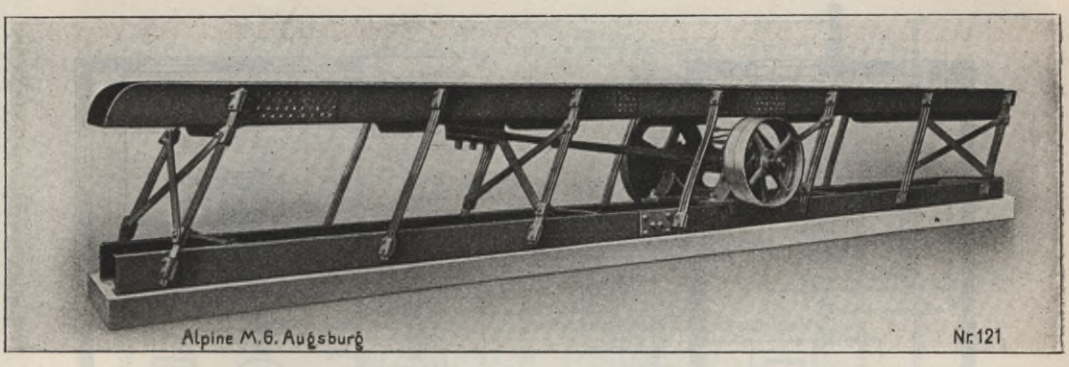
Hier bedeuten *r q* die Geleise, auf welchen der gebrannte Kalk von den Öfen angefahren wird und *a a* die Dämpfgruben, aus denen der zerfallene Kalk durch Arbeiter der För-



Sackkalk-Anlage für eine stündliche Leistung von ca. 4000 kg.


d
e
f
a
h
b

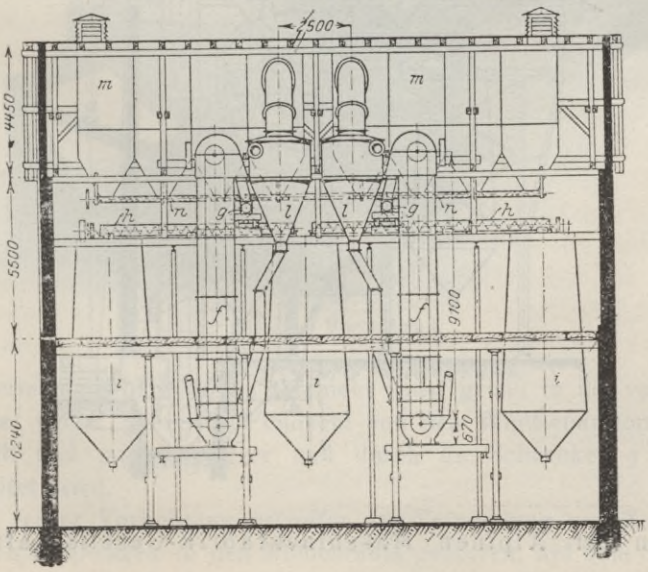

A
h
c
i
a
a
a
s
s
q
B
r
a
a
a
p

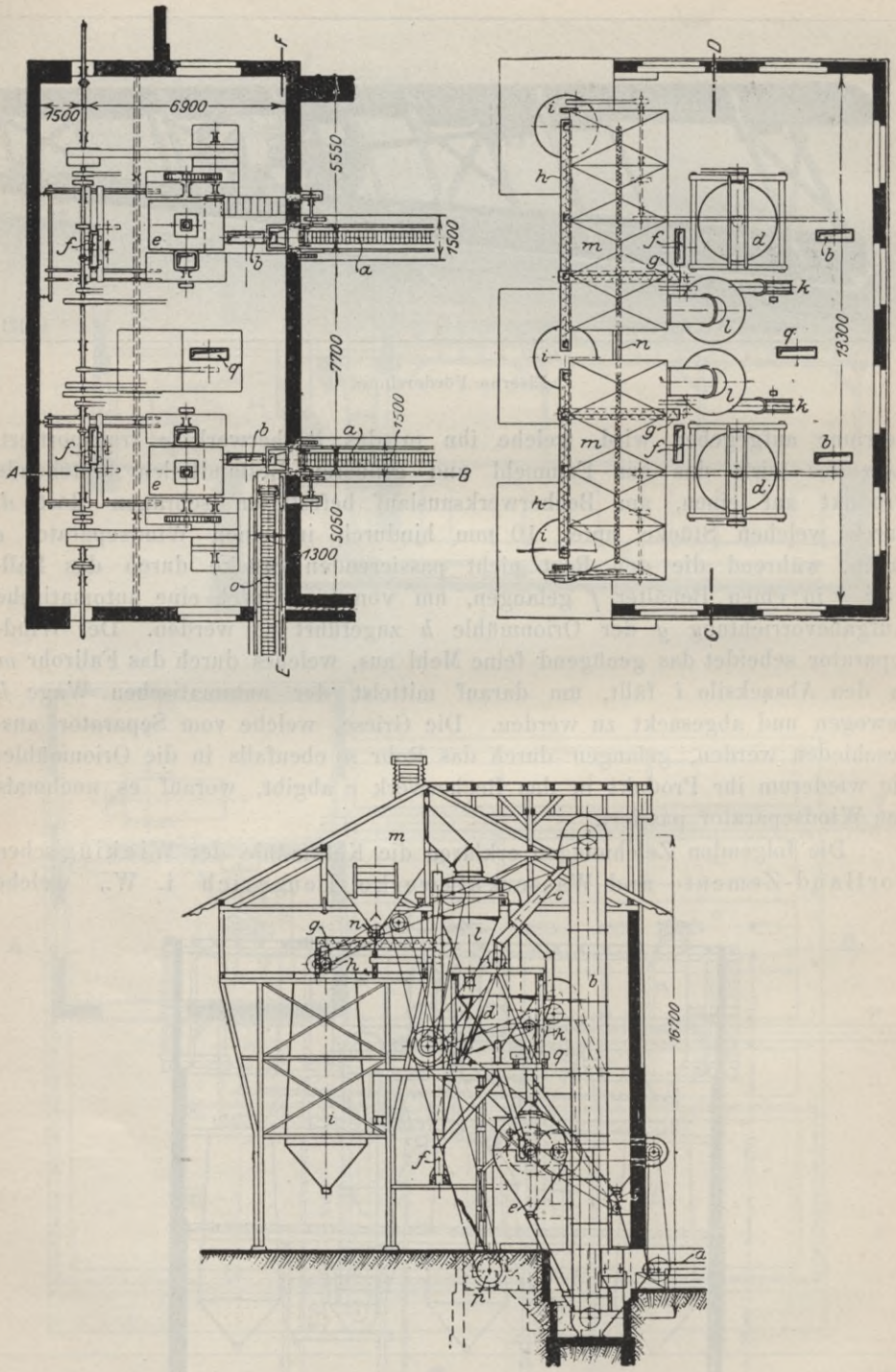


Eiserne Förderrinne.

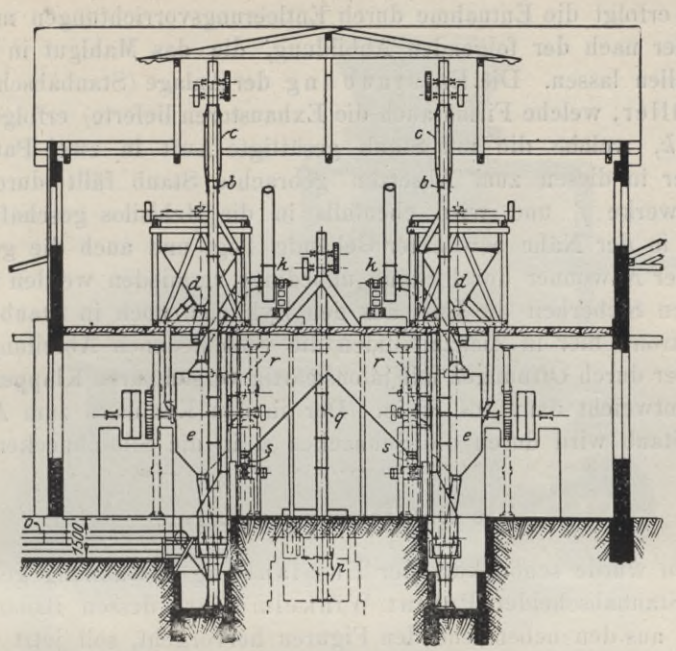
derrinne aufgegeben wird, welche ihn in das Becherwerk *c* transportiert. Letzteres wirft das aus Feinmehl und gröberen Bestandteilen bestehende Produkt auf einen, am Becherwerksauslauf befestigten schrägen Rost *d*, durch welchen Stücke unter 10 mm hindurch in einen Windseparator *e* fallen, während die den Rost nicht passierenden Stücke durch das Fallrohr *l* in einen Behälter *f* gelangen, um von hier durch eine automatische Aufgabevorrichtung *g* der Orionmühle *h* zugeführt zu werden. Der Windseparator scheidet das genügend feine Mehl aus, welches durch das Fallrohr *m* in den Absacksilo *i* fällt, um darauf mittelst der automatischen Wage *k* gewogen und abgesackt zu werden. Die Griese, welche vom Separator ausgeschieden werden, gelangen durch das Rohr *n* ebenfalls in die Orionmühle, die wiederum ihr Produkt in das Becherwerk *c* abgibt, worauf es nochmals den Windseparator passiert.

Die folgenden Zeichnungen erklären die Kalkmühle der Wicking'schen Portland-Zement- und Wasserkalkwerke Lengerich i. W., welche

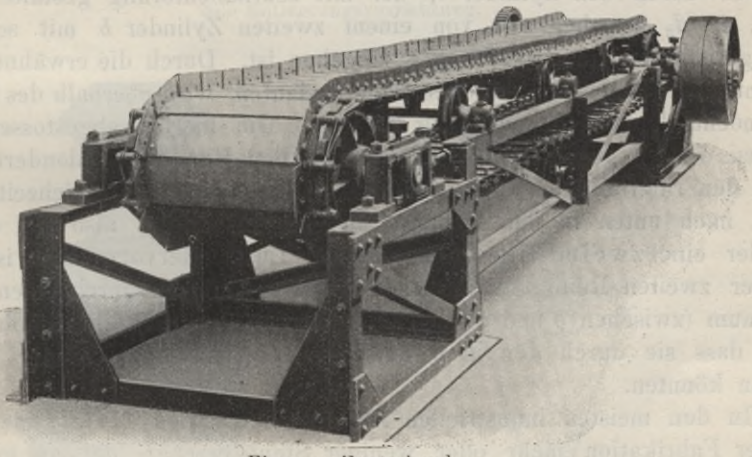




ebenfalls von der Alpinen Maschinenfabrik-Gesellschaft ausgeführt worden ist.



Als Transportmittel zum Heranschaffen des gedämpften Kalkes aus den Dämpfgruben in die Kalkmühlen dienen hier eiserne Förderbänder, die aus gewölbten, übereinandergreifenden Blechrücken mit Seitenborden bestehen.



Eisernes Förderband.

Die Vermahlung des Kalkes geschieht sonst genau in der vorhin beschriebenen Weise, wobei aber das Feinmehl von den Windseparatoren in Becherwerke *f* fällt und mittelst dieser und durch die Schnecken *g* und *h* in die Silos *i* geleitet wird.

Es ist ferner Vorkehrung getroffen zur Vermahlung von Zementklinkern, welche durch Kippwagen in den Mühlenraum gefahren, auf dem Steinbrecher *p* vorzerkleinert und durch das Becherwerk *q* in zwei Silos *r* gehoben werden

Aus diesen erfolgt die Entnahme durch Entleerungsvorrichtungen mittelst rotierender Teller nach der folgenden Abbildung, die das Mahlgut in die Becherwerke *b* fallen lassen. Die Entstaubung der Anlage (Staubabscheider Patent Winkelmüller, welche Firma auch die Exhaustoren lieferte) erfolgt durch zwei Sauglüfter *k*, welche die mit Staub gesättigte Luft in zwei Patent-Zyklone blasen. Der in diesen zum Absetzen gebrachte Staub fällt durch Rohre in die Becherwerke *f* und wird ebenfalls in die Mehlsilos geschafft. Da die Kalkmühle in der Nähe bewohnter Gebäude liegt und auch die geringste Belästigung der Anwohner durch Staub unbedingt vermieden werden musste, tritt zur grösseren Sicherheit die Luft aus den Zyklonen noch in Staubkammern *m* ein, durchströmt hier in Zickzacklinien die verschiedenen Abteilungen, welche untereinander durch Öffnungen mit jalousieartig verstellbaren Klappen verbunden sind und entweicht dann ins Freie. Der in den Kammern zum Absetzen gekommene Staub wird durch die Schnecken *n* in die Siloschnecken *g* geleitet.

Die Entstaubungsanlagen.

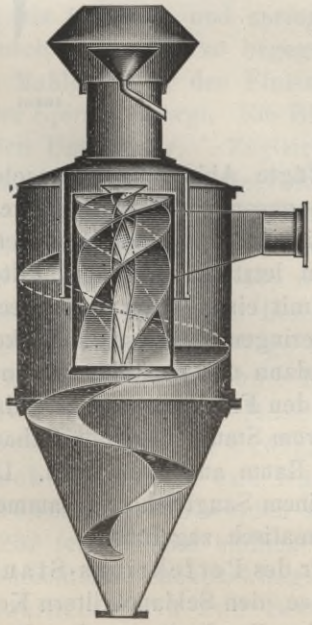
Soeben wurde schon kurz der Entstaubung Erwähnung getan.

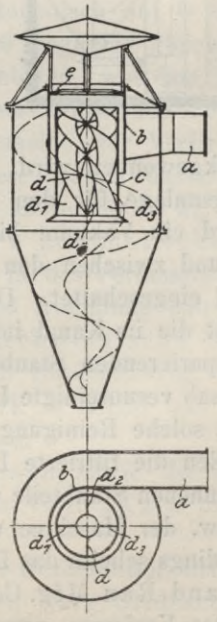
Der Staubabscheider Patent Winkelmüller, dessen Bauart und Wirkungsweise aus den nebenstehenden Figuren hervorgeht, soll jetzt genauer besprochen werden. Die staubbeladene Luft tritt durch *a* in den zylindrischen Teil des Apparates und bewegt sich in der punktiert angedeuteten Linie nach abwärts, wobei sie infolge der Wirbelbewegung die Staubteile abstösst, die das Gehäuse an dessen unterer Öffnung verlassen. Wieder aufsteigend, streicht die Luft durch den Zylinder *c*, der mit schraubenförmig gestalteten Leisten d, d_1, d_2, d_3 versehen und von einem zweiten Zylinder *b* mit schräg nach oben gerichtetem Randvorsprung *e* umgeben ist. Durch die erwähnten Leisten, die unten steil ansteigen und oben flach auslaufen, wird oberhalb des Zylinders *c* eine nochmalige Wirbelbewegung erzeugt. Die hierbei abgestossenen Staubteilchen werden gegen den Zylinder *b* und den Rand *e* geschleudert und fallen durch den ringförmigen Raum zwischen *b* und *c*, welcher gleichzeitig saugend wirkt, nach unten in den Apparat zurück. Es erfolgt also bei diesem Abscheider eine zweimalige Reinigung der Luft. Hervorzuheben ist, dass die bei der zweiten Reinigung ausgeschleuderten Teilchen durch einen besondern Hohlraum (zwischen *b* und *c*) abgeleitet werden, wodurch die Gefahr vermieden wird, dass sie durch den in *c* aufsteigenden Luftstrom wieder mitgerissen werden könnten.

In den meisten industriellen Arbeitsräumen wird heute ohne Ausnahme bei der Fabrikation mehr oder weniger Staub erzeugt, der an und für sich auf die in den Lokalitäten beschäftigten Personen in höchstem Masse gesundheitsschädlich wirkt, aber andererseits auch, sofern der manchmal wertvolle Staub nicht zurückgewonnen wird, direkte finanzielle Verluste im Gefolge führt.

Auch an die Besitzer von industriellen Unternehmungen der gesamten keramischen, Kalk-, Zement-, Ziegel- etc.-Industrie dürfte schon die Frage der Entstaubung der Arbeitsräume herangetreten sein. Diverse Firmen, welche schon erwähnt sind, befassen sich heute mit dem Bestreben, die Frage einer mustergültigen Entstaubung zu lösen; die Systeme und Konstruktionen, die dabei zur

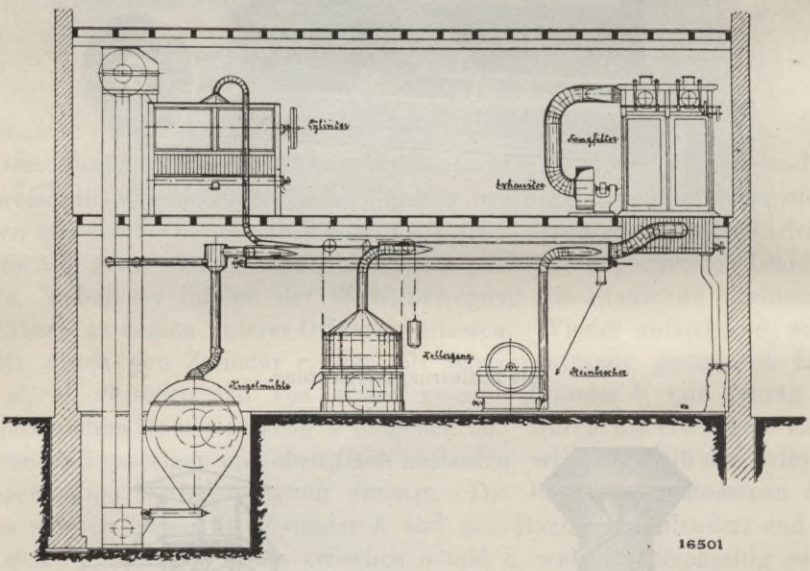
Silo-Entleerungsvorrichtung.





Staubabscheider, Patent Winkelmüller.

Anwendung gelangen, sind allerdings teilweise recht unterschiedlich. Ganz besonderem Interesse dürfte in beteiligten Kreisen die Kalkentstaubung begegnen, da einer durchgreifenden Lösung dieser Frage viele Schwierigkeiten entgegenstehen. Vornehmlich liegt dies darin, dass beim Vermahlen des Kalkes Dämpfe entstehen, die ein Verschmieren und Verstopfen der Rohrleitungen und der Abscheide-Apparate hervorrufen. Die Entstaubungsanlagen für den gedachten Zweck, die die Firma Simon, Bühler & Baumann in Frankfurt a. M. baut, dürfen nun für sich in Anspruch nehmen, dass sie wirklich ökonomisch arbeiten. Besondere Erwähnung verdient der zur Anwendung kommende neue Saugfilter mit Aussenluftführung, dem gleichzeitig Sekundärluft zur Trocknung beigegeben wird. Hierdurch wird ein Verschmieren der im Innern des Filters eingebauten Filterschläuche völlig vermieden. Wichtig ist ferner, dass der wertvolle Staub auf trockenem Wege, also quantitativ durchaus unvermin-



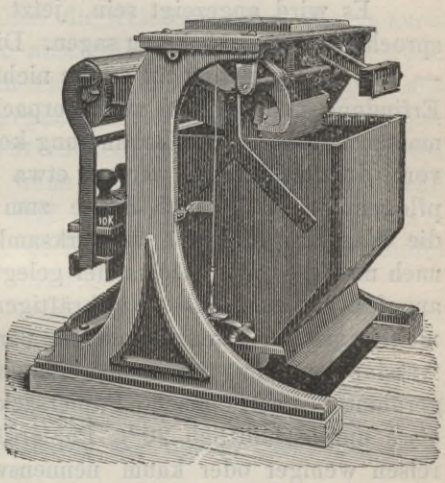
dert, zurückgewonnen wird. Die beigefügte Abbildung veranschaulicht eine Entstaubungsanlage für den in Frage kommenden Zweck. Durch einen Exhaustor wird ein Vakuum bis zu den einzelnen zu entstaubenden Maschinen hergestellt und zwischen den Abschlüssen letzterer und dem Filter ein Aspirationskanal eingeschaltet. Derselbe ist mit einer Transportschnecke versehen und sammelt die im Kanal infolge der geringen Luftgeschwindigkeit sich von der Luft separierenden Staubteile. Die dann nur noch bis zu einem geringen Teil mit Staub verunreinigte Luft tritt in den Filter ein und es vollzieht sich in diesem eine solche Reinigung der Luft vom Staub, dass der Exhaustor in den meisten Fällen die filtrierte Luft in den Raum ausblasen kann. Die im Filter zurückgewonnenen Staubteile werden in einem Saugtrichter gesammelt oder dem Elevator bzw. der Maschine wieder automatisch zugeführt.

Neuerdings scheint das Druckfilter des Perfektions-Staubsammlers der Prinz and Rau Mfg. Co., Milwaukee, den Schlauchfiltern Konkurrenz zu machen. Der Verfasser verweist auf eine Beschreibung desselben in einem

Sonderabdruck aus der „Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure“ Berlin 1910: C. Naske, Neuere Fortschritte in der Zement-, Kalk-, Phosphat- und Kaliindustrie.

Das Wiegen

erfolgt in grösseren Betrieben allgemein durch automatische Wagen. Eine solche von besonders kräftiger, dazu einfacher Konstruktion liefert die Hennefer Maschinenfabrik C. Reuther & Reisert m. b. H., Hennef (Sieg). Sie besteht im wesentlichen aus einem gabelförmigen Wagebalken, der auf der einen Seite das Materialgefäss und auf der andern die Gewichtsschale trägt. Das zu wägende Material strömt durch einen Einlauftrichter in zwei Einlaufklappen, von denen eine den Zufluss kurz vor erreichtem Gleichgewicht auf dünne Strahlen vermindert, während die andere bei erreichtem Gleichgewicht den Zufluss ganz absperrt. Die treibende Kraft beim Abwiegen ist nur das Gewicht des in die Wage fliessenden Pulvers. Letztere funktioniert in der Weise, dass nach Füllung des Gefässes und Schliessen der Klappen, ersteres seinen Inhalt rasch entleert und alsbald den Zufluss aufs neue selbsttätig eröffnet und so fort. Durch das Schliessen der Einlassklappen wird ein Zählwerk in Bewegung gesetzt, welche jede Entleerung der Wage markiert; der Zähler zählt bis 1 Million und springt dann automatisch auf 0 zurück. Um Störungen durch Verstopfen zu begegnen, ist eine möglichst gleichmässige Zuführung des Mahlgutes in den Einlauftrichter geboten, was am besten eine Schnecke oder Spirale besorgt. Ein Blechmantel umschliesst den Apparat gegen das Eingreifen Unbefugter. Zugleich dient derselbe zur Verringerung der unvermeidlichen lästigen Staubentwicklung. Diese Wagen haben — je nach der Grösse — eine Leistungsfähigkeit von zirka 4500—36000 kg pro Stunde.



Auf die fast staubfrei arbeitende Daiber's automatische doppelte Sackpackwage (D. R. P. 160947) wurde schon in des Verfassers „Kalk und Mörtel“ Seite 193—195 durch Beschreibung und Abbildung empfehlend hingewiesen. Fabrikanten dieser Wage sind Braunschweigische Mühlenbau-Anstalt, Amme, Giesecke und Konegen in Braunschweig, die Braunschweigisch-Hannoversche Maschinenfabrik in Alfeld und das Gräfl. Waldsteinsche Eisenwerk Sedletz in Böhmen.

Die Sackreinigungs- und Rüttelmaschinen, sowie die Sackstopf- und Flicknähmaschinen wurden schon in des Verf. „Kalk und Mörtel“ Seite 227—232 textlich und bildlich besprochen.

Eine automatische Sackpackwage einfacherer Konstruktion liefern Berger & Co., Maschinenfabrik und Eisengiesserei, Berg.-Gladbach bei Köln.

Das Absacken kleinerer Mengen geschieht zweckmässig durch den ein-

fachen Sackhalter (D. R. S. M.) von der Maschinenfabrik Louis Soest & Co., in Reisholz bei Düsseldorf und Jacob Rohleder, Barmen 2.

Wie befruchtend die Sackkalk-Industrie auf die anderen Industriezweige eingewirkt, geht aus den Darlegungen dieses Kapitels mehr wie genügend hervor. Diese haben wiederum durch technische Vervollkommnung, sei es der Öfen, der Maschinen oder Apparate usw., ihren Dank in der bestmöglichen Weise abgestattet.

Papiersäcke und Sackzentralen.

Es wird angezeigt sein, jetzt einiges über die in neuerer Zeit viel besprochenen Papiersäcke zu sagen. Diese, als Ersatz für die Tarpauling-Jutesäcke — und im Gegensatz zu diesen nicht zurücklieferbar — sind eine amerikanische Erfindung und werden zum Verpacken von Zement gebraucht. Bei einigermassen vorsichtiger Behandlung kommt ein erhebliches Platzen derselben nicht vor; durchschnittlich werden etwa 2 % im Waggon undicht, weshalb es Gepflogenheit ist, 10—15 Säcke zum Umfüllen beizugeben. Die Verladung in die Waggons erfordert Aufmerksamkeit. Die Papiersäcke werden der Länge nach nur zu je vier aufeinander gelegt, so dass der ganze freie Raum mit Säcken angefüllt ist und selbst bei kräftigem Rangieren eine wesentliche Verschiebung nicht eintreten kann. Umladen, namentlich vom Waggon in das Schiff, sowie Aufstapelung in vielen übereinanderliegenden Reihen hält auch der „vielgerühmte" amerikanische Papiersack nicht aus. Bis jetzt verwendet Amerika etwa durchschnittlich 20 % Papiersäcke, bei Wagenversand mehr, bei Wasserreisen weniger oder kaum nennenswerte Mengen. Aber man beachte wohl, was vielfach verschwiegen wird, dass diese „Papiersäckchen" nur 35—40 kg fassen, während die übliche Sackkalkpackung bei uns 50 kg beträgt. Dass selbst ein sonst brauchbarer, verhältnismässig billiger Sack, um ihn vor dem Platzen zu bewahren, nur mit solch kleinen Gewichtsmengen gefüllt werden darf, ist schon ein wunder Punkt. Denn man müsste jetzt 286 bzw. 250 Säcke pro 10000 kg Kalk nehmen. Für Zement spielt — bei dem verhältnismässig viel teureren Material — die Anzahl der Säcke, d. h. der Mehrpreis, eine nicht so wesentliche Rolle. Dazu kommt, dass der Preis in Deutschland pro Stück immerhin 12—14 Pfg. betragen würde, während die Fabrikanten höchstens 10 Pfg. zu zahlen bereit sind. Die Arbeiter ferner stehen dem Eindringling, wie jeder Neuerung, gleichgültig oder sogar feindlich gegenüber. Zum Teil ist das Flicken der Jutesäcke das Verdienst ihrer Frauen, welches diesen dann genommen würde. Aber auch ohne das alles ist die Behandlung der Säcke erfahrungsgemäss mehr wie roh. Der gute Wille des Arbeiters wäre nach dieser Richtung das beste Einführungsmittel.

Ja, das leidige Sackkonto! Wer dieses aus der Welt schaffen könnte! Mir ist dasselbe zur Genüge bekannt, da ich jahrelang Gelegenheit hatte, gemahlenen hydraulischen Kalk zu verkaufen. Auch der Abnehmer von Materialien, die im Sack vertrieben werden, teilt die Gefühle des Lieferanten. Differenzen sind an der Tagesordnung. Aber sobald man den Sack mit auf die Ware schlägt, ohne ihn zurückzunehmen, ändert sich die Stimmung des Abnehmers: er rechnet. Angenommen, für verloren gegangene usw. Säcke

entstände ihm durchschnittlich ein Verlust von 10% der 200 im Doppelwagen gelieferten — und ein solcher Satz ist schon sehr hoch gegriffen —, so wären dies — den Sack zu 50 Pf. gerechnet — 20×50 Pfg. = M. 10.—. Ein Papiersack für ebenfalls 50-kg-Packung — wenn diese nach dem Vorstehenden später überhaupt möglich ist — ist jedenfalls nicht unter 10 Pfg. zu haben. Der Abnehmer hätte also 200×10 Pfg.=M. 20.— extra zu zahlen. Differenz: M. 10.—. Würde man 70—80-Pfund-Packung nehmen, so wäre die Sache für den Abnehmer noch kostspieliger. Es soll ganz davon abgesehen werden, dass zudem z. Z. die Papiersäcke noch nicht allen Anforderungen genügen. Die einzige Möglichkeit, allseitig dieselben einzuführen, wäre ausser absolut brauchbarer Ware und guter Behandlung, dass die Kalklieferanten, die ja auch immer beträchtliche Summen auf Sackkonto abschreiben und zudem viel Mühe und Ärger mit demselben haben, nicht den vollen Preis des Papiersackes mit in Anrechnung brächten. Man teile entgegenkommenderweise den Schaden.

So lange nun die Papiersackfrage nicht zufriedenstellend gelöst ist, wird das geschilderte Leid bestehen bleiben, wenn man nicht, wie westfälische Zementfabriken, Sackzentralen einführt. Auf eine Anfrage an die Westfälische Zementsack-Zentrale, G. m. b. H., Beckum in W. antwortete mir dieselbe liebenswürdigerweise im Juni 1910:

„Auf Ihr gefl. Schreiben vom 7. d. Mts. zurückkommend, erwidern wir Ihnen höflichst, dass unsere Gesellschaft die erste Sackzentrale gründete, deren Aufgabe es ist, die sämtlichen Zementsäcke der beteiligten 16 Zementfabriken von der Kundschaft zurückzunehmen, die Verrechnung mit der letzteren zu übernehmen, die Säcke instand zu setzen und alsdann wieder an die beteiligten Werke abzugeben, sowie, um eine Einheitlichkeit in der Qualität durchzuführen, den Einkauf des neuen Sackmaterials*) für die Werke zu besorgen.

Unsere Firma besteht seit ca. $4^1/_2$ Jahren und können wir wohl sagen, dass sich die Zentrale bestens bewährt hat, indem sie nicht nur den beteiligten Werken viele Arbeit abgenommen, sondern auch zu erheblichen Ersparnissen auf dem Sackkonto beigetragen hat. Etwaige Übelstände sind nicht zutage getreten.

Durch die Zentralisation wurde es ermöglicht, die Kundschaft dazu anzuhalten, für eine grössere Schonung des Sackmaterials Sorge zu tragen, da sie infolge ihrer Unabhängigkeit von der Kundschaft in der Lage war, alles Sackmaterial, welches durch die Schuld der Abnehmer verdorben hier einging, zurückzuweisen, wogegen früher die einzelnen Werke, um es mit der Kundschaft nicht zu verderben, in den meisten Fällen auch die wertlosen Säcke annehmen mussten. Wir befassen uns ausschliesslich nur mit der Zurücknahme derjenigen Zementsäcke, die mit dem Signum unserer beteiligten 16 Fabriken versehen sind.

Andere, neuerdings entstandene Sackzentralen übernehmen auch die Instandsetzung anderer Säcke, wie Kartoffelsäcke, Kornsäcke usw. gegen eine bestimmte Berechnung. Wie diese Zentralen sich bewähren, vermögen wir nicht zu sagen.

Kalksackzentralen existieren unseres Wissens noch nicht, doch glauben wir, dass sich solche bei genügender Beteiligung von Werken jedenfalls rentieren würden."

Es betrugen die Generalunkosten einschliesslich aller Abschreibungen durchschnittlich etwa $2^1/_2$ Pfg. pro Sack. Bei einem Sackeingang von etwa 7 Millionen Säcken schreibt die Zentrale 2,2% ab, also viel weniger, als ein einzelnes Werk**).

---

*) Der dazu in Ansehung der bedeutenden Posten wesentlich billiger ist. (Anm. d. Verf.)

**) Aus einem Schreiben der Westfälischen Zementsack-Zentrale vom 15. November 1907 an Herrn Th. Klehe, Berlin (Tonindustrie-Zeitung Berlin Nr. 36, 1908).

„Lässt sich nun das, was die westfälischen Zementwerke erreicht haben, auch für die deutsche Kalkindustrie verwirklichen? Diese Frage kann nicht ohne weiteres bejaht, aber auch nicht verneint werden. Eine Sackzentrale für alle Sackkalk erzeugenden Werke des Vereins deutscher Kalkwerke ist undenkbar, weil die Werke zu weit auseinander liegen. Durchführbar aber wird der Gedanke, wenn sich einzelne Gruppen vereinigen. So können die schlesischen Werke zusammengehen, die mitteldeutschen Werke und die Werke in Süddeutschland, wo der Sackkalk ja einen bedeutenden Teil der Erzeugung ausmacht. Vielleicht müssen die Gruppen sogar noch kleiner sein, so dass z. B. die Verkaufsvereinigung bayrischer Kalkwerke eine Sackzentrale errichtet. Nachdem sich diese Vereinigung darüber klar geworden, wieviel Säcke ungefähr von der Zentrale jährlich zu verteilen sein würden, wodurch die Grösse der Anlage bedingt ist, gilt es, einen geeigneten Platz zu wählen. Für die genannte Vereinigung käme die Gegend um Nürnberg, als im Mittelpunkte des Absatzgebietes gelegen, in Frage, nicht aber die Stadt selbst wegen der teueren Bauplätze. Jedenfalls müsste der Ort an der Bahn liegen, so dass die Anlage Bahnanschluss erhält. Eine weitere Vorbedingung wäre die Möglichkeit der Beschaffung billiger Arbeitskräfte auch im Sommer, das Vorhandensein von Betriebswasser müsste auch festgestellt sein. Dann müssten sich alle in Betracht kommenden Werke verpflichten, keine Säcke unmittelbar von der Kundschaft zurückzunehmen. Im vorliegenden Falle wäre dies leicht durchzuführen, weil es sich um eine festgefügte Vereinigung handelt. Nun müssen die Gelder für die Anlage beschafft werden. Da kann es nun leicht zu Meinungsverschiedenheiten kommen, die aber bei einem festen Willen leicht zu beseitigen sind; die Kosten werden verteilt nach dem Umsatze, welchen die Werke im letzten Geschäftsjahre gehabt haben. Ein kleines Betriebskapital muss der Anlage auch zur Verfügung gestellt werden. Anfänglich mag der Betrieb etwas mehr kosten, bis alles eingearbeitet ist, aber man darf dann nicht gleich von Misserfolgen sprechen; mit der wachsenden Erfahrung wird man bald zur richtigen Behandlung sowohl der Säcke als der Kundschaft kommen. Letztere wird nämlich anfänglich bei weitem die grösste Schwierigkeit bereiten. Hinter einer derartigen einschneidenden Neuerung wittern die Leute alles Mögliche. Sie sehen bald, dass die alten Mittel, von den Werken eine Rückvergütung für unbrauchbare Säcke herauszuschinden, nicht mehr verfangen, und es hagelt dann Beschwerdebriefe wegen schlechter Behandlung durch die Sackzentrale. Da heisst es dann für die Vereinigung, fest bleiben und die Leute immer wieder an die Zentrale zurückzuverweisen. Helfen alle Beschwerden nichts, so werden sie bald verstummen. Damit soll nun durchaus nicht gesagt sein, dass der Kundschaft unter allen Umständen das Messer an die Kehle gesetzt werden muss. Masshalten ist auch hier der Schlüssel zum Erfolge. Die Wahl eines tüchtigen, energischen und im Verkehr mit der Kundschaft erfahrenen Leiters der Sackzentrale ist eine der ersten Vorbedingungen des Unternehmens. Ganz verkehrt wäre es, die Leitung einem der angeschlossenen Werke aufzubürden. Damit wäre nur das Gegenteil von dem erreicht, was beabsichtigt wurde. Der ganze Zorn der sich gekränkt glaubenden Kundschaft würde sich über diesem Werke entladen.

Das von mir gewählte Beispiel zeigt nun sehr gute und der Schaffung

einer Sackzentrale günstige Verhältnisse. Man kann sogar sagen, dass ein solches immerhin bedeutende Anlagekosten verursachende Werk einen recht guten Kitt für eine bereits bestehende Verkaufsvereinigung bildet und sie über manchen Sturm hinaus zusammenhalten kann. Schwerer wird die Sache, wenn eine Sackzentrale von Kalkwerken errichtet werden soll, die noch nicht in engerer Verbindung mit einander stehen. In einem solchen Falle aber wäre das glückliche Zustandekommen einer gemeinschaftliches Eigentum bildenden Sackzentrale der Ausgangspunkt, von dem aus über einen engeren wirtschaftlichen Zusammenschluss hingewirkt werden könnte. Von diesem Gesichtspunkt aus wäre die Begründung von Sackzentralen noch ganz besonders zu begrüssen."

In jüngster Zeit bemüht sich Herr Papiertechniker Alphons Lottes, Köln-Rodenkirchen, um die Einführung von papiergefütterten Jutesäcken und teilte mir im Juni 1910 folgendes mit:

Ich beschäftige mich schon seit Jahren mit der Herstellung von Papiersäcken, und habe auch persönlich Erfahrungen mit solchen während meiner praktischen Tätigkeit in den Vereinigten Staaten von Nord-Amerika gemacht, habe aber immer noch gefunden, dass auch die Amerikaner nicht weiter sind wie wir. Auch die Amerikaner können kein Papier herstellen, das den Ansprüchen genügen kann, die wir hier in Deutschland an Papiersäcke stellen. Der Unterschied ist nun der, dass in Amerika der ganze Betrieb auf kleine Papiersäcke eingerichtet ist, wogegen man hier Papiersäcke für Gewichte von 50 kg verlangt. Für diese Füllungen kann jedoch ein „reiner Papiersack" ohne Armierung, Verstärkung (Bekleidung) wohl in absehbarer Zeit kaum hergestellt werden.

Ich habe bereits früher in Fachblättern auf die Papiersäcke aus Gummipapier, aus Papier mit Draht- und Textilgewebeeinlage hingewiesen. Alle diese Säcke mögen beim Füllen standgehalten haben, sie hatten aber den Nachteil, dass sie zu steif waren und sich nicht gut schliessen liessen, ausserdem die steife Blume des Sackes ein Aufladen und Anfassen erschwerte. Dazu kommt, dass diese Art von Säcken gegenüber den nachstehend beschriebenen erheblich teurer sind. Diese armierten Papiersäcke haben eben den Nachteil, dass sie nicht elastisch genug sind, sie wissen sich nicht den verschiedenen Ausdehnungen, die der Sack mit Inhalt beim Legen, Stehen oder beim Transport einnehmen muss, anzuschmiegen.

Ferner musste beim Anschnallen der Papiersäcke an der automatischen Wage vorsichtig zu Werke gegangen werden, sollte nicht der Sack schon beim Füllen (sofern keine Unterstützung des Bodens da war) zerreissen. Auch ist es bei der Eile, die manche Arbeiter zeigen, wenn eine Sendung schnell verladen werden muss, leicht möglich, dass die Papierlage am Fülltrichter einreisst. Dann kommt der Transport auf der Bahn. Zuerst das Abheben der Säcke mit der Stechkarre, Verladen in den Waggon und späteres Abholen durch den Empfänger. Dabei ist es selbstredend, dass der Arbeiter gewöhnlich keine Vorsicht übt und mit dem Sack recht unsanft umgeht.

Alles dies sind Übelstände, welchen begegnet werden muss, soll eine allgemeine und vorteilhafte Verwendung möglich sein.

Die ungemein grosse Bedeutung, welche die Papiersackfrage für Deutschland hat und das Mass der Verwendungsmöglichkeit derselben, als auch leider die geringen Erfolge, welche, trotz aller Versuche und Patente in den letzten Jahren erzielt wurden, geben alle Veranlassung, den dem Unterzeichneten geschützten „Gewebesack mit Papiereinlage" ernstlich zu berücksichtigen.

Die Ausführung dieses „Gewebesackes mit Papiereinlage" D. R. G. M. Lottes entspricht allen an einen deutschen Papiersack gestellten Forderungen. Die glücklich gewählte Kombination des Kreppapierinnensackes, durch eine leichte Jutehülle nach aussen geschützt, genügt für grosse Spannungen. Diese Ausführung gibt jedem der beiden, Jute- wie Papiersack den nötigen Halt, d. h. die Jutehülle nimmt die durch die Füllung auftretenden Spannungen des Papiersackes auf, gibt dadurch dem Papiersack den nötigen Halt und der Papiersack macht den Jutesack dadurch absolut

staubdicht. Ausserdem ist ein einfaches und bequemes Zubinden der Säcke gewährleistet.

Der Kreppapierinnensack kann jede Veränderung der Hülle, da er ja lose eingenäht ist und mit grossen Längs- und Querfalten versehen, ohne zu platzen, sofort eingehen und verhindert das beim Füllen auftretende und speziell in der chemischen Industrie und in den Kalkmühlen so gesundheitsschädliche und belästigende Staubentwickeln absolut.

Die bisher beim Füllen und beim Versand entstandenen Materialverluste treten bei Verwendung dieses staubdichten Sackes nicht ein, ausserdem ist durch den absoluten Luftabschluss eine vorzügliche Konservierung der Ware gewährleistet. Auch ätzende Stoffe wie Wasserkalk können diesem „Gewebesack mit Papiereinlage" auf mehrere Monate ruhig anvertraut werden. Ausserdem ist das Papier durch ein besonderes Verfahren möglichst wenig hygroskopisch hergestellt, was diesem Sack den Vorzug gibt, ihn auch für solche Substanzen zu benutzen, die leicht Wasser anziehen, worunter auch Wasserkalk zu rechnen ist.

Jedenfalls bietet der vorstehend beschriebene Sack den Vorzug der Staubfreiheit, einer gleichen Geschmeidigkeit und Transportfähigkeit, wie der gewöhnliche Jutesack.

Versuche seitens der mir benachbarten Kalkwerke Franz Zilkens und Schulz, Sötenich, mit einigen auf die Reise geschickten Probesäcken waren zur Zeit der Drucklegung dieses Buches noch nicht beendet; dagegen soll eine gleiche Prüfung auf die Haltbarkeit, Aufstapelung, Anfuhr zum Bahnhof, Transport im Waggon, Abfuhr zum Lager des Händlers, wie sie Hambüchen & Langel, Berg.-Gladbach bei Köln angestellt haben, günstig ausgefallen sein. Wie oft sie den Transport hin und her vertragen, darüber ist es zurzeit noch nicht möglich zu berichten. Dies ist allerdings von Bedeutung.

Analysen von vorher gedämpften gemahlenen hydraulischen Kalken.

Während, wie geschildert, der Wasserkalk in Stücken für Handelsware einen gewissen Prozentsatz an Hydraulefaktoren nicht überschreiten darf, bietet die Art und Weise der fabrikmässigen Aufbereitung des „gemahlenen" Gelegenheit, die verschiedenartigsten Wasserkalke zu verarbeiten. Gewissenhafte Werke „gattieren" selbstverständlich, d. h. sie bringen die mehr oder weniger tonhaltigen Mergel von oft sehr schwankender Zusammensetzung vor dem Einbringen in den Ofen in ein passendes Verhältnis, um ein nahezu einheitliches Durchschnittsmaterial herzustellen. Es mögen nun die Analysen einiger besseren Marken — fünf von vielen —, alle Handelsproben, folgen (Seite 87):

Die nachstehenden Sackkalke enthalten also 16,72 %—20,76 %—23,37 % —? %—26,82 % hydraulische Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd. Als Stückkalke, d. h. vor dem Hydratisieren, dem Abdämpfen, also im wasserfreien Zustande, wiesen sie demnach — nach einer hier nicht zu erörternden Umrechnung — 20 %—26,36 %—26,89 %—? %—30,26 % Hydraulefaktoren auf. Vergleicht man diese Zahlen mit den über die Stückwasserkalke des Handels mitgeteilten, so darf man sagen, dass es angezeigt erscheint, etwa von 20 bis 22 % Hydraulefaktorengehalt an den Stückkalk in Sackkalk überzuführen.

Es soll noch bemerkt werden, dass 200 Sack = 10 000 kg etwa von der Beschaffenheit des Sötenicher Kalkes, etwas über 15 cbm Kalkmehl (gerütteltes Mass) enthalten, der einzelne Sack also rd. 75 l.

	Sigmund Löwensohn, Mühlbach (Bayern)	Kalkwerk Schulz, G. m. b. H. Sötenich (Eifel) neuere Analyse	Kalkwerk Schulz, G. m. b. H. Sötenich (Eifel) ältere Analyse	Gewerkschaft Lothringen, Geseke (Westfalen)	Gloriakalk der Bürener Portland-Zement-Werke A.-G. Büren (Westfalen)	„Tekelia" der Tecklenburger Kalk- u. Zementwerke G. m. b. H., Lengerich i. Westf.
Wasser . . .	13,40	9,93	13,08	9,06	11,38	14,34
Kohlensäure .	2,53	3,03				
Unlösliches (Sand, Ton) .	0,83	6,81	2,35	28,65*)	3,83	3,07
Kieselsäure .	9,43	13,37	23,37		17,70	12,20
Tonerde + Eisenoxyd .	7,29	7,39		3,84	9,12	8,40
Kalk . . .	63,83	56,41	58,30	58,16	53,50	59,37
Magnesia . .	2,01	1,56	1,87	0,29	1,13	1,07
Schwefelsäure	0,57	1,02	1,03	—	—	1,20
	99,89	99,52	100,00	100,00	96,66	99,65

Die Verarbeitung des gemahlenen hydraulischen Kalkes zu Mörtel erfordert immerhin, wie auch diejenige des auf der Baustelle abgelöschten Stückwasserkalkes, falls dieser im frischen Zustande, einige Vorsicht. Je feiner die Siebung und Mahlung, je rascher ist der Mörtel gebrauchsfertig. Siebe von 340 Maschen/qcm sind die gröbsten, diejenigen von 500 Maschen verdienen mehr Vertrauen; die besten Werke nehmen für ihren höher hydraulischen Kalk ein Sieb von 900 Maschen oder mehr. Einen gemahlenen Kalk à la Sötenich oder Beckum verarbeitet man nun erfahrungsgemäss am besten so: Man setzt das ganze Quantum Kalkpulver mit einem Teil des Sandes in einer Mörtelpfanne in dünnflüssigem Zustande an, lässt den gut durchgearbeiteten Brei 4—5 Stunden ruhen, um etwa unvollkommen gelöschte Kalkpartikelchen zum nachträglichen gänzlichen Ablöschen zu bringen, und gibt nun den Rest Sand zu. Der Mörtel ist dann nach nochmaligem gewissenhaftem Durcharbeiten mit der Haue (Krücke) gebrauchsfertig. Die Mörtelbereitung des Kalks in einem Bett von Sand, d. h. also ohne Mörtelpfanne, vorzunehmen, ist zwar sehr beliebt, aber zu verwerfen, weil von dem unumgänglichen intensiven Durchrühren und Kneten des Mörtels zwecks Erreichung einer gleichmässigen Mischung nicht die Rede sein kann. Diese ist aber aus dem Grund erforderlich, damit der Mörtel nicht stellenweise zu fett oder zu mager ist, weniger haltbar wird, und so an der Wand — bei einem Überschuss von Kalk oder Sand — abfallen, abblättern, abrieseln würde.

Neuerdings schreibt Kalkwerk Schulz, Sötenich, für Verputzzwecke das Einsumpfen des „gemahlenen" und 24stündiges Lagern vor. Ich halte dies für sehr wichtig, wenigstens für diese Marke.

*) Eine solche Totalbestimmung der hydraulischen wirksamen Kieselsäure mit der kieseligen unwirksamen und dem ebenfalls neutralen Ton kann zu Trugschlüssen führen.

b) Ungedämpfter gemahlener hydraulischer Kalk.

Wie früher erwähnt, kommen auch ungedämpfte, also bloss gemahlene und gesiebte Marken in den Handel. Der Stückkalk erfordert dann eine besonders peinliche, weitgehende Aufbereitung hinsichlich des Mahlens (besonders fein mahlende Apparate) und Siebens (besonders enge Maschen), wenn man nicht — wie dies schon vielfach geschieht — windsichten will. Denn dieser Sackkalk, weil noch nicht abgelöscht, muss das wenn auch bei manchen Marken unbedeutende Ablöschen während der Mörtelbereitung vornehmen, zu welcher ihn Mahlwerk und Sieb möglichst willfährig machen müssen, damit er nicht später im Mauerwerk oder Verputz treibt. Seine chemische Zusammensetzung ähnelt derjenigen der besten „vorher gedämpften" gemahlenen Marken — diese im wasserfreien Zustand angesehen —; in manchen Fällen ist sein Gehalt an Hydraulefaktoren noch um einige Prozent höher. Bei den jetzt folgenden

Analysen

sollen auch diejenigen zweier magnesiareichen Wasserkalke (Förderstedter und Braunsdorfer) Platz finden:

	Zementkalk vom Kalkwerk Steudnitz bei Dornburg a. d. Saale	Kalkzement der Geseker Kalk- und Zement-Werke Monopol A.-G. (Geseke-Westf.)	Zementkalk „Salder" der Braunschweiger Portland-Zementwerke Salder	Förderstedter Natur-Zementkalk von Schenk & Vogel Magdeburg	Braunsdorfer Dolomit-Zement der Braunsdorfer Dolomit-Zement-Kalkwerke, Braunsdorf bei Tharandt
Glühverlust .	1,93	—		—	5,36
Unlösliches (Sand, Ton) .	0,65	0,72		—	—
Tonerde . .	5,04	3,57	8—11	7,96	2,32
Eisenoxyd . .		1,23			3,36
Kieselsäure .	9,14	22,54	24—27	13,88	13,70
Kalk . . .	74,91	70,29	62—65	59,79	49,58
Magnesia . .	4,70	0,28	0—2	14,69	25,18
Alkalien . .	2,41	0,89		—	—
Kohlensäure .	0,40	—		—	—
Schwefelsäure	—	0,48		—	Spuren
	99,18	100,00	—	96,32	99,50

Von dem Rohkalk, wie ihn die Portland-Zementfabrik „Germania" A.-G., Lehrte zu ihrem „Germania"-Zementkalk verarbeitet, liegen mir drei Analysen vor:

	1904		1908
Glühverlust	2,97	1,25	0,40
Kieselerde und Sand . . .	16,24	20,01	22,00
Eisenoxyd und Tonerde . .	6,74	7,46	9,00
Ätzkalk	71,56	69,00	68,30
Magnesia	1,04	0,95	0,30
	98,55	98,67	100,00

Dieser „ungedämpfte“ ist gewissenhaft wie Zement zu Mörtel zu verarbeiten. In der Regel mischt man das Kalkpulver trocken mit Sand, gibt dann soviel Wasser zu bis die Masse dünnbreiig ist und lässt diese — wenigstens bei den dolomitischen Marken — mindestens 12, evt. 24 Stunden nach dem Umrühren ruhen, um sie dann noch einmal durchzuarbeiten. Weil das Dolomit-Kalkpulver nicht abgelöscht ist, so treibt es etwas im Sack und gibt mitunter zum Platzen der Säcke Veranlassung. Auf diesen Umstand sollten die Lieferer fortlaufend aufmerksam machen, ebenso darauf, dass der Mörtel — wegen des langsamen Ablöschens des Kalkes — nicht so rasch gebrauchsfertig ist, wie der aus gedämpftem Sackkalk hergestellte. Eine genaue Vorschrift zur Mörtelbereitung erspart Lieferer und Abnehmer manchen Ärger und oft bedeutungsvolle Differenzen. Einige Werke bieten geradezu ihren „ungedämpften“ als „ungelöscht = treibend“, daher den vorher gelöschten gemahlenen hydraulischen Kalk als „volumbeständig = nichttreibend“ an.

Über spezifisches Gewicht und Raumgewicht

geben die Tabellen in Kapitel V erschöpfend Auskunft. Man ersieht aus denselben das bedeutende Schwanken der Zahlen.

Die Mörtelergiebigkeit bzw. das Sandmeisterungsvermögen

ist ebenfalls bei den verschiedenen gemahlenen Marken recht verschieden.

Auf 1 cbm Sand rechnet man bei den besseren Sackkalken à la Sötenich je nach dem Verwendungszwecke 3—5 Sack (zu 50 kg = 75 Liter). Das Mischungsverhältniss ist also rund 1 : $4^1/_2$—$2^3/_4$.

Die Sandkapazität hoher hydraulischer Kalke ist infolge ihrer besonders weit getriebenenen Mahlung und Richtung eine wesentlich höhere.

So empfehlen:

	bei Mauerwerk	bei Innenputz	bei Aussenputz
Geseker Kalk- und Zementwerke, Geseke, für ihren Kalkzement „Monopol“	1:5—7	1:5	1:3—4
Bürener Portlandzement-Werke, A.-G. Büren, für ihren „Gloriakalk“	1:6 und höher	—	—
Schenk & Vogel, Magdeburg, für ihren „Förderstedter“ Naturzementkalk	1:7—9	1:6—7	1:5—6
Braunsdorfer Dolomit-Zement-Kalkwerke für ihren Dolomit-Zement-Kalk	1:7—9	1:6—7	1:5—6
„Meteor“ A.-G. Kalk- und Portlandzement-Werke Geseke, für ihren „Metropol-kalk“	—	1:4—6	—
für ihren „Meteorkalk“	—	1,5—10	—
„ „ „Meteor-Extra“	1:7—10	1:5—7	1:3—5
Braunschweiger Portland-Zementwerke, Salder	1:5—7	1:2—3	

„Meteor“ A.-G. veröffentlichte u. a. auch eine sehr praktische Ausbeute-Tabelle für Mauermörtel („Meteorkalk“).

Mischungsverhältnisse in Raumteilen	1 cbm Mauermörtel erfordert: Meteorkalk kg	Sand l	Wasser l	Mischungsverhältnisse in Gewichtsteilen	1 Sack 50 kg Meteorkalk erfordert 1 Sand	Ausbeute in Prozenten
1: 1,5	455	855	315	1: 2,5	100	70
1: 2	370	925	310	1: 3,5	130	72
1: 2,5	317	990	305	1: 4,5	160	
1: 3	265	1000	300	1: 5,5	190	75
1: 4	211	1050	295	1: 7,0	250	76
1: 5	174	1080	290	1: 8,5	310	77
1: 6	147	1100	288	1:10,0	370	78
1: 7	128	1120	285	1:12,0	430	
1: 8	115	1130	281	1:14,0	490	79
1: 9	101	1140	278	1:16,0	560	
1:10	92	1150	275	1:18,0	630	

Die Zug- und Druckfestigkeit

der verschiedenen „gemahlenen“ bewegt sich ebenfalls in recht weiten Grenzen, und zwar im Mischungsverhältnis 1 Raumteil Kalkpulver : 3 Raumteilen Normalsand für die gewöhnlichen gemahlenen hydraulischen Kalke

bei 28 tägiger				bei 90 tägiger			
Wasserlagerung		Luftlagerung		Wasserlagerung		Luftlagerung	
Druck	Zug	Druck	Zug	Druck	Zug	Druck	Zug
6—20	2—9	10—25	2—10	8—45	4—10	20—40	4—8

Die Festigkeitszahlen der sog. Zementkalke sind wesentlich höhere.

Bei einem Mischungsverhältniss von 1 Gewichtsteil Kalk : 3 Gewichtsteile Normalsand erhält man

bei 28 tägiger				bei 90 tägiger			
Wasserlagerung		Luftlagerung		Wasserlagerung		Luftlagerung	
Druck	Zug	Druck	Zug	Druck	Zug	Druck	Zug
120—170	12—30	130—180	15—30	bis 230	bis 40	bis 260	bis 40

Für eine stattliche Reihe von Kalken sind die Festigkeitswerte in den Tabellen des Kapitels V niedergelegt.

Die schweizerische Materialprüfungsanstalt Zürich ermittelte für die während der Jahre 1886/93 geprüften hydraulischen Kalke in der Normalmischung 1 Gewichtsteil Kalkpulver + 3 Gewichtsteile Schweizer Normalsand und für 28 Tage Wassererhärtung folgende Grenzwerte:

	Zugfestigkeit	Druckfestigkeit
Mittelwert . . .	7,5 kg/qcm	47,5 kg/qcm
Mindestwert . .	1,4 „	14,0 „
Höchstwert . . .	16,0 „	107,0 „

Verwendungszwecke.

Das Verwendungsgebiet der schwach- und mittelhydraulischen Mörtel umfasst sämtliche Arbeiten zu Mauerwerk und Verputz an der Luft, im Feuchten und unter Wasser. Allerdings sind ihre Mörtel nicht so kellegerecht, nicht so plastisch, nicht so geschmeidig, sie „flutschen“ nicht so flott von der Truffel, wie die Luftmörtel. Man setzt daher bei gewöhnlicheren Arbeiten gerne etwas Weisskalk oder Graukalk zu. So arbeitet ein erstes Kölner Baugeschäft mit einem Mörtel: 2 Sack gemahlener Kalk + 1 Hektoliter Weisskalk + $1^1/_2$ cbm Sand (ergebend 1430 Liter). Für gewöhnlichen Mauermörtel ist diese Mischung sehr zu empfehlen.

Von der Verwendung des Wasserkalkes zur Herstellung von Schwemmsteinen wird neuerdings nicht mehr abgeraten. Im übrigen ist als Spezifikum der Graukalk, d. h. Dolomitkalk besonders beliebt. Dagegen eignet sich der Wasserkalk zur Fabrikation der Kalksandsteine.

Die höher und höchst hydraulischen Ia Marken werden zu den verschiedenartigsten Arbeiten verwandt:

1. als Mauermörtel an Stelle des sonst gebräuchlichen Kalkmörtels;
2. als vollständiger Ersatz für sogenannten verlängerten Zementmörtel, ohne dass dem Mörtel Zement zugesetzt zu werden braucht;
3. als zuverlässiges Material für Innen- und Aussenputz, da sie garantiert volumbeständig sind und daher ein Treiben des Mörtels ausgeschlossen ist;
4. für Tief- und Wasserbauten, sowie für Schachtausmauerungen;
5. für Fundamentierungen, Kaminbauten usw.;
6. zur Erzielung einer fetteren Betonmischung;
7. als bester Verputz für Rabitz- und Monierbauten;
8. zum Verlegen von Ton-, Mosaik- und Marmorplatten, ohne Zusatz von Kalk oder Zement;
9. als Material zur Herstellung von Schwemmsteinen, Kaminröhren, Schlacken- und Kalksandsteinen.

Zu all diesen Arbeiten wird der „Zementkalk“, falls er wirklich ein solcher ist, trocken mit dem Sandmateral gemischt, dann wie Portlandzementmörtel angefeuchtet und gut durchgearbeitet. In wenigen Minuten ist er gebrauchsfertig.

Die magnesiareichen Zementkalke à la Förderstedt usw. erfordern dagegen ein mindestens 12—24 stündiges Ablöschen.

Der Leser wird aus allem Vorausgegangenem entnommen haben, dass der „gemahlene“ der „Kalk der Zukunft“ wird, wenn er nicht schon heute — nach der Ansicht des Verfassers —, dem Weisskalk wenigstens, den Rang abgelaufen hat, ebenso dem Kalkmörtel mit Zementzusatz.

In dankenswerter Weise hat Professor Gary am 19. Februar 1907 in dem Deutschen Verein für Ton-, Zement- und Kalkindustrie die Verhältnisse des Berliner Baumarktes näher beleuchtet; dieser Vortrag findet sich in Nr. 57, Jahrgang 1907, der Tonindustrie-Zeitung abgedruckt. In sachlicher Weise wird dort auf die enorme Wichtigkeit eines guten Mauerwerkes hingewiesen und auch näher ausgeführt, wie gerade in Berlin gegen diese vornehmste Bauregel gesündigt wird. Herr Professor Gary beleuchtet in seinem Vortrag die Weisskalkmörtel und deren Verbesserung durch Zementzusatz und kommt zu der Schlussfolgerung, dass der durch Zusatz von Portland-Zement bedingte geldliche Mehraufwand durch höhere Festigkeit und schnelleres Austrocknen vollständig wieder wett gemacht wird.

Nach den vergleichenden Versuchen, welche Gary hinsichtlich der Festigkeiten und Preise von Weisskalkmörteln mit Zementzusatz einerseits und mit Meteorkalkmörtel andererseits angestellt hat, geht nun folgendes hervor.

Es besitzt ein Kalkmörtel 1 : 2 Teile Sand und 0,2 Portland-Zement bei einem Kostenpunkt von 10.90 M. pro cbm 4,68 kg Zugfestigkeit nach 28 Tagen. Dieselbe Zugfestigkeit wird erreicht, wenn man ein Teil Meteor-Kalk und 5 Teile Sand verwendet, bei einem Preise von 6.84 M. pro cbm fertigen Mörtel, d. h. es wird pro cbm 4.06 M. gespart. Eine weit höhere Festigkeit wird noch erzielt bei Verwendung von Meteor-Kalk-Extra-Mörtel (1 Teil Meteor-Extra und 7 Teile Sand). Hier beträgt die Zugfertigkeit 7,85 kg nach 28 Tagen und es stellt sich der Kubikmeter auf 7.96 M. Auch hierbei werden 3.93 M. erspart.

Ein Kalkmörtel aus 1 Teil Kalk, 4 Teilen Sand und 0,5 Teilen Portland-Zement beim Kostenpunkt von 10.40 M. pro cbm besitzt nach 28 Tagen 5,15 kg Zugfestigkeit. Dieselbe Zugfestigkeit wird mit einem Meteor-Kalk-Mörtel (1 Teil Meteor-Kalk und 5 Teilen Sand) für 6.84 M. erzielt. Auch hierbei resultieren Ersparnisse von 3.56 M. pro cbm. Meteor-Extra (1 Teil Meteor-Extra, 7 Teile Sand) kostet 6.97 M. und auch hierbei werden Ersparnisse von 3.53 M. pro cbm bei noch 53 % höherer Festigkeit erzielt.

Ferner werden bei Verwendung von 1 Teil Kalk, 3 Teilen Sand und 1 Teil Zement 13,93 kg Zugfestigkeit erzielt und es kostet der Kubikmeter 13.30 M. Bei Verwendung eines Meteor-Kalk-Extra Mörtels 1 : 3 und bei 11,2 % geringerer Festigkeit stellt sich der Preis auf 9.40 M. pro cbm, also um 3.90 M. billiger. Bei Verwendung eines Meteor-Extra-Mörtels, bei 47 % höherer Festigkeit, stellt sich die Ersparnis pro cbm auf 1.04 M. Bei Verwendung eines Meteor-Kalk-Mörtels im Verhältnis 1 : 4 und bei 2 % geringerer Festigkeit stellt sich die Ersparnis auf 3.45 M. pro cbm.

Es ist somit zahlengemäss festgestellt, dass sich ein einwandfreier Mauermörtel erheblich billiger stellen muss bei Verwendung von hydraulischem Meteor- und Meteor Kalk-Extra und ähnlichen Marken als bei Verwendung eines Weisskalkmörtels unter Zementzusatz. Die Ersparnisse schwanken je nach der beanspruchten Festigkeit zwischen 1.04 und 4.06 M. pro cbm Mauermörtel oder in Prozenten ausgedrückt zwischen 8,4 und 59,2 %. Diese Ersparnisse können je nach den örtlichen Verhältnissen eventuell noch grösser sein, da ja hier Berliner Verhältnisse zugrunde gelegt sind.

Ebenso eignet sich dieser seitens der Firma als volumbeständig garantierte Meteorkalk, ebenso andere gute westfälische Marken, entschieden besser zur Kalksandsteinfabrikation, als der auf den Kalksandsteinwerken abgelöschte, wegen mangelhaften Mahlens und Siebens mitunter treibende Weisskalk. Dass tatsächlich die Wasserkalke zur Herstellung der Kalksandsteine besser sind, als Weisskalk, geht aus den auf Seite 52 von dem Verkaufsverein westfälischer Kalkwerke mitgeteilten Daten hervor.

Welcher Mörtel ist nun billiger, der aus „gemahlenem“ oder der aus Stück-Wasserkalk hergestellte?

Man hört vielfach die Ansicht aussprechen, dass der Mörtel aus Wasserkalk in Stücken billiger sei, als derjenige aus gemahlenem hydraulischen Kalk. Dem ist nicht so. Die Preise der beiden Mörtel decken sich ungefähr.

Z. B. enthalten 10 t Sötenicher Sackkalk 15 cbm und mehr (gerütteltes Mass)*), während andrerseits 10 t Stückkalk nach den sehr genauen Ermittelungen des Tiefbauamts Köln für den Stückkalk von Kalkwerk Schulz, Sötenich (Eifel) — 220 Doppelwagen wurden für die Kölner Hafenbauten 1892—1894 abgedämpft — 20 cbm ergaben.

Zu etwa 19—20 cbm für den Beckumer Kalk kommt der Erbauer der städtischen Wasserwerke Berlin, Baumeister C. F. Genth, in der Broschüre „Die hydraulischen Mörtel usw.“ (herausgegeben von den Wicking'schen Portland-Zement- und Wasserkalk-Werken in Recklinghausen 1893). Rechnen wir also durchschnittlich 19 cbm. Dem ist allerdings, wie in der gleich folgenden Selbstkostenberechnung gezeigt werden wird, beizupflichten, dass 1 cbm auf der Baustelle hergestelltes Kalkmehl stets billiger ist, als 1 cbm Sackkalk, nicht aber der Angabe der oft zu weit gegriffenen Mischungsverhältnisse. Aus solch einem zu mageren Mörtel ist auch der mit Recht gerügte „Mangel an Dichtigkeit, Geschmeidigkeit und Festigkeit, sowie die viel schwerere Verarbeitung“ herzuleiten. So gibt der sehr gewissenhafte Genth in der schon erwähnten Broschüre das Mischungsverhältnis „1 Teil auf der Baustelle hergestelltes Kalkpulver zu 2 Teilen Sand“ an. Die nun folgenden Aufstellungen, welchen die für Köln pro 1908 massgebenden Preise zugrunde liegen, sollen den Gedankengang einer Selbstkostenberechnung für die aus den beiden Kalkmarken hergestellten Mörtel skizzieren.

a) Mörtel aus auf der Baustelle abgedämpften Stück-Wasserkalk:

Preis per 10000 kg Kalk frei Baustelle Köln	150 M.
Arbeitslohn für Löschen, mehrmaliges Umsetzen und Sieben	20 „
	170 M.

*) Die Westfalenkalke enthalten, als spezif. schwerer, viel weniger Mass.

Da nun, wie schon gesagt, 1 Doppelwagen im Mittel rd. 19 cbm Kalkpulver ergibt, so kostet 1 cbm gedämpfte Masse $\frac{170\ M}{19} = 8{,}95$ M., wenn man den Wasserverbrauch, Verschleiss der Geräte usw. nicht in Anrechnung bringt. Der Kubikmeter Sand frei Baustelle kostete, je nach der Entfernung, 3 M. bis 3.50 M., also durchschnittlich 3.25 M. Bei den schon mitgeteilten Genthschen Mischungsverhältnis 1 : 2 = 1,75 cbm Mörtel (wieder nach den Angaben der vorher schon erwähnten Broschüre) würde also 1 cbm Mörtel kosten

$$\frac{8.95 + 2 \times 3{,}25}{1.75} = \text{rd. } 9 \text{ M.}$$

Bei einer mageren, aber immhin gut zulässigen Mischung von 1 : 3 = 2,5 cbm Mörtel

$$\frac{8.95 + 3 \times 3.25}{2.5} = 7.48 \text{ M.}$$

Bei 1 : 4 = 3,5 cbm Mörtel

$$\frac{8.95 + 4 \times 3.25}{3{,}5} = 6.27 \text{ M.}$$

b) Mörtel aus gemahlenem hydraulischen Kalk:

Preis pro 10000 kg frei Baustelle 165 M. (ohne Sack). Man rechnet in Köln auf 1 cbm Sand 3 und mehr Sack Kalk. Bei 3 Sack gemahlenem (nach oben 3 × 75 = 225 l) : 1 cbm Sand würden 1000 l = 1 cbm Kalk 4,4 cbm Sand erfordern und etwa 4 cbm Mörtel ergeben. Also kostet 1 cbm Mörtel

$$\frac{\frac{165}{15} + 4.4 \times 3.25}{4} = 6.33 \text{ M.}$$

Nach dem gleichen Ansatz und bei einem Mischungsverhältnis von

4 Sack = 300 l : 1 cbm Sand
5 „ = 375 l : 1 cbm „ würden

1000 l = 1 cbm Kalkpulver 3,33 cbm Sand bzw. 2,26 cbm Sand erfordern und etwa 3 cbm Mörtel bzw. 2 cbm Mörtel ergeben und daher 1 cbm Mörtel kosten

$$\frac{\frac{165}{15} + 3.33 \times 3.25}{3} = 7.27 \text{ M. bzw. } \frac{\frac{165}{15}\ 2.26 \times 3.25}{2} = 9.18 \text{ M.}$$

Je nach dem mageren oder fetten Mischungsverhältnis ist der Mörtel naturgemäss schwerer oder leichter mit der Kelle zu verarbeiten, und es muss zugegeben werden, dass bei der Mischung 3—4 Sack Kalk: 1 cbm Sand der Zusatz von ein wenig, von einem „Kläppchen“ oder mehr Weissfettkalk*) in Köln beliebt ist, der allerdings, aber nicht nennenswert, die Hydraulizität des Mörtels herabsetzt. Immerhin ist aus diesen Zahlen ersichtlich, dass der Mörtel aus gemahlenem hydraulischen Kalk nicht teurer, oder nicht wesentlich teurer ist, als ein solcher aus Stückwasserkalk. Dazu ist er entschieden zuverlässiger und gibt bei richtiger und zudem leichter Zubereitung — gutes Durchrühren der Masse und vorheriges, etwa halbtägiges Lagern derselben — zu Treib-

*) Siehe Seite 91.

erscheinungen und den diesen folgenden unerquicklichen Differenzen keine Veranlassung.

Dieselbe Frage entscheidet ebenfalls zugunsten des gemahlenen hydraulischen Kalks die Bauabteilung Dortmund der Kgl. Eisenbahn-Direktion Essen-Ruhr, welche den Kalkzement („Monopol") $33^1/_3$—$50^0/_0$ sparsamer im Verbrauch hält, als den von derselben Firma gelieferten Wasserkalk in Stücken, bei sogar doppelter Druckfestigkeit des ersteren.

Welches sind nun

die Vorzüge des „gemahlenen" dem Stückwasserkalk gegenüber?

und wer wird derselben teilhaftig? Die Antwort auf die letztere Frage lautet: Fabrikant und Konsument. Fast jeder Steinbruch von mergelartigem Charakter weist Partien von wechselndem Tongehalt auf. Ein Teil derselben ist — wegen seines verhältnismässig niedrigen Gehalts an Kieselsäure und Tonerde — nach dem Brande elegant ablöschfähig: es ist die Handelsware „Wasserkalk in Stücken". Ein anderer Teil löscht sich schwerer, ev. gar nicht. Früher musste man um die höher hydraulischen Lagen herumgehen oder dieselben auf die Halde stürzen. Dies ist jetzt nicht mehr nötig, weil die feine Zerteilung der aus solchen Mergeln erbrannten Kalke mittelst Mahl- und Siebprozess dieselben der Einwirkung des Wassers im Stadium der Mörtelbereitung willfährig macht. Schon in den Silos wird manches sonst auf der Baustelle im Haufen schwer oder unlöschbare Stück sich durch die lang anhaltende intensive feuchte Hitze, wenn auch langsam, zum Quellen bequemen müssen. Die schon besprochene Gattierung ist selbstverständlich angezeigt.

Ferner kann das Kleinzeug des Ofens, welches sonst zu Spottpreisen als Düngekalk abgegeben oder auf die Halde gefahren wurde, die Kalkasche, ferner die Kohlenasche und die Schlacke mit verarbeitet werden, denn wenn diese auch selbstverständlich der Menge nach hinter dem grossstückigen Kalk zurückbleiben, so sind sie doch auch hydraulisch. Es verrät totalen Mangel an Kenntnis, diese Zugaben als Ballast oder sogar als schädlich zu betrachten, wie dies bedauerlicherweise noch geschieht. So erlaubt auch die Kalkmühle manchen Betrieben, ihren Kleinschlag, den Schotter, ev. auch die Kalkmergelerde in den schon geschilderten Öfen nutzbringend auf Sackkalk zu verarbeiten. Dass es schliesslich eine wahre Wohltat für den Fabrikanten oder Händler ist, bei behördlichen Lieferungen statt nach Mass, wie bei Stückwasserkalk, ev. allen möglichen Schikanen der abnehmenden Baubeamten ausgesetzt, nach Gewicht oder Sack verkaufen zu können, soll nicht unerwähnt bleiben.

Auf der anderen Seite, vom Standpunkte des Abnehmers oder Verbrauchers aus, sind folgende Vorteile des „gemahlenen" hervorzuheben.

Sein Hauptwesenszug liegt in seiner unmittelbaren Gebrauchsfertigkeit. Die Stückkalke auf der Baustelle — sei es Weiss- oder Wasserkalk — bedürfen vorher eines umständlichen Löschens und einer besonders peinlichen Reinigung, Arbeiten, die ganz von dem guten Willen des oft ungeschulten Handlangers oder Löschers, der noch dazu unter der beim Umsetzen und Sieben unvermeidlichen Staubentwickelung leidet, abhängen. Ferner erspart man im Gegensatz zu Weisskalk eine Grube. Beschränkte Wasserverhältnisse, so z. B. eine schlecht laufende Leitung, oder nur eine Pumpe, ein Brunnen, aus welchem

das Wasser gewellt (gepützt) werden muss, oder ein Bach fordern geradezu zu dem Verbrauch des „gemahlenen“ heraus. Ferner ermöglicht derselbe infolge seiner hohen Mahl- und Siebfeinheit eine denkbar innige Mischung mit dem Sand und erlaubt uns aus dem gleichen Grunde einen grösseren Zusatz von letzterem. Auch die Abnahme einer Lieferung durch Zählen der einzelnen Säcke ist angenehmer und sicherer, als das Aufmessen einer Ladung Stückkalk, welches bei längerem Transport desselben — wegen seines zerkleinerten Zustandes — oder nach einem tüchtigen oder längeren Regen geradezu illusorisch wird. Ebenso ist der Verbrauch leicht zu kontrollieren. Die bequeme Aufbewahrung, selbst bei Mangel an Raum, sowie der Umstand, dass er selbst bei längerem Lagern nicht verdirbt, sind zudem nicht zu unterschätzende Vorzüge. Hinsichtlich Dichte und Plastizität sei bemerkt, dass — wenigstens die besseren Marken — dichtere Putzflächen liefern, als ein voluminöserer Kalk, z. B. der allerdings leichtere und plastischere Weisskalk. Dass dieser zudem an Wetterbeständigkeit weit hinter dem „gemahlenen“ zurückbleibt, dürfte sattsam bekannt sein.

Es soll übrigens noch besonders betont werden, dass der Ia gemahlene hydraulische Kalk — aus früher schon entwickelten Gründen — höher hydraulisch ist und daher rascher abbindet und stärker erhärtet, als der auf der Baustelle gedämpfte Wasserkalk in Stücken. Dies ist namentlich bei einem schnellen Hochführen von Bauten und bei anhaltendem Regenwetter nicht ausser acht zn lassen. Zudem trocknen Mauerwerk und Verputz schneller, die Gebäude sind also schneller beziehbar. Übrigens hat der gemahlene hydraulische Kalk, soweit Verputz in Frage kommt, — wenigstens in der Kölner Gegend — fast gänzlich den Wasserkalk in Stücken verdrängt.

Das einzig hässliche, was der „gemahlene“, d. h. nur bei minder gut aufbereiteten Marken manchmal an sich hat, ist das Treiben als Mörtel im Mauerwerk oder Verputz.

Einfache Prüfung auf Volumbeständigkeit.

Im übrigen ist es nicht schwer, sich durch eine Probe, wie sie ja auch bei Portland-Zement üblich ist, von dem Charakter eines gemahlenen Kalkes auf einfache und billige Weise zu überzeugen. Mörtelkuchen, im Verhältnis 1 Kalk : 2 Sand, von etwa 12 cm Durchmesser und 1,5 cm Dicke, bringe man auf eine Glasplatte und lasse sie an einem feuchten Orte so lange abbinden, bis die Oberfläche der Kuchen dem leichten Eindruck der Finger widersteht. Dann lege man die Platten mit den Proben unter Wasser. Luftkalk bindet selbst nach einer Reihe von Tagen, manchmal nach Wochen nicht ab; aber auch dann, wenn er dem Fingerdruck widersteht, wird er unweigerlich in Wasser aufgehen und zerfallen. Ein hydraulischer Kalk hingegen soll an der Luft nach 1—3—7 Tagen abgebunden haben und unter Wasser keine Formveränderungen aufweisen, aber fester werden. Damit diese Versuche ein Ergebnis liefern, kommt es auf den Wasserzusatz an; der Mörtel muss steif, normal konsistent sein. Eine ebenfalls flotte einfache Probe auf Volumbeständigkeit kann auch mit den aus der Ritterschen Form genommenen Platten gemacht werden*). Genaue Vorschriften hierüber, sowie überhaupt über die Prüfung

*) Siehe Kapitel V.

von Kalken sind enthalten in den „Schweizer Normen für eine einheitliche Benennung, Klassifikation und Prüfung der hydraulischen Bindemittel 1901“.

Verschiedentlich tauchte in unseren Betrachtungen die Bezeichnung „Kalkzement“ auf*). Zementkalk, Kalkzement, Naturzementkalk, Portland-Zementkalk u. a. sind willkürlich gewählte Namen, welche darauf hindeuten sollen, dass die betreffenden, gewöhnlich durch einen Zusatz gekennzeichneten Marken dem Portland-Zement ähneln sollen. Dies ist auch bei einigen in mancher Beziehung der Fall, u. a. darin, dass sie z. B. die bis noch vor kurzem für Portland-Zement normenmässig verlangte Zugfestigkeit (16 kg pro qcm) und mehr nach eintägiger Luft- und 27 tägiger Wasserlagerung aufweisen.

Aber wie einerseits besonders vorsichtige Winkelwerkchen ihren Zwitter „Sackkalk“ taufen, so leisten sich gewissenlose Kalkbrenner für ihr undefinierbares Fabrikat, welches mitunter nur ein mit Kalkstein-, Schlacken- oder Ziegelmehl gemischter harmloser Weiss- oder Graukalk ist, die Bezeichnung „Zementkalk“. Ein bezeichnender Fall ist der unter Nr. 29 in den Tabellen des Kapitels V aufgeführte „Paradekalk“ aus Rumänien.

Dabei spielt das von der Fabrikation des gewöhnlichen gemahlenen hydraulischen Kalkes abweichende Herstellungsverfahren, so der ev. Zusatz von Zementrückständen oder anderes, keine Rolle. Die Hauptsache ist und bleibt die Wirkung im Mörtel. Zudem ist in Ansehung des grossen Sandzusatzes derselbe nicht teurer als Weisskalkmörtel mit Zement. Besondere Beachtung verdienen die Marken Braunsdorfer Dolomitzementkalk, Förderstedter Naturzementkalk, Tekelia-Extra, Monopol, Gloria, Germania und der Meteor, welche mit Fug und Recht den Namen Zementkalk beanspruchen dürfen**). Und so mag denn Meteor wie ein funkelnder Stern mit diesen andern Kalkmeteoriten den Kalkhimmel durcheilen und den übrigen Kalksternschnuppen zweiter Ordnung voranleuchten.

Leider habe ich von anderen Kalkzementen, mit Ausnahme der auf Seite 109 und 110 geschilderten „süddeutschen“, nichts erfahren können, trotz vieler wiederholter Rückfragen.

Die Fabrikation des gemahlenen hydraulischen Kalks und seine Verwendung stellt unbestreitbar einen gewaltigen Fortschritt in der Kalkindustrie und dem Baugewerbe dar. Aber wie immer bei neuen und dazu anfangs noch nicht ganz sicher arbeitenden, unreifen Unternehmungen bringt das konsumierende Publikum, beeinflusst durch die Konkurrenz, welche sich den Absatz in Weisskalk, Stückwasserkalk oder fertigem Mörtel nicht streitig machen will, dem „gemahlenen“ ein mitunter unberechtigtes Misstrauen entgegen. Vor allem fiel der Einwurf auf fruchtbaren Boden, man wisse ja gar nicht, was man in dem Sack hätte, es würde doch alles vermahlen, Kalkasche, Schlacke, ungares Zeug usw. usw.; auch müsse man das Wasser mitbezahlen. Dazu kam die Unsicherheit des Käufers, an dem Inhalt des Sacks zu erkennen, ob wirklich ein hydraulisches Material vorliege, oder ob man nicht etwa „unreinen“, grau oder gelblich gefärbten Weisskalk oder Dolomitkalk oder ein Gemisch von allem Möglichen geliefert erhalte. Um späteren Reklamationen zu be-

*) Eine sehr lesenswerte Broschüre ist Dr. Müller's „Zementkalk“, welche zum Preise von 0.50 M. vom „Baumaterialien-Markt“, Leipzig, zu beziehen ist.

**) Siehe die Tabellen in Kapitel V.

gegnen, ersannen besonders pfiffige Fabrikanten minderwertiger Ware den elastischen, schon erwähnten Namen „Sackkalk“, und so darf man dem Spötter nicht Unrecht geben, der in wehmutsvoller Erinnerung an die süssen Lateinstunden n der Sexta parodierte: „Was man nicht definieren kann, das sieht man als 'nen Sackkalk an!“ Auch wollten sich die Maurermeister usw. schwer mit der Bezahlung stark beschädigter oder abhanden gekommener Säcke, welche ihnen nicht in Rechnung gestellt, sondern leihweise überlassen waren, befreunden, von den Flicklöhnen gar nicht zu reden. Die Abneigung nahm zu, als eine wahre Krankheit von Treiberscheinungen, welche sich durch Ausschwären einzelner Stellen bis zum vollständigen Zerfall der aufgetragenen Flächen kundgaben, manchmal geradezu epidemisch wurde. Die Ursache dieses nachträglichen Ablöschens im Mörtel lag in dem Fehlen jeglicher Gattierung, so dass Rohsteine mit dem verschiedensten Tongehalt, gerade wie sie eben der Bruch gab, in den Ofen wanderten, dann in fehlerhaftem Brand, in mangelhafter Zugabe des Wassers beim Abdämpfen, in nicht genügender Zeitdauer des Löschprozesses — der Kalk war zu frisch — zu oberflächlicher Mahlung und Siebung — manchmal waren die Siebe sogar defekt, ohne dass man es merkte und neue aufzog — und endlich in nicht sachgemässer zuverlässiger Mörtelbereitung seitens des Verbrauchers.

Auch heute noch sind manche kleinere Werke, was Rohmaterial und Aufbereitung anbetrifft, durchaus nicht auf der Höhe und liegen mitunter mit ihrer Kundschaft in einem sehr unangenehmen, bisweilen kostspieligen Streit. Im grossen und ganzen jedoch sind die Kinderjahre des gemahlenen hydraulischen Kalkes vorüber. Grössere Werke liefern ein durchweg tadelloses Material von mehr oder weniger stark hydraulischem Charakter, dessen Güte also nach allem Vorhergesagten abhängt einerseits von dem Rohstein und andererseits von der Aufbereitung. Ja, manche Firmen garantieren geradezu Volumbeständigkeit. In dieser erblicke ich — ausser den anderern gleich zu besprechenden Eigenschaften des „gemahlenen“ — einen wesentlichen Vorzug dem Wasserkalk in Stücken gegenüber, der selbst bei vorsichtigstem Ablöschen und Sieben zu treiben geneigt bleibt, mit Ausnahme vielleicht des Westfälischen, der bei regelrechtem Löschen volumbeständig ist.

Auch jetzt soll wieder hervorgehoben werden, dass nicht alle gemahlenen Kalke, wie z. B. die Aschaffenburger und die Bingerbrücker Kalke, hydraulische Kalke sind, wie die Analysen folgender zwei Handelsproben zeigen:

	Wasser	Kohlensäure	Unlösliches	Kieselsäure	Tonerde und Eisenoxyd	Manganoxyd	Kalk	Magnesia	Alkalien	Schwefelsäure	Sa.
Aschaffenburger	15,50	1,59	3,21	0,31	4,52	1,62	45,67	27,48	—	—	99,90
Bingerbrücker	12,36	4,54	2,34	3,60	5,49	0,35	48,65	21,61	0,51	0,55	100,00

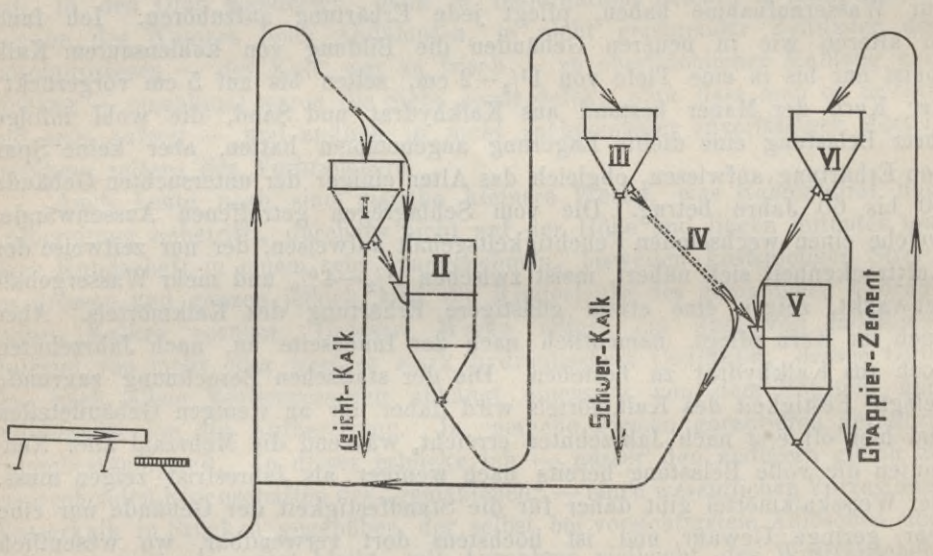
Diese Kalke enthalten nur 6,45 % bzw. 9,09 % Hydraulefaktoren, wenn man das Manganoxyd zu diesen rechnet.

Wie der Name „Luftkalk“ andeutet, eignet sich dieser Kalk, wie Weiss- oder Fettkalk und Normaldolomitkalk (Graukalk) nur für Bauten über der Erde. Auch für diese Luftbauten ist seine Verwendung beschränkt, so z. B. nicht empfehlenswert bei dicken, über zwei Steine starken Mauern oder solchen aus Bruchsteinen — in dem zirka 140 Jahre alten Werksteinmauerwerk der durch Brand zerstörten Dresdener Kreuzkirche hatte der Kalkmörtel weder abgebunden, noch war er erhärtet —, sowie in Fundamenten, bei rasch hochgehendem oder stark belastetem Mauerwerk oder bei anhaltendem Regenwetter, wenigstens nicht ohne hydraulische Zusätze, wie Trass oder Zement usw. Prof. Nussbaum-Hannover hat durch Untersuchungen an Versuchsmauern, sowie an ausgeführten Gebäuden gezeigt, „dass der Erhärtungsgang des reinen Weisskalkmörtels ein ungemein langsamer und höchst unzuverlässiger ist. In Innenmauern, die nach der Austrocknung des Neubaues, nur selten Gelegenheit zur Wasseraufnahme haben, pflegt jede Erhärtung aufzuhören. Ich fand in älteren wie in neueren Gebäuden die Bildung von kohlensaurem Kalk meist nur bis in eine Tiefe von $1^1/_2$—2 cm, selten bis auf 5 cm vorgerückt; der Kern der Mauer bestand aus Kalkhydrat und Sand, die wohl infolge ihrer Belastung eine dichte Lagerung angenommen hatten, aber keine Spur von Erhärtung aufwiesen, obgleich das Alter einiger der untersuchten Gebäude 40 bis 60 Jahre betrug. Die vom Schlagregen getroffenen Aussenwände, welche einen wechselnden Feuchtigkeitsgehalt aufweisen, der nur zeitweise der Lufttrockenheit sich nähert, meist zwischen $1^1/_2$—4 % und mehr Wassergehalt schwankt, zeigen eine etwas günstigere Erhärtung des Kalkmörtels. Aber auch ihr Kern pflegt, namentlich nach der Innenseite zu, nach Jahrzehnten noch aus Kalkhydrat zu bestehen. Die der statischen Berechnung zugrunde gelegte Festigkeit des Kalkmörtels wird daher nur an wenigen Gebäudeteilen und hier oft erst nach Jahrzehnten erreicht, während die Mehrzahl aller Neubauten die volle Belastung bereits nach weniger als Jahresfrist zeigen muss. Der Weisskalkmörtel gibt daher für die Standfestigkeit der Gebäude nur eine sehr geringe Gewähr und ist höchstens dort verwendbar, wo wesentlich grössere Mauerstärken zur Anwendung gelangen, als statisch erforderlich sind. Wo eine andere als die Druckfestigkeit in Betracht kommt, ist vor der Verwendung des reinen Weisskalkmörtels unter allen Umständen dringend zu warnen.“

Bekanntlich ist im Ausland und namentlich in Frankreich die Zementkalkfabrikation viel älter und viel weiter verbreitet als in Deutschland und ebenso ist der Verbrauch an Zementkalk im Verhältnis zu Portland-Zement ein viel grösserer. Es ist deshalb natürlich, dass die maschinellen Anlagen für diese Fabrikation in Frankreich weit mehr entwickelt sind, so dass man in der Lage ist, mehrere Sorten herzustellen, entsprechend den Wünschen der Kundschaft, nach denen die Erzeugung, wie überall, sich richtet. Es ist sehr wahrscheinlich, dass wir in Deutschland, nachdem wir in der Zementerzeugung bereits grosse Fortschritte machten, auch in der Herstellung verschiedener Kalksorten dem französischen Beispiele folgen werden, wie es „Meteor“, A.-G. Geseke (Metropol, Meteor und Extra), Tecklenburger Kalk- und Zementwerke, Lengerich u. a. schon tun. Jedenfalls ist daher die französische Einrichtung und Arbeitsweise für die deutschen Werke von Interesse. Gebr. Pfeiffer-Kaiserslautern beschäftigen sich seit vielen Jahren mit der Einrichtung von

Kalkwerken in Frankreich, unterhalten ein Zweigbureau in Paris und sind daher in erster Linie hier kompetent.

Ich wähle als typisches Beispiel für meine Ausführungen eines der vorbildlichen Werke im südlichen Frankreich, wo die Kalkindustrie teilweise in enormem Umfange betrieben wird. Dort liegen auch die überhaupt grössten Kalkmühlen der Erde, der Firma Pavin de Lafarge in Marseille gehörig, die über ein Werk in Le Theil mit einer Tagesleistung von nicht weniger als 100 Waggon verfügen. In den übrigen Werken dieser Firma wird zusammen etwa die gleiche Menge erzeugt. Das hier zu besprechende Kalkwerk ist eine kleinere Fabrik und daher übersichtlicher und hat eine Leistungsfähigkeit von 8 Waggon täglich und zwar Chaux légère*) (Leichtkalk), Chaux lourde (Schwerhalk) und Grappierzement, ein ins Deutsche nicht übersetzbarer Ausdruck, eigentlich Naturzement.



Die Zeichnung veranschaulicht schematisch eine solche moderne französische Anlage, welche von der Firma Gebr. Pfeiffer ausgeführt ist.

Der Arbeitsgang ist wie folgt:

Vom Löschsilo wird der gedämpfte Kalk automatisch auf den Separator Nr. I gebracht. Über diesem Separator ist ein kleiner Vorsortierer angeordnet, wodurch gröbere nicht verfallene Stücke direkt in die Hartmühle Nr. II geleitet werden. Das Feinmehl, mit Stücken bis zu Erbsengrösse vermischt, geht durch den Separator Nr. I, wo das durch das Dämpfen gebildete Feinmehl abgesaugt wird, während die gröberen Teile in die Hartmühle Nr. II fallen. Das sehr voluminöse Feinmehl, welches am wenigsten hydraulische Eigenschaften besitzt, kann direkt abgesackt werden und bildet den Leichtkalk. Die Kalkmenge, welche in den Löschsilos nicht zerfällt, wird auf die Hartmühle Nr. II geleitet, dort grob gemahlen und auf dem Separator Nr. III abgesiebt. Das Feinmehl vom Separator Nr. III ist bedeutend schwerer als das

*) Nicht zu verwechseln mit den bayerischen leichten „Chevau-legers“ (Reiterregiment).

aus dem Separator Nr. I und mehr hydraulich, es ist dies der Schwerkalk. Die Griese von Separator Nr. III gehen auf die Sortiervorrichtung Nr. IV, wo sie in drei Korngrössen zerlegt werden. Das Gröbste geht auf die Mühle Nr. II zurück, ebenso das Feinste. Das Mittelprodukt, Körner von 1—5 mm, besteht aus gesinterten Teilen und bildet die sogenannten Grappiers (Krebse). Selbstverständlich ist die Trennung nicht so unbedingt genau, dass etwa lediglich dieses Mittelprodukt aus Grappiers bestünde, vielmehr enthalten sowohl die feineren wie die gröberen Sorten einen gewissen Prozentsatz davon, während der Rest aus Schwerkalk besteht. Die im gröberen Produkt enthaltenen Grappiers werden bei Wiederholung der Mahlung in Mühle Nr. II herausgeschält, um dann beim nächsten Arbeitsgang auf der Sortiervorrichtung gewonnen zu werden. Die kleineren Grappiers werden mitvermahlen und dienen als Beimischung und Verbesserung des Schwerkalkes. Die von der Sortiervorrichtung Nr. IV ausgeschiedenen Grappiers werden auf Hartmühle Nr. V, welche in Verbindung mit Separator Nr. VI arbeitet, zu einer hohen Feinheit gemahlen, nachdem sie in einigen Fällen noch vorher längere Zeit gelagert werden. Ausserdem sind Vorrichtungen getroffen, welche es ermöglichen, Mischungen von Leichtkalk, Schwerkalk und Grappierzement in beliebigen Verhältnissen den Wünschen oder Vorschriften der Kundschaft entsprechend herzustellen. Man ist also z. B. in der Lage, aus einem Aufgabegut einen leicht hydraulischen Kalk und zugleich eine Kalkzementmischung entsprechend etwa unserer Mischung für verlängerten Zementmörtel, zu erzeugen, indem man einen Teil des Schwerkalkes zum Leichtkalk und einen andern Teil zum Grappierzement mischt.

Es ist natürlich nicht leicht, allgemeine Regeln für die Fabrikation von Zementkalk aufzustellen, da die Materialien von den einzelnen Brüchen sehr verschieden sind und es kann sogar als Regel gelten, dass die Steine in ein und demselben Bruch stark voneinander abweichen. Ich habe dies schon früher betont.

In erster Linie ist natürlich ein sorgfältiges Brennen von der grössten Wichtigkeit, um ein gutes Produkt zu erhalten. Das sorgfältige Dämpfen des Kalkes ist von ebenso grosser Bedeutung und kann sowohl maschinell wie auch in Löschsilos erfolgen. Das maschinelle Verfahren eignet sich namentlich für Weisskalk; neuerdings werden meistens Löschsilos verwendet, weil dadurch ein Nachdämpfen und Erkalten in längerer Lagerung möglich ist und man auf diese Weise zugleich Vorratssilos besitzt, eine grosse Annehmlichkeit wegen der Schwankungen im Versand. Wenn vorübergehend kein Versand an Stückkalk vorhanden, können die Öfen ruhig weiter arbeiten ohne Produktionsbeschränkung, indem die Löschsilos oder Löschgruben den Überschuss aufnehmen. Mindestens ebenso wichtig als das Dämpfen ist das Feinmahlen des Kalkes und es ist wohl nicht zu zweifeln, dass die Anforderungen, welche in den letzten Jahren ständig erhöht werden, noch weiter steigen werden. Jetzt wird vielfach der Kalk noch durch ganz grobe Kontrollsiebe geprüft; es dürfte aber nicht lange dauern, bis auch hierfür wie in der Zementindustrie nur das 5000 Maschensieb als massgebend betrachtet wird, und dass ein Kalk, welcher mehr als 10% Rückstand auf diesem Sieb hat*), also die jetzt

*) Von anderer Seite wird das 900 Maschensieb mit höchstens 10% Rückstand vorgeschlagen.

normale Zementfeinheit übertrifft, als zu grob angesehen wird. Dass der Kalk ebenso wie Zement ausgiebiger ist bei feiner Mahlung, bleibt erwiesen und leicht begreiflich, aber auch die Raumbeständigkeit wird sehr gefährdet, wenn die Mahlung zu grob ist, da meistens die groben Teile aus ungelöschten bezw. überbrannten Partikeln bestehen, welche nachher im abgebundenen Mörtel treiben.

Über die Beschaffenheit der beiden Erzeugnisse, hydraulischer Kalk und Grappierzement, gibt die folgende Zusammenstellung genügenden Aufschluss.

	Hydraulischer Kalk		Natürlicher Portlandzement	
Chemische Zusammensetzung:				
Sand	3,10		0,75	
Lösliche Kieselsäure	16,10		20,35	
Tonerde	6,20		6,75	
Eisenoxyd	2,85		3,20	
Kalk	52,10		58,80	
Magnesia	1,51		1,22	
Schwefelsäure	1,69		1,66	
Glühverlust	15,95		7,10	
Unbestimmter Rest	0,10		0,17	
Mahlfeinheit:				
Rückstand auf 900 Maschensieb	7,6		2,5	
Rückstand auf 4900 Maschensieb	14,2		20,9	
Zugfestigkeit:	rein	1:3	rein	1:3
nach 7 Tagen	8,3	5,5	35,8	14,5
nach 28 Tagen	15,1	11,0	46,2	17,0
Druckfestigkeit:	rein	1:3	rein	1:3
nach 7 Tagen	54	52	443	167
nach 28 Tagen	91	91	617	228

*) Kurz vor der Drucklegung des Werkes werde ich noch auf den hydraulischen Charakter des aus manchen Seemuscheln erbrannten Kalks und auf die vorzügliche Güte des betreffenden Mörtels aufmerksam gemacht. In den Lehrbüchern, z. B. Feichtinger, findet man gewöhnlich den Seemuschel- und Austernschalenkalk als Weissfettkalk bezeichnet, wie die drei ersten aus diesem Buche entnommenen Analysen (Seite 4 und 5) zeigen. Die vierte Analyse weist auf einen schwachhydraulischen Kalk hin.

	Holländische Muschelschalen, in Holland zum Kalkbrennen verwendet		Englische Austernschalen	Holländischer Muschelkalk (van der Wallen)	
	J. P. de Bordes u. J. W. Gunning		Phipson	Direktor Strätling, Ennigerloh	
Calciumcarbonat	97,36	97,10	92,93	Glühverlust	17,50
Magnesiumcarbonat	0,53	0,10	0,13	Kalk	73,20
Calciumsulfat	0,31	0,45	0,34	Magnesia	Spur
Eisenoxyd und Tonerde	0,13	0,56	0,41	Tonerde-Eisenoxyd	2,20
Chlornatrium	0,05	0,23	—	Kieselsäure	6,70
Kali und Natron	0,21	0,67	Spuren		
Kieselsäure lösliche	0,11	0,56	0,53		
Kieselsäure unlösl. (Sand)	0,76	0,79	—		
Calciumphosphat	In diesen zur Analyse benutzten Proben ist die organische Substanz wahrscheinlich schon zerstört gewesen		0,12		
Organische Substanz			4,44		
Wasser			1,10		
	99,46	100,46	100,00		99,60

Frühere Fabrikation des gemahlenen hydraulischen Kalkes.

Interessant ist die Tatsache, dass eine Anzahl französischer Werke in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts, angeregt durch den Erfolg des Portland-Zements und des Roman-Zements, den künstlichen hydraulischen Kalk durch Brennen einer Mischung von gewöhnlichem Weisskalk als hydratisiertes Kalkpulver und Ton oder Ziegelerde in einem gewöhnlichen Kalkofen herstellten. Die Verwendung von Kalkhydrat an Stelle von gemahlenem Kalkstein war, wie auch früher bei Portland-Zement, in dem Mangel an geeigneten Zerkleinerungsmaschinen begründet. Selbstverständlich waren die Gestehungskosten sehr hoch und mit dem spätern Auffinden zahlreicher Mergelbrüche, welche natürlichen gemahlenen Kalk viel billiger liefern konnten, musste diese, übrigens ein ganz vorzügliches Material herstellende Industrie zugrunde gehen. Nur ein im Jahre 1826 gebautes Werk in Maulineaux, unterstützt durch seine vorzügliche Lage in der Nähe von Paris, arbeitet heute noch nach dem alten Verfahren. Kreide wird mit der passenden Menge Ton zu einer steifplastischen Masse geknetet und die aus derselben hergestellten, abgeschnittenen „Brote" nach dem Trocknen gebrannt. Das Löschen und Sieben des Brennergebnisses erfolgt genau wie bei der Herstellung des andern hydraulischen Kalkes*).

Soweit über den Wasserkalk „in Stücken" und „gemahlen".

Da wir Deutsche, wie auf den Seiten 12 und 13 dargetan wurde, von Frankreich den Wert der Mergel kennen und erkennen gelernt haben, so ist der Herstellung des hydraulischen Kalkes à la française die gebührende Würdigung geworden. Ferner wurde der Sötenicher Wasserkalk in der Eifel etwas in den Vordergrund gerückt. Einmal, weil der verstorbene edle Hermann Schulz der erste war, welcher im Rheinland den gemahlenen hydraulischen Kalk einführte, dann aber auch, weil der Verfasser in seiner früheren Tätigkeit als Geschäftsführer der Kalk- und Mörtelindustrie m. b. H. Köln und als Verkäufer des „Sötenicher" mehr wie genug Gelegenheit hatte, diesen Eifeler Wasserkalk zu beobachten und zu prüfen.

Aber es wäre eine nicht entschuldbare Unterlassung, jetzt nicht die Geschichte des deutschen Wasserkalks zu beleuchten.

Westfalen war die Wiege des Wasserkalks.

Mit Eröffnung der Köln-Mindener-Eisenbahn, Ende der fünfziger Jahre des verflossenen Jahrhunderts, entstand in der Umgebung der damaligen Station Beckum, heute Neubeckum, die später zu so grosser Bedeutung gelangte Wasserkalkindustrie.

Als Vater dieser Industrie kann der 1878 verstorbene Herr Adolf Wicking in Recklinghausen bezeichnet werden, der mit dem in Herne wohnenden Herrn H. Schlenkhoff die seit 1874 erloschene Firma Wicking & Schlenkhoff zwecks Ausbeutung der in der Nähe Beckums vorkommenden Kalksteinlager gründete. Mein 87 jähriger geistig und körperlich rüstiger Vater erinnert sich noch deutlich, wie Wicking ihn als Baubureauvorsteher der Köln-Mindener-Eisenbahngesellschaft wiederholt in geschäftlichen Angelegenheiten besuchte. Hut ab vor dem schlichten, tüchtigen Westfalen!

---

*) Aus E. Leduc (Tonindustrie-Zeitung 1906 Nr. 139).

Der in den Brüchen bei Beckum gewonnene Kalkstein wurde zum Teil in den sogenannten Rostöfen an Ort und Stelle gebrannt, zum Teil wurde der Kalkstein aber auch in das rheinisch-westfälische Industriegebiet gesandt, um dort an den verschiedensten Orten in den sogenannten Rost- oder Bienenkorböfen gebrannt zu werden. So hatte die vorgenannte Firma an folgenden Plätzen die Fabrikation des Wasserkalks eingerichtet:

Kalkbrennerei	Beckum mit	15	Öfen
„	Dortmund mit	4	„
„	Herne „	3	„
„	Essen „	3	„
„	Oberhausen „	5	„
„	Wesel „	4	„
„	Empel „	2	„
„	Witten „	6	„
„	Bochum „	3	„
„	Gelsenkirchen mit	2	„

und ausserdem hatte sie eine grosse Anzahl Magazine in den verschiedensten Städten Rheinlands und Westfalens gegründet.

Erst nachdem die Firma Wicking & Schlenckhoff sich aufgelöst hatte und die Besitzungen zum Teil an die Firma Wicking & Co. übergegangen waren, wurden die Brennereien im Industriebezirk aufgegeben und die Herstellung des gebrannten Kalkes nach den Gewinnungsstätten des Roherzeugnisses verlegt.

Mit Eröffnung der Hamburg-Venloerbahn, welche bei Lengerich in Westfalen ein sehr schönes Kalksteinvorkommen durchschneidet, wurde dann auch bei Lengerich mit der Fabrikation von gebranntem Kalk sehr bald begonnen, welche Industrie sich mit den Jahren immer mehr in und um Lengerich ausbreitete. Dasselbe wiederholte sich bei dem Bau der Bahn Bielefeld-Osnabrück. Auch diese Verbindung schloss weitere Kalksteinvorkommen auf und veranlasste den Bau einer Anzahl allerdings kleinerer Kalkbrennereien, als die in und um Beckum und Lengerich entstandenen Werke.

Der Beckumer Wasserkalk wurde infolge seiner ausgezeichneten hydraulischen Eigenschaften — ein äusserst fein verteilter Zustand des Tones, innige Mengung desselben mit der kohlensauren Kalkerde und ein passendes Zahlenverhältnis der einzelnen Bestandteile sind die Grundpfeiler dieses Materials — sehr bald als ein zu den schwierigsten Bauten geeignetes Mörtelmaterial erkannt und demgemäss auch bevorzugt. So wurde Beckumer Wasserkalk seiner Zeit u. a. zu dem Bau der grössten Tunnelbauten Deutschlands, der Strecke Buke-Kreiensen verwendet, trotzdem der Altenbekener Kalk aus nächster Nähe zu einem um 60 % billigeren Preise zu haben war. Ebenso wurde die Rheinbrücke bei Coblenz zum Teil mit Beckumer, zum Teil mit Trierer Kalk gebaut, trotzdem zurzeit der Trierer Kalk billiger war. Auch die erste feste Rheinbrücke bei Köln wurde mit Beckumer Kalk gebaut. Sehr bald sahen auch die Bergbaugesellschaften ein, dass der Wasserkalk von Beckum zu Bergwerksmauerungen unter schwierigem Wasserdruck ein ausgezeichnetes Mörtelmaterial war.

Der Ruf der Westfälischen Wasserkalke wurde mit der erfreulich immer mehr steigenden Verwendung auch immer mehr gefestigt und es bedienten sich die grössten und wichtigsten Bauwerke fortgesetzt dieses hydraulischen Mörtel-

materials; sogar bis nach Kattowitz in Oberschlesien konnten die Westfälinger trotz der erheblichen Fracht liefern.

Von sieben mir vorliegenden Zeugnissen greife ich zwei heraus.

Herren Wicking & Schlenckhoff zu Herne bei Bochum haben im Jahre 1855 und 1856 den sämtlichen zum Rheinbrückenbau bei Köln erforderlich gewesenen Bedarf an Wasserkalk angeliefert und stelle ich denselben gern das Zeugnis aus, dass der Kalk stets die ausbedungene Qualität hatte und dass die Lieferung stets dem Bedürfnisse des Baues entsprechend ausgeführt ist, so dass ich die genannten Herren als tüchtige und zuverlässige Lieferanten empfehlen kann.

Köln, den 29. Dezember 1856. Baumeister der Rheinbrücke bei Köln:
gez. Lohse.

Den Herren Wicking & Schlenkhoff zu Herne wird auf Verlangen hiermit bescheinigt, dass der von denselben zu den Tunnelauswölbungen der 1. Abteilung der Ruhr-Sieg-Eisenbahn (Strecke Hagen-Werdohl) gelieferte Wasserkalk unter Zusatz von reinem scharfen Mauersand sehr gute hydraulische Eigenschaften gezeigt hat und in denjenigen Strecken der Tunnels, in welchen keine starken Wasserdurchsickerungen stattfanden, ohne jeden Zusatz von Trass mit bestem Erfolge verwendet worden ist.

Altena, den 9. Juli 1862. Der Eisenbahn-Bauinspektor:
gez. Schneider.

Heute versendet Westfalen von 19 Eisenbahnstationen seinen Wasserkalk und zwar jährlich etwa 80 000 Doppelwagen, in der Hauptsache Stückkalk, über 60 000 Doppelwagen, und nur etwa 15—18 000 Doppelwagen Sackkalk, im Gegensatz zu dem Rheinland, das mehr „gemahlenen“ und weniger Stückkalk fabriziert. Selbst der hochhydraulische „Westfälische“ mit 27—30 % Hydraulefaktoren wird heute noch in überwiegendem Masse als Stückkalk in den Handel gebracht.

Man hatte allerdings schon vor 30 Jahren versucht, den Beckumer Wasserkalk in gemahlenem Zustande zu verkaufen; er verschaffte sich jedoch damals keinen Eingang. Es hiess u. a., dieser Kalk wäre beim Abdämpfen feucht und plastisch geblieben, habe die Siebe verstopft, hätte also getrocknet werden müssen, was zu teuer gewesen wäre usw. Dies will mir nicht recht einleuchten. Ich stehe mit der Kalkautorität Herrn H. Rossmüller-Lengerich auf dem Standpunkt, dass sich jeder Kalk bei richtiger Behandlung zu gutem Sackkalk verarbeiten lässt. Übrigens wird ja auch jetzt von einigen Beckumer Werken „gemahlener“ geliefert.

Wie überall, sind auch die westfälischen Mergel an den verschiedenen Fundorten in ihrer chemischen Zusammensetzung recht verschieden: Beckum (Beckum, Beckum-Ost, Neubeckum, Ennigerloh) repräsentiert eigentlich den Typus des Westfalenmergels mit etwa durchschnittlich 16—18 % Silikaten im Stein. Ausser einem solchen Gestein liefern die Lengericher, sowie die Brüche im Teutoburger Walde (Brackwede bei Bielefeld, Steinhagen, Künsebeck usw.) hauptsächlich den weniger tonhaltigen Kalkstein, der einen weniger hydraulischen Kalk ergibt. — Hochhydraulische Kalkmergel mit bis zu 24 % Ton haben Geseke und Büren, ebenso Hilter, Hankenberge nnd auch Brüche der Tecklenburger Kalk- und Zementwerke, Lengerich.

Die Besichtigung einiger westfälischen Kalkwerke setzt mich nun in den Stand, folgende interessanten Daten zu veröffentlichen.

A. Die Wasserkalkwerke von Hagedorn und Illigens, Beckum, haben Brüche, dessen Querschnitt wie folgt aussieht:

Nr.	I.	Gelber Mergel mit	66,6 %	$CaCo_3$
„	II.	Klötze über Deelbank mit	81,9 „	„
„	III.	Deelbank mit	92,8 „	„
„	IV.	Knäller mit	91,0 „	„
„	V.	Brassbank mit	87,2 „	„
„	VI.	Vier Zöller mit	86,4 „	„
„	VII.	Plätte I mit	88,7 „	„
„	VIII.	Blaue Bank I mit	92,0 „	„
„	IX.	Plätte II mit	89,2 „	„
„	X.	Streifbank mit	91,2 „	„
„	XI.	Plätte über Fündling mit	87,7 „	„
„	XII.	Fündling mit	86,9 „	„
„	XIII.	Bärsteinpartie: Schlagbank mit	93,5 „	„
„	XIV.	Bärstein mit	90,5 „	„
„	XV.	Bärstein Mergel mit	58,0 „	„
„	XVI.	Drei-Stein mit	91,2 „	„
„	XVII.	Gelbe Bank mit	87,5 „	„
„	XVIII.	Blaue Bank II mit	89,7 „	„
„	XIX.	Hengst-Klötze mit	84,9 „	„
„	XX.	Obere Grundbank mit	86,9 „	„
„	XXI.	Untere Grundbank mit	85,4 „	„
„	XXII.	Grundmergel mit	55,0 „	„
„	XXIII.	Klötze zwischen Grundmergel mit	86,9 „	„

Das Kalkgebirge im Beckumer Revier besteht aus fast horizontalen Schichten von fast gleichmässiger Mächtigkeit, der eigentlichen Kalksteinschicht, Bärstein genannt. Letztere Schicht von 3,80—3,90 m Mächtigkeit enthält einen hochhydraulischen Stein von 14—16 % Tongehalt und 84 % Gehalt an kohlensaurem Kalk.

Über dieser Schicht befindet sich eine ca. 1,25 m starke Mergelschicht von ca. 77 % Kalkgehalt; darüber zwei Kalksteinschichten von ca. 10+15 cm Mächtigkeit, getrennt durch gleich starke Mergelschichten mit 18 % Silikaten. Dann kommt ein 93—95 %iger Stein, weil auch für Flurbeläge geeignet, „Deelstein“ genannt, welcher hier seit Jahrhunderten für Bauten Verwendung findet und absolut wetterbeständig ist, Hierüber lagern sich wieder Mergelschichten abwechselnd mit Steinschichten von zusammen 3,20 m Mächtigkeit, abschliessend mit einem dem obengenannten Deelstein an Struktur und Kalkgehalt ähnlichen Stein. Dann kommt nach einer mehr oder minder starken Tonmergelschicht die Ackerkrume (der Abraum, auch bezeichnenderweise der „Kummer“ genannt).

Die Handelsware, der typisch schmutzig-gelbe Beckumer Wasserkalk von klassisch homogenem Gefüge (Bärsteinpartie), enthält nach meiner Analyse:

		berechnet auf geglühte Substanz
Glühverlust	6,58	—
Unlösliches Sand	0,23	0,25
Kieselsäure	10,68	11,43
Tonerde+Eisenoxyd	5,32	5,69
Kalk	76,05	81,41
Magnesia	1,01	1,08
	99,87	99,86

Probekörper 1:3 ergeben nach 1—2 tägiger Luft- und 27 bzw. 26 tägiger Wasserlagerung:

Stückkalk: 1. Partie Deelstein (sog. Weisskalk) 3,3 kg für Zug
2. Grundbank . . . . . 7,9 „

gemahlener hydraulischer Kalk: Grundbank+gelbe Bank 8,7—8,9 kg.

Andere Beckumer Kalkwerke geben die Zugfestigkeit zu 6,7—6,8—7,4—8,1 und 8,4 an.

B. Die Tecklenburger Kalk- und Zementwerke, G. m. b. H., Lengerich in Westfalen.

Einen prachtvollen Anblick gewähren die beiden übereinanderliegenden, äusserst sauber gehaltenen Steinbrüche, mit einer abbaufähigen Länge von 800 bzw. 900 m! Die ganze Höhe über Ofensohle ist ca. 67 m, die augenblicklich in drei, später in vier Terrassen abgebaut werden. Die einzelnen Bänke sind 50 bis 150 cm dick.

Die Kalkbrüche bergen vorzügliches Material zur Herstellung eines guten Fettkalkes bis zu einem schwerhydraulischen Kalk.

Die sog. Fettkalke enthalten durchschnittlich in glühverlustfreiem Zustande:

Ätzkalk	86,78 %
Kieselsäure	7,71 „
Tonerde und Eisenoxyd	3,87 „
Bittererde	0,80 „
Schwefelsäure	0,84 „
	100,00 %

und sind sowohl als Bau- wie auch als Düngekalke sehr geschätzt. Infolge des günstigen Verhältnisses der Hydraulefaktoren untereinander und deren physikalischer Beschaffenheit haben die Kalke hydraulische Eigenschaften, so dass sie nicht zu den Luft-, sondern noch zu den Wasserkalken zu rechnen sind.

Die Zusammensetzung der stärkeren hydraulischen Kalke ist im Mittel:

Ätzkalk	74,62 %
Kieselsäure	18,47 „
Tonerde und Eisenoxyd	5,41 „
Bittererde	1,25 „
	99,75 %.

Die Schichten, aus denen „Tekelia-Extra“ hergestellt wird, sind noch tonreicher bzw. kalkwärmer.

Der gewöhnliche Sackkalk hat laut Attest des Chemischen Laboratoriums für Tonindustrie, Prof. Dr. H. Seger und E. Cramer in Berlin, folgende chemische Zusammensetzung:

Glühverlust	14,34 %		
Kieselsäure	15,27 „	hiervon 3,07 %	unlöslich in Salzsäure
Tonerde	6,15 „	„ 0,30 „	„ „ „
Eisenoxyd	2,25 „		
Kalkerde	59,37 „		
Bittererde	1,07 „		
Schwefelsäureanhydrid	1,20 „		
	99,65 %.		

Die Säcke à 50 kg sind 50×95 cm gross*). Das Raumgewicht der Sackkalke ist ca. 760 g pro l eingelaufen und ca. 1250 g eingerüttelt.

Der Doppellader = 10 Tonnen Stückkalk enthält je nach dem Brande und der Stückgrösse 11—12 cbm.

Der Raumgehalt des gemahlenen Kalks kann kein Wertmesser sein, da das Volumen zu sehr von dem Grade des Brandes und der Mahlfeinheit abhängig ist. Der Lengericher Kalk ist überall wegen seiner vorzüglichen Qualität hochgeschätzt. Tausende Doppellader sind von diesem Kalk allein zu dem Kaiser Wilhelm-Kanal und zu den Trockendocks zu Wilhelmshaven verwendet worden. Zurzeit wird ein grosses Trockendock in Bremerhaven mit Lengericher Kalk hergestellt. Welch einen enormen Umfang die Kalkindustrie Lengerich hat, erhellt daraus, dass die an die beiden Stationen Lengerich-Staatsbahnhof und Stadtbahnhof angeschlossenen Werke zusammen täglich über 100 Doppellader à 10 Tonnen produzieren können.

C. Die Kalkwerke Bielefeld-Brackwede, G. m. b. H., Brackwede.

Der Teutoburger Wald, insbesondere Brackwede, hat ebenfalls Kalkmergel und Mergel. Kalke, welche man im Rheinland schon als Wasserkalke ansprechen würde, heissen hier wie überhaupt in Westfalen, Fettkalke, im Gegensatz zu den eigentlichen Wasserkalken. Diese sog. graugefärbten Fettkalke sind wegen ihrer sog. Ergiebigkeit in der Gegend von Bielefeld sehr beliebt.

Ihre Zusammensetzung (Stückkalk) ist nach

	Agric.-chem. Kontrollstation Halle a. S.	Chem. Laborat. für Tonindustrie Berlin	Dr. L. Kiepenheuer Dalbenden	Berechnet auf gegl. Substanz
Glühverlust	1,01	nicht bestimmt	7,19	—
Unlösliches (Sand)	nicht bestimmt	„	0,08	0,09
Kieselsäure	4,76	4,28	3,82	4,12
Tonerde+Eisenoxyd	nicht bestimmt	nicht bestimmt	2,55	2,75
Kalk	88,36	89,89	85,72	92,36
Magnesia	0,57	nicht bestimmt	0,70	0,76
	—	—	100,06	100,08

Der Brackweder Wasserkalk hat die Zusammensetzung des Beckumer:

	Agric.-chem. Kontrollstation Halle a. S.	Chem. Laborat. für Tonindustrie Berlin	Dr. L. Kiepenheuer Dalbenden	Berechnet auf gegl. Substanz
Glühverlust	0,43	nicht bestimmt	6,41	—
Unlösliches (Sand)	nicht bestimmt	„	0,12	0,13
Kieselsäure	15,81	17,16	10,71	11,45
Tonerde+Eisenoxyd	nicht bestimmt	nicht bestimmt	5,55	5,93
Kalk	73,36	72,73	75,78	80,97
Magnesia	1,39	nicht bestimmt	1,06	1,13
	—	—	99,63	99,61

*) Kalkwerk Schulz, Sötenich hat wegen seines spezifisch leichteren Kalks grössere Säcke 0,51×1,08 nötig.

Der Brackweder gemahlene Kalk enthält nach

	Gesamtkalk	Kieselsäure
Agrikulturchemische Kontrollstation, Halle a. d. S. .	79,08	10,19
Dr. Fischer, Dortmund	80,70	—
Landwirtschaftliche Versuchsstationen, Bremen . .	79,60	—
„ „ Hildesheim .	68,60	—
„ „ Marburg . .	81,00	10,54
„ „ Münster . .	80,00	—

Aus diesen Zahlen ist die reiche Verschiedenartigkeit des dortigen Gebirges ersichtlich.

Ebenso aus den Analysen des Steins:

(Chemisches Laboratorium für Tonindustrie, Berlin)

	I	II	III	IV
Glühverlust	42,71	41,25	36,73	37,60
In Salzsäure löslich:				
Kieselsäure-SiO_2- . .	2,04	3,43	11,40	10,65
Tonerde-Al_2O_3- . .	0,32	2,10	5,15	3,85
Eisenoxyd-Fe_2O_3- . .	0,70	0,72	1,18	1,05
Kalkerde-CaO- . .	53,85	51,65	44,57	45,51
Bittererde-Mg-O . .	0,49	0,37	0,61	0,78
	100,11	99,52	99,64	99,55
Kohlensaurer Kalk $CaCO_3$	96 %	92 %	79,50 %	81 %

Westfalen hat also, alles in allem genommen, drei verschiedene Sorten Wasserkalk, den schwachhydraulischen, sog. Fettkalk à la Lengerich und Brackwede, der übrigens in der Grube nach etwa vier Wochen anfängt zu erhärten, den mittelhydraulischen à la Beckum*) und den starkhydraulischen à la Tekelia-Extra, Meteor usw.

Hydraulische Kalke in Süddeutschland.

Süddeutschland ist ebenfalls sehr reich an Mergeln, welche in ausgiebigster Weise zu hydraulischen Kalken aufbereitet werden. Die besten technischen und maschinellen Einrichtungen der Fabriken in Verbindung mit den vieljährigen Erfahrungen der Werkleitungen und der gewissenhaften Überwachung der Fabrikation verbürgen erstklassige Produkte. Die Erzeugnisse haben zufolge ihrer Gleichheit, Reinheit und Zuverlässigkeit grosse Verwendbarkeit. Die von Jahr zu Jahr steigende Nachfrage gibt den besten Beweis für die Beliebtheit, welcher diese hydraulischen Kalke bei den Baubehörden und in den Kundenkreisen sich erfreuen; diese hydraulischen Kalke werden nicht nur zu Mauerwerk- und Verputzarbeiten im grossen Umfange verwendet, sondern auch als Mörtelbildner bei Betonarbeiten (Schuttbeton) allein, oder mit Portlandzement zusammen, zur Herstellung von Zementkunststeinen und wasserdichtem Beton.

*) Auf früheren Seiten, so z. B. auf Seite 51 wurde der Sötenicher Wasserkalk dem Beckumer gleichgestellt. Nach dem Ergebnis meiner Besichtigungsreise in Westfalen muss ich berichtigend bemerken, dass der typische „Beckumer“ ein ausgesprochen mittelhydraulischer Kalk ist, während der Sötenicher als ein schwach- bis mittelhydraulischer Kalk betrachtet werden muss. Darüber Näheres in Kapitel V.

Nach Analysen und Prüfungszeugnissen der Werke N. Hessler, Malscher Kalkwerke in Heidelberg-Neuenheim, Württemberg. Portlandzementwerk Lauffen A.-G. in Lauffen a./N., Johannes Wiech, Kalkwerk Auingen in Auingen (Württemberg) weisen dieselben bis zu 24% Silikate auf, mit überwiegend aufgeschlossener Kieselsäure. Die Mörtel in Mischung 1:3 erreichen nach 28 Tagen 8—16 kg/qcm Zugfestigkeit und 50—150 kg Druckfestigkeit.

Als Mörtelbildner bei Betonbereitung:

Mischung	28 Tage-Probe	84 Tage-Probe	Jahres-Probe
1:6	19,1 kg	50,6 kg	97 kg
1:7	21,3 „	56,6 „	76 „
1:12	16,0 „	39,9 „	71 „

Bei der Firma „Vereinigte Süddeutsche Kalkwerke, G.m.b.H. Bruchsal", steht noch weiteres, eingehenderes, wertvolles Material zu Verfügung, worauf ich Interessenten aufmerksam mache.

Von den Lieferungen der süddeutschen Wasserkalk-Industrie für Staatsbauten seien diejenigen der Zement- und Kalkfabrik Weizen (J. Gäng), Baden, für den Bau der strategischen Eisenbahnlinie Waldshut-Immendingen in den Jahren 1888—89 über 60 000 Zentner, und für den Bahnbau Neustadt-Donaueschingen 1899—1900 — insbesondere für Tunnel- und Brückenbauten — ca. 50 000 Zentner Zementkalk hier besonders erwähnt.

Die Prüfungsergebnisse der behördlichen Versuchsanstalten in Betreff einer Anzahl süddeutscher Wasserkalke sind in den Tabellen des Kapitels V niedergelegt unter Nr. 42, 60, 61, 62 und 63.

Zum Schluss möchte ich noch eine sehr lehrreiche Tabelle bringen:

Württembergisches Portlandzementwerk zu Lauffen a. N.

Lauffener Zementkalk: 1 Sack à 50 kg enthält 72,5 l Kalk, 1 Waggon à 10 000 kg enthält 14,5 cbm Kalk.

Mischungsverhältnis	Kalkbedarf pro cbm Mörtel: 1000 l fester Sand gleich 1333 l loser Sand, somit erforderlich pro cbm Mörtel		Ausbeute: 1 Waggon à 10 000 kg Kalk gleich 14,5 cbm Kalk gibt		1 cbm Ziegelmauerwerk 1½ Stein stark erf. inkl. 2½% Verl. beim Mauern 230 + 6 = 236 1 Mörtel		1 cbm fertiges Bruchsteinmauerwerk benötigt 1,25—1,40 cbm Steine und 280—330 l Mörtel	
	Kalk l	Sand l	Berechnung	Mörtel cbm	Berechnung	Ziegelmauerwerk cbm	Berechnung	Fert. Bruchsteinmauerwerk cbm
1:3	444	1333	14,5 / 0,444	32,65	32,65 / 0,236	138,5	32,65 / 0,280	116,6
1:4	333	1333	14,5 / 0,333	43,55	43,55 / 0,236	184,5	43,55 / 0,280	155,5
1:5	266	1333	14,5 / 0,266	54,50	54,50 / 0,236	231	54,50 / 0,280	195
1:6	222	1333	14,5 / 0,222	65,3	65,3 / 0,236	276,7	65,3 / 0,280	233
1:7	190	1333	14,5 / 0,190	76,3	76,3 / 0,236	323,3	76,3 / 0,280	272,5
1:8	166	1333	14,5 / 0,166	87,35	87,35 / 0,236	370	87,35 / 0,280	312
1:9	148	1333	14,5 / 0,148	98	98 / 0,236	415,25	98 / 0,280	350
1:10	133	1333	14,5 / 0,133	109	109 / 0,236	462	109 / 0,280	390

III.

Der Sand, der Kies, der Kiessand (Betonkies) und deren Mischungsverhältnis zum Kalk im Mörtel (Mörtelergiebigkeit). **Die Dichtigkeit der Mörtel. Der Milchkalkmörtel** und die **verschiedenen** zu verschiedenen Zwecken geeigneten **Mörtel. Magnesiazement. Wasserglas. Trassmörtel. Gebrauchsfertige Verputzmörtel** (Farbige Trockenmörtel oder Fassadenputz). **Waschbarer Innenputz. Die wasserabweisenden Mittel** usw.

Zur Vermeidung eines zu starken Setzens und Reissens des Mauerwerks bzw. Putzes, sowie aus anderen technischen und ökonomischen Gründen ist dem Kalk in seiner Verwendung zu Mörtel ein Zuschlag fester Stoffe zu machen. In erster Linie kommt hierfür der Quarzsand in Betracht, dann aber auch wohl Kalkstein- oder Dolomitsand, Steinkohlenasche, zerkleinerte Schlacken usw.

Die Form des Sandkornes ist hierbei von wesentlicher Bedeutung. Kristallinischer Sand ist stets besser als die blättrigen, z. B. Feldspatsande, da das Verhältnis der Oberfläche zum Rauminhalt ein möglichst kleines sein muss. Ebenso wichtig ist die Grösse der Sandkörner. Man unterscheidet z. B. in der Rheingegend den feinen Puffsand, den gewöhnlichen, in der Regel durch ein Sieb geworfenen Mauersand, den mittelgroben Kiessand (Betonkies), so wie ihn die Grube gibt, und endlich den ganz groben, vom Sand befreiten, eigentlichen Kies. Im allgemeinen soll nun, was Mauermörtel und Beton (Gusswerk) anbetrifft, die Korngrösse des Sandes derart sein, dass der geringste Hohlraum zwischen den einzelnen Sandkörnern vorhanden ist, mit anderen Worten, wenn alle Korngrössen, vom feinsten bis zum gröbsten Korn, vertreten sind. Ja, es wird sogar — so bei Feinputz — mitunter etwas Lehm zugesetzt, um das Auftreten von Haarrissen zu vermeiden. Haftet derselbe dagegen an dem Sandkorn (lehmiger Sand), so ist der Sand minder brauchbar, weil seine innige Berührung mit dem Kalk dann gestört ist. Endlich ist die Beschaffenheit der Oberfläche, ob letztere rauh oder glatt ist, ob es kantige oder runde Körner sind, von Einfluss auf die Festigkeit. Es ergeben kantige, rauhe Körner stets die besten Resultate für Zug-, rundliche dagegen für Druckfestigkeit (Unna).

Das Gleiche gilt für den Kies zu Betonzwecken.

Der Rissigkeit der Kalke wegen, bei Luftmauerwerk und -verputz, ist, wie schon erwähnt, ein Zuschlag von Sand unbedingt nötig. Ein guter hydraulischer Kalk wird dagegen auch ohne Sandzusatz nicht rissig, wenn er unter Wasser erhärtet. Dieser teuere „Mörtel“ ist nur bei solchen Arbeiten im Wasser angezeigt, von denen schnelle Erhärtung, Wasserdichtigkeit verlangt wird. In der Regel wird zu diesem Zwecke Zement, und zwar besonders „gemischter“, genommen, ferner die starkhydraulischen Zementkalke.

Das Mischungsverhältnis zwischen Kalk und Sand im Mörtel ist nun bedingt durch die für das Mauerwerk geforderte Festigkeit, ferner durch den Zweck, welchen der Bau erfüllen soll, und endlich durch die Natur der beiden Mörtelbildner. Je magerer der Mörtel, desto langsamer findet die Erhärtung desselben, sei es an der Luft oder im Wasser, statt; ebenso nimmt seine Wasserdichtigkeit ab. Auf der andern Seite ist aber auch ein zu schwacher Sandzusatz, also ein zu fetter Mörtel in der Regel nicht angezeigt. Eine genaue landläufige Vorschrift, wie solche für Luftmörtel gang und gäbe ist, bei welchem soviel Kalkbrei genommen werden soll, dass gerade die Hohlräume des Sandes (0,38—0,40 % im Mittel) ausgefüllt sind, lässt sich für die hydraulischen Mörtel nicht geben. Die Mischungsverhältnisse wechseln von Fall zu Fall, je nach den Anforderungen, insbesondere, wie schon erwähnt, hinsichtlich der Festigkeit und Dichtigkeit der Mörtel.

Im Anschluss hieran soll der Begriff der Mörtelergiebigkeit klargestellt werden. Unter Ergiebigkeit oder Ausbeute der verschiedenen Mörtelmaterialien versteht man die Grösse des Volumens, welches die einzelnen Materialien im Mörtel einnehmen, bezogen auf das Volumen des Materials im ungemischten Zustande, also vor der Mörtelbereitung.

Der Mörtel als solcher ist eine plastische Masse ohne Luftraum. Er besteht lediglich aus den Zusammensetzungen selbst, in mechanischer Mischung, d. h. die einzelnen Körper der betreffenden Zusammensetzung nehmen im Mörtel genau so viel Raum ein, wie ihr wirkliches Volumen beträgt (d. h. nur die Summe der Volumina der einzelnen Partikel ohne die bei dem Lagern der letzteren aufeinander entstehenden Luftzwischeuräume).

Will man nun feststellen, wieviel wirkliches Volumen z. B. ein Glas trockner Sand von 0,24 l Inhalt hat, so giesst man soviel Wasser aus einem Messglase zu, bis das Glas bis zum Rande voll Wasser ist. Man wird sehen, dass man hierzu 0,096 l Wasser braucht. Das wirkliche Volumen des Sandes, ist also 0,24—0,096 = 0,144 l. Dieses Volumen verhält sich nun zu dem ursprünglichen wie 0,6 : 1, d. h. 1 cbm Sand wird im fertigen Mörtel 0,6 cbm Raum einnehmen.

Auf dieselbe Weise kann man das wirkliche Volumen von Trass, also die Summe der Volumina der einzelnen Trasskörnchen feststellen, und zwar zu 0,48.

Für Wasserkalkpulver wurde die Ausbeute im Mittel zu 0,28 ermittelt.

Diejenige des Kalkteiges ist selbstverständlich 1.

Ein anderes einfaches Mittel zur Berechnung, wieviel Hohlräume ein Mörtelmaterial, z. B. Sand, hat, die mit Bindemittel gefüllt werden müssen, damit ein dichter Mörtel entsteht, besteht in folgender Methode*). „Aus dem Verhältnis von Raumgewicht r**) zum spezifischen Gewicht s ergibt sich ohne weiteres der Dichtigkeitsgrad $d = \frac{r}{s}$ und der der Undichtigkeit $u = 1 - d$. Für Sand kann man das spezifische Gewicht zu 2,65 annehmen. Das Raumgewicht findet man, wenn man den Sand in ein Litergefäss fest einrüttelt und

*) Diplom-Ingenieur Unna: Die Bestimmung rationeller Mörtelmischungen unter Zugrundelegung der Festigkeit, Dichtigkeit und Kosten des Mörtels. Verlag von Paul Neubner, Köln.

**) Unter Raumgewicht versteht man das Gewicht eines Liters.

wiegt. Aus dem Quotienten $\frac{r}{s}$ ermittelt man dann die Menge der Hohlräume in dem betreffenden Sande, und zwar in viel genauerer Weise als es das Abmessen der Hohlräume durch Einfüllen von Wasser in den Sand gestattet."

Die Dichtigkeit eines Mörtels ist nun der Quotient aus $\frac{\text{Kittmasse}}{\text{Hohlräume}}$. Solange dieser Bruch echt ist, also weniger wie 1, ist der Mörtel nicht dicht; bei einem unechten Bruch ist er dicht.

Je mehr Zuschläge also zu einem Teile Kalk genommen werden, desto mehr Hohlräume sind da, die Undichtigkeit des Mörtels wächst daher mit der Menge der Zuschläge. Der Wert des Quotienten nähert sich in diesem Falle mehr der 1, der unechte Bruch mehr dem echten. Der Nenner des Quotienten muss nun die Summe der Hohlräume aller festen, d. h. keine Hohlräume enthaltenden Zuschläge und der Zähler die Summe der Ausbeute der Kittmassen, zu denen auch die unselbständigen Mörtelbildner, Trass, Schlacken- und Ziegelmehl usw. gehören, umfassen.

Hierfür die Beispiele:

I. Raumteile	Ausbeute*)	Kittmasse	Hohlräume	Dichtigkeit
1 hydraul. Kalk . .	0,28	0,28	—	$\frac{1,03}{0,60} = 1,70$
1,5 Sand	0,90	—	0,60	
0,75 Wasser . . .	0,75	0,75	—	
	1,93	1,03	0,60	
II. Raumteile	**Ausbeute*)**	**Kittmasse**	**Hohlräume**	**Dichtigkeit**
1 Kalkbrei	1,00	1,00	—	$\frac{1,92}{0,98} = 1,96$
1,5 Trass	0,72	0,72	0,78	
0,5 Sand	0,30	—	0,20	
0,2 Wasser	0,20	0,20	—	
	2,22	1,92	0,98	
III. Raumteile	**Ausbeute*)**	**Kittmasse**	**Hohlräume**	**Dichtigkeit**
1 Kalkbrei	1,00	1,00	—	$\frac{2,02}{1,38} = 1,46$
1,5 Trass	0,72	0,72	0,78	
1,5 Sand	0,90	—	0,60	
0,3 Wasser	0,30	0,30	—	
	2,92	2,02	1,38	

Der dichteste Mörtel ist dem Quotientenwerte nach II, dann kommt I und zuletzt III, was der Wirklichkeit auch wohl entspricht.

So musste besonders der Erbauer der vielen Talsperren Prof. Dr. Ing. Intze, um Auslaugungen des Mörtels und die daraus sich ergebende Bildung von Kalkausschlag an der Luftseite der Mauern zu verhindern, auf besondere Dichtigkeit des ersteren Obacht geben, wenn er auch die frühere fette Mischung

*) Durch Versuche festgestellt. Die Hohlräume des Sandes wurden also zu 40% angenommen und ferner, dass das Wasser im Mörtel erhalten blieb. Dieses empirische Verfahren entspricht zwar nicht dem physikalischen und chemischen Vorgang bei der Mörtelbereitung, liefert aber Resultate, welche mit der Praxis übereinstimmen (Unna).

„1 Raumteil Kalkbrei, $1^1/_2$ Raumteil Trassmehl und $^1/_2$ Raumteil Sand“ verliess und statt dieser „1 Kalk + $1^1/_2$ Trass + $1^1/_2$ Sand“ wählte. Im Sinne der folgenden Mischung:

Raumteile	Ausbeute	Kittmasse	Hohlräume	Dichtigkeit
1 Kalkbrei . . .	1,00	1,00	—	
$1^1/_2$ Trass	0,72	0,72	—	$\frac{2,02}{0,60} = 3,37$
$1^1/_2$ Sand	0,90	—	0,60	
0,30 Wasser . . .	0,30	0,30	—	
	2,92	2,02	0,60	

ergab sich also ein immerhin sehr dichter Mörtel.

Um wieder auf den eigentlichen Wasserkalkmörtel zurückzukommen, so ist in den meisten Fällen die Dichtigkeit desselben kein Erfordernis und es wäre aus Gründen der Wohlfeilheit nicht angebracht, z. B. einen fetten Mörtel zu verwenden, der eine viel grössere Druckfestigkeit besitzt, als das Steinmaterial. Dichte Mörtel sind zudem, ihrer fetten Mischung wegen, an der Luft dem Schwinden, dem Reissen ausgesetzt.

Allerdings kommt manchmal die Zeitdauer in Betracht, welche der Baufortgang für die Erhärtung zulässt, und so hat sich auch nach diesen Gesichtspunkten das Mischungsverhältnis des Mörtels zu richten.

Zum Schluss soll noch betont werden, dass — wie übrigens zu erwarten — Maschinenarbeit einen viel innigeren, gleichartigeren Mörtel liefert, als die Krücke des Handlangers. Und hier verdienen wieder die Kollergänge, in welchen die Massen durch Mühlsteine oder Walzen gerieben werden (die „Broyeurs“ der Belgier und Holländer) entschieden den Vorzug vor den Rührwerken, Trommeln mit einer Anzahl an einer rotierenden Welle befestigter Arme oder Flügel.

Besonders vorzügliche Wasserkalkmörtel erreicht man nun durch eine besondere Zugabe von Trass zu einem Gemisch von hydraulischem Kalk und Sand. Diese übertreffen die gewöhnlichen Fettkalk-Trassmörtel bedeutend an Festigkeit. So ermittelte 1909 das Königliche Materialprüfungsamt Gross-Lichterfelde im Auftrage des „Wasserwerks des Landkreises Aachen, G. m. b. H.“, bei einer Mischung von:

1 Trass + 1 Kalkteig + 1 Normalsand eine		1 Trass + 1 Staubkalk*) + 1 Normalsand eine	
Zugfestigkeit von kg/qcm	Druckfestigkeit von kg/qcm	Zugfestigkeit von kg/qcm	Druckfestigkeit von kg/qcm
12,2	90	20,6	102
13,0	98	20,7	119
12,9	88	21,1	134

als Mittel aus je 10 Probekörpern.

*) Gemahlener hydraulischer Kalk von Kalkwerk Schulz, Sötenich.

Desgleichen schlägt der Wasserkalk den Weisskalk in der Kalksandsteinfabrikation. Der Verkaufsverein westfälischer Kalkwerke liess 1909 im Chemischen Laboratorium für Tonindustrie, Berlin, vergleichende Versuche anstellen, welche auf Seite 52 schon niedergelegt sind.

Aus den Zahlen ist zu ersehen, dass die Anfangsfestigkeit der Kalksandsteine aus Wasserkalk im Mittel höher ist, als die der Steine aus Weisskalk, soweit die Ergebnisse einen zuverlässigen Schluss nach dieser Richtung zulassen (es ist nur eine Sorte Weisskalk geprüft worden). Die Festigkeitszunahme mit fortschreitendem Alter ist bei beiden Kalkarten nahezu die gleiche. Die Anfangsfestigkeit der feucht gelagerten Steine ist etwas geringer, als die der trocken gelagerten; dagegen nimmt die Festigkeit der ersteren schneller zu, als die der letzteren, so dass die Endfestigkeit schliesslich für beide Lagerungsarten nahezu gleich ist. Im übrigen beweisen die Werte, dass für die Verwendbarkeit der Kalke zur Kalksandsteinerzeugung der Gehalt an Ätzkalk nicht allein massgebend ist; denn selbst die Kalke mit niedrigem Ätzkalkgehalt haben Steine mit verhältnismässig hoher Festigkeit ergeben. Hiernach ist zu schliessen, dass der Gehalt der Kalke an löslicher Kieselsäure für den Härtungsvorgang von wesentlicher Bedeutung ist.

Es muss übrigens hier bei der Besprechung der Mörtel, welche auch unter Luftabschluss erhärten, einer hochbedeutsamen Arbeit, von Prof. H. Chr. Nussbaum, Hannover, Erwähnung getan werden*). Dieselbe hat u. a. das besondere Verdienst, den Milchkalkmörtel hinsichtlich seiner hervorragenden Eigenschaften bei dem Versetzen von Naturgestein gekennzeichnet zu haben.

Wo bei steinhartem Mörtel mittelalterlicher Bauten „lösliche Kieselsäure“ nicht nachweisbar ist, also weder Wasserkalk zur Verwendung kam, noch dem Weisskalkmörtel ein hydraulischer Zuschlag, wie z. B. Trassmehl oder ein diesem gleichwirkender Stoff zugesetzt sein konnte, darf man annehmen, dass Magermilch, Buttermilch oder Milchgerinnsel beigemischt wurde. So berichten auch einige Chroniken über die Verwendung von Milchkalkmörtel zu Kirchenbauten.

H. Chr. Nussbaum sagt:

„Die in der Mörteltechnik vortrefflich bewanderten Baumeister des Mittelalters haben für ihre zum Teil heute noch unerschüttert stehenden Werke keinen reinen Kalkmörtel verwendet, wie das vor der Veröffentlichung meiner Untersuchungen vielfach angenommen wurde, sondern ihm Zuschläge in ausgiebiger Menge gegeben, um ein rasch und hoch erhärtendes Bindemittel zu erhalten, das sie in den Stand setzte, ihren Bauten diejenige Standfestigkeit und Kühnheit der Konstruktion geben zu können, welche wir an den gotischen Domen ganz besonders bewundern.

Zum Werkstein- und Bruchsteinmauerwerk wie zur Herstellung von Verblendungen aus Naturgestein darf nur ausschliesslich Mörtel dienen, dessen Erhärtung auch unter Luftabschluss erfolgt. Namentlich zwischen den mit „knirschen“ Fugen versetzten Werkstücken und Verblendungen geht sehr

*) H. Chr. Nussbaum: Die für die verschiedenartigen Zwecke des Hochbaues jeweilig besonders geeigneten Mörtel. Sonderabdruck aus der Württembergischen Bauzeitung, Stuttgart.

wenig Luft hindurch, und es wird von vielen Gesteinsarten ihr Kohlensäuregehalt lange Zeit aufgenommen, um zu deren eigner Erhärtung zu dienen, CO_2 gelangt daher nicht zum Mörtel. Dieser von mir vor etwa 15 Jahren durch eingehende Untersuchungen festgestellte Tatbestand ist inzwischen durch eine Reihe von Befunden beim Abbruch von Kirchen und Profanbauten bestätigt worden. Luftmörtel dürfen daher zu diesem Zwecke keine Verwendung finden.

Für Gebäude, die zum dauernden Aufenthalt für Menschen dienen, aussen aber mit einer Werksteinverblendung, z. B. aus Sandstein, porigem Kalkstein oder Dolomit, versehen werden sollen, tritt eine weitere Anforderung an denjenigen Mörtel hervor, welcher diese Verblendung vom Ziegelmauerwerk zu trennen hat; er muss wasserabweisend wirken.

Die feinporigen Gesteinsarten weisen nach meinen Untersuchungen durchgehends eine höchst ungünstige Art der Wasserführung auf; sie leiten das durch Schlagregen u. a. ihnen zugeführte Wasser zwar wesentlich langsamer weiter als grossporige Gesteine, Hintermauerungsziegel, künstliche Kalksandsteine u. dergl., aber das Wasser dringt in den feinen Kapillaren jener Gesteinsarten unaufhaltsam vor und vermag Wände von mehr als 1 m Stärke vollkommen zu durchdringen und zu durchfeuchten. Erschwerend tritt hinzu, dass der Austrocknungsgang solcher Gesteine ein ungemein langsamer ist.

Wenn nun auch jede Backsteinhintermauerung die Wirkung einer solchen Durchfeuchtung auf die Gesundheit abschwächt, rufen tief in die Hintermauerung eingreifende Binder doch stets höchst ungünstige Erscheinungen hervor, und es ist eine auffallende Tatsache, dass das Holzwerk der Zwischendecken und Wandvertäfelungen in Gebäuden mit schwach durchlässiger Werksteinverblendung häufiger und stärker vom Hausschwamm und seinen Verwandten befallen und rascher von ihnen zerstört wird als in Gebäuden, deren Aussenwände vollständig aus Backsteinen hergestellt wurden.

Diesen Missständen sucht man bekanntlich entgegen zu wirken, indem man die Rückseiten der Werkstücke vor dem Versetzen mit Teer, Goudron u. dergl. streicht. Diese ebenso zeitraubende als unbequeme und ziemlich kostspielige Vornahme hat nur dann Nutzen, wenn Gipsmörtel zum Versetzen der Werksteine und als Trennungsschicht von der Hintermauerung Verwendung findet. Die Alkalien aller übrigen Mörtel verseifen nach meinen Untersuchungen die Öle des Teers, Goudrons und ihnen ähnlicher Stoffe sofort, machen sie wasserlöslich und heben so die Undurchlässigkeit für Wasser auf. Da der Gips sowohl durch mechanische Vorgänge (Treiben), wie durch chemische Einwirkungen nachteilig auf die Werksteine einzuwirken vermag, so ist es entschieden zweckmässiger, zum Versetzen von Verblendsteinen einen Mörtel zu wählen, welcher wasserabweisend wirkt.

Endlich ist es wünschenswert, dass die etwa auf die Schauseite der Werkstücke gelangenden Mörtelstücke — wenigstens im frischen Zustande — entfernt werden können, ohne Flecke zu hinterlassen, und dass die sichtbar bleibenden Fugen eine zum Stein passende, gefällige Färbung aufweisen.

Diese vielseitigen Ansprüche werden leidlich von Trass-Weisskalkgemengen in dichtester Mischung, vollkommener aber durch Milchkalkmörtel erfüllt. Alle übrigen Mörtelarten weisen Nachteile nach einer oder mehreren Richtungen auf.

Den Milchkalkmörtel stellt man zweckmässig auf folgende Art her: Zunächst wird ein sehr steifer Mörtel aus Weisskalkbrei und Sand gebildet. In kleineren Mengen (die man etwa im Laufe einer Stunde verbraucht) wird dieser steife Mörtel mit Magermilch gründlich durchgearbeitet und zugleich schlank gemacht. Auch Buttermilch und Käselse (Milchgerinnsel) sind für diesen Zweck anwendbar. Die Eiweissteile der Milch gehen mit dem Kalkhydrat eine innige Verbindung ein und verwandeln es dabei zu einer steinigen, besonders zähen Masse, die gegen Druck, Schub und Knickung sich gleich widerstandsfähig erwiesen hat und ungemein fest, auch am dichtesten und glattesten Gestein, haftet. Je weniger Wasser und um so mehr Milch man zu diesem Mörtel verwendet, um so dichter wird er und um so weniger gestattet er dem Wasser den Durchtritt. Aber selbst bei nur mässig hohem Milchzusatz wirkt er stark wasserabweisend, während eine gewisse Durchlässigkeit für Luft, Gase und Wasserdampf selbst den dichteren Gefügen verbleibt, welche die Austrocknung des Mauerwerks begünstigt. Die Farbe dieses Bindemittels ist ein fein wirkendes, meist etwas ins Gelbliche spielendes, bisweilen opaleszierendes Weiss. Glättet man die Aussenseite der Fugen, dann haften Russ und Staub am erhärteten Mörtel nicht mehr und werden vom Regen abgespült.

Der Milchkalkmörtel (Caseïnmörtel) weist daher sämtliche Eigenschaften auf, welche ihn zum Versetzen von Naturgestein geeignet erscheinen lassen. Es ist daher zu bedauern, dass bislang von ihm nur vereinzelt Gebrauch gemacht wird, obgleich ich seit einer Reihe von Jahren bemüht gewesen bin, ihm wieder Eingang für diesen und einige weitere Zwecke zu verschaffen.

Der Preis des Milchkalkmörtels stellt sich zwar in den Städten etwas hoch, aber die Mehrausgabe bleibt verschwindend klein gegenüber dem Nutzen, welcher für den Bestand und die Wohnlichkeit des Gebäudes aus seiner Verwendung erwächst. Durch die Zentrifugenbehandlung der Milch ist gegenwärtig überall Gelegenheit geboten, Magermilch in ausreichender Menge preiswert zu erhalten, während die Fettbestandteile der Milch abgeschieden werden, die nicht nur den Preis erhöhen, sondern den Mörtel auch schlierig machen. Ob die Milch noch süss oder bereits etwas säuerlich ist, bleibt ohne merklichen Einfluss auf den Mörtel, während das etwa verwendete Käselse (Milchgerinnsel) eine etwas stärkere Durcharbeitung des Mörtels erforderlich macht.

Langes Stehen vor der Verwendung verträgt Milchkalkmörtel nicht, weil der Vorgang der Erhärtung ein ziemlich rascher ist. Die letztere würde daher bei Anmachen übergrosser Mengen einzutreten vermögen, ehe der Mörtel an seinen Bestimmungsort gelangt und zur Ruhe gekommen ist.

Der Milchkalkmörtel zerfällt weder bei Luftabschluss noch in ständig feuchten Lagen, lässt sich im breiförmigen wie im flüssigen Zustande verwenden, verträgt geringe und hohe, feine und derbe Zuschläge gleich gut, ist daher für feinstes Fugen der Werkstücke ebenso anwendbar wie zur Hinterfüllung grober Klüfte im Bruchsteinmauerwerk oder zwischen der Verblendung und der Hintermauerung.

Wo immer der Milchkalkmörtel als Kitt, Bindemittel oder Verputz im Bauwesen zur Anwendung gelangt ist, hat er sich nach jeder Richtung bewährt, als ein rasch und hoch erhärtender, fest haftender, zäher und elastischer Bau-

stoff, welcher sowohl zur Verbindung von Stein an Stein oder an Holz und Metall gleich gut geeignet ist.

Ganz besonders brauchbar aber ist er zum Versetzen von Marmorplatten.

Die bislang zum Versetzen von Wandbekleidungen aus Marmor und anderm wertvollen, fein bearbeiteten, geschliffenen oder polierten Gestein üblichen Mörtelarten weisen bedeutsame Nachteile auf. Der in der Regel hierzu benutzte reine oder mit Weisskalk vermischte Gipsmörtel hat vielfach zur Zerstörung der Oberfläche solcher Wandbekleidungen geführt. Die Ursache dieser Zersetzungen liess sich mit Sicherheit auf den Gehalt des Mörtels an schwefelsaurem Kalk zurückführen. In feuchten, von der Luft abgeschlossenen oder wenig berührten Lagen zersetzt sich der schwefelsaure Kalk leicht und bildet Salze, die in das Gestein eindringen, Platten desselben von mässiger oder geringer Stärke zu durchdringen pflegen und die Oberfläche teils ihres Glanzes berauben, teils vollständig zersetzen. Jedenfalls muss für sämtliche Arten der Kalkgesteine und der Sandsteine mit kalkigem Bindemittel die Verwendung von Gips als unzulässig bezeichnet werden.

Ebensowenig eignen sich der Zement und die hydraulischen Kalke zum Versetzen solcher Gesteine. Auch von ihnen gehen Salzbildungen aus, welche als „Ausblühungen“ bekannt sind*). Ferner greifen sie die Oberfläche der Steine stark an, sobald sie mit ihr in Berührung kommen, und rufen dadurch hässliche Flecke hervor, die sich nur schwer wieder beseitigen lassen. Geringere Mängel weist der Trassmörtel auf, aber er bindet so langsam, dass das Anheften der Wandbekleidungen mühsam ist und dort bereits Verklammerungen oder Verankerungen erforderlich werden, wo sie sonst entbehrt werden können.

Dagegen hat der Milchkalkmörtel auch für diesen Zweck sich auf das beste bewährt. Das Abbinden geht langsamer von statten, wie beim gewöhnlichen Gips, so dass man das Versetzen der Platten in voller Ruhe vornehmen kann, erfolgt aber früh genug, um sofortiges festes Haften der Wandbekleidungen erzielen zu können. Ein Ausscheiden von Salzen findet nicht statt. Die Farbe des Milchkalkmörtels stimmt gut zu hellem Marmor und anderm kristallinischen Gestein.

Für dunkelfarbiges Gestein, z. B. für schwarzen Marmor, Syenit und dunklen Granit setzt man dem Weisskalk statt Milch besser Blut zu, dessen Eiweissbestandteile mit dem Ätzkalk die gleiche Verbindung eingehen. Die Farbe dieses Mörtels ist ein tiefes Schwarz, das selbst in etwas breiterer Fuge zu jedem dunklen Gestein gut stimmt.

Beide Mörtel sind politurfähig. Etwaige Ausbesserungen lassen sich

*) Zu diesen Ausführungen Nussbaum's bemerkt Meteor, A.-G., Geseke: „Mit unseren hydraulischen Kalken sind ganz ausgezeichnete Erfahrungen gemacht worden und zwar insbesondere mit unserem Meteor und Meteor-Extra. Es hat dies seinen Grund darin, dass diese Marken Kieselsäure und Kalk im Verhältnis 1:2 enthalten, mithin der Kalk vollständig gebunden ist. Infolgedessen erübrigt sich bei Meteor und Meteor-Extra der Zusatz von Trass, da ja kein bindungsfähiger Kalk mehr vorhanden ist. Auch ist uns nicht bekannt, dass von den Architekten die Farbe gemahlener hydraulischer Kalke als unschön empfunden worden ist. Im Gegenteil konnten wir mit Genugtuung konstatieren, dass die städtischen Bauten in Berlin-Weissensee durch Herrn Geh. Baurat Sarrazin dem Verein Deutscher Architekten bei einer zahlreich besuchten Besichtigung als mustergültig vorgeführt wurden.

daher mit ihnen in einer kaum mehr sichtbaren Weise vornehmen. Doch ist es notwendig, für diesen Zweck jeden Wasserzusatz (zum steifen Kalkbrei) fortzulassen und reichlich Milch oder Blut zu verwenden, um ein möglichst dichtes Gemenge zu erzielen.

Der zum Auskitten der Fugen geeignete Mörtel.

Die Fugenverkittung verfolgt verschiedenartige Zwecke. Bald soll ausschliesslich die Erscheinung des Bauwerks durch sie gehoben werden, bald wünscht man gleichzeitig einen dichten und dauernd haltbaren Verschluss der Fuge, bald auch eine wasserabweisende Wirkung des Verstrichs zu erzielen.

Der erstere Zweck wird mit Weisskalkmörtel in durchaus sachgemässer Weise erreicht. Die Erhärtung erfolgt in dieser dünnen abwechselnd trocknenden und wieder sich befeuchtenden Schicht in ausreichend rascher und vollkommener Weise. Nur ist es dringend erforderlich, dem Weisskalk auch feinsten Sand in ausreichender Menge zuzusetzen, weil andernfalls eine ungenügend feine Verteilung des Ätzkalkbreies erfolgt und dessen Stückchen beim Austrocknen von Rissen durchzogen werden, wodurch sie jede Festigkeit einbüssen. Denn es fehlt hier die Belastung, deren Pressung die Rissebildung verhindert oder die entstehenden feinen Klüfte sofort wieder schliesst.

An den Wetterseiten der Gebäude dagegen ist das Ausfugen mit reinem Weisskalkmörtel nicht zu empfehlen, weil er auch in dichtester Mischung reichliche Flüssigkeitsmengen aus dem Schlagregen aufnimmt und in das Mauerwerk vordringen lässt. Hier sind nur „fetter“ Trassmörtel und mehr noch Milchkalkmörtel zweckdienlich. Der letztere besitzt den Vorzug der schöneren Farbe, zeigt grössere Zähigkeit und vereinigt Wasserabweisung mit einer gewissen Durchlässigkeit in Luft und Wasserdampf.

Von der Anwendung des Zements, der hydraulischen Kalke und des Gipses ist abzuraten, weil sie um so eher Ausblühungen an den Steinen hervorrufen, in je dichterem Gemenge sie Anwendung finden. Auch die stumpfe, unschöne Färbung der Zemente und Wasserkalke spricht gegen deren Benutzung für diesen Zweck.

Handelt es sich, z. B. bei Fachwerkbau oder beim Versetzen der Fensterstöcke, um Ausfugungen zwischen Holz und Stein, dann kann ausschliesslich die Anwendung von Milchkalkmörtel zu einem gedeihlichen Ergebnis führen, weil dieser den Bewegungen des Holzes etwas zu folgen vermag und ungemein fest auch an ihm haftet. Infolgedessen halten solche Ausfugungen dauernd dicht, während sie bei der Verwendung jedes andern Mörtels nur kurze Dauer zu haben pflegen.

Im Vorstehenden wurde schon an mehreren Stellen des Weisskalkmörtels, und zwar nicht in gerade empfehlender Weise, gedacht. Es wird zweckdienlich sein, seine Eigenschaften — im Gegensatz zu dem Wasserkalk — in das richtige Licht zu rücken, um zugleich den letzteren zu charakterisieren.

Zuerst was das Grundmauerwerk anbetrifft. Die fortdauernde Zersetzung des humösen Bodens führt dem Grundwasser Kohlensäure in reichlicher Menge zu. Dieses kohlensäurehaltige Wasser löst nun den etwa schon gebildeten kohlensauren Kalk sowie das Kalkhydrat des Mörtels auf, und macht also beide zunichte. Ferner erhärtet nasser oder stark feuchter Weisskalk-

mörtel selbst bei starker Kohlensäurezufuhr absolut nicht. Aber auch bei trockenem oder mässig feuchtem Grundmauerwerk geht die Erhärtung des Weisskalkmörtels derart langsam voran, dass oft Jahrzehnte, ja Jahrhunderte vergehen, bis sich derselbe vollständig oder wenigstens zum grösseren Teile in steinigen kohlensauren Kalk zurückverwandelt hat. Für Grundmauerwerk sind dagegen zu empfehlen verlängerte Zementmörtel (Kalk + Zement + Sand) oder ein, wenn auch magerer Zementmörtel, sowie Mörtel aus hydraulischem Kalk, dessen auswaschbarer, freier Ätzkalk — CaO —, und dieser ist immer vorhanden, durch einen entsprechenden Zusatz von Trass zu binden ist.

Für Kellermauerwerk, soweit dieses der Feuchtigkeit ausgesetzt ist oder an der Wetterseite liegt, ist ebenfalls ein dichter, wasserabweisender, flott und vollständig erhärtender Mörtel zu nehmen. Die übrigen Stellen des Kellers bedingen wegen des zu gewissen Zeiten auftretenden Schwitzwassers und daher zwecks rascher Austrocknung des Mauerwerks im Gegenteil einen stark durchlässigen Mörtel, so z. B. einen mageren Zement-, Trass- oder hydraulischen Mörtel. Auch hier ist der Weisskalk zu verwerfen. Nach Prof. Nussbaum war die von aussen nach innen fortschreitende Erhärtung des Weissfettkalks selbst bei 40—60 Jahre alten Gebäuden nur bis zu einer Tiefe von $1^1/_2$—2 cm, selten bis auf 5 cm vorgerückt: der Kern war frisches Kalkhydrat + Sand.

Das Mauerwerk der Obergeschosse muss ebenfalls stark durchlässig und stark lufthaltig sein, und es muss daher ein rasch trocknender und die Wärme schlecht leitender Mörtel, so z. B. wieder ein magerer Zement-, Trass- oder hydraulischer Mörtel zur Verwendung kommen. Auch hier versagt wiederholt Weisskalk wegen seiner zu langsamen und unsicheren Erhärtung, jedenfalls in denjenigen Fällen, wo die Mauerstärke einzig nach statischer Berechnung, verhältnismässig nicht zu stark genommen wird.

Bei Aussenputz ist auf die Vermeidung von Rissen und Sprüngen zu achten, weil diese die Wetterbeständigkeit der Fassade stark beinträchtigen. Man trage daher den Mörtel stets in dünner Schicht auf und lasse ihm Zeit zum Austrocknen, ehe eine weitere Schicht aufgetragen wird. Bei trocknem, warmem Wetter muss ferner der Mauergrund benetzt werden, damit der Mörtel den zur Aufnahme der Luftkohlensäure erforderlichen Feuchtigkeitsgrad beibehält. Zur Beseitigung des an den Mauerziegeln anhaftenden Staubes, der eine feste Bindung zwischen Putz und Mauerfläche vollständig illusorisch macht, ist das Abreiben mit nassen Bürsten zu empfehlen, bei glattwandigen Maschinenziegeln ein gründliches Auskratzen der Fugen. Für Fassadenputz sind nun besonders zu empfehlen verlängerter Zementmörtel und Trassmörtel. Nach Anton Hambloch ergibt eine Mischung von 1 Raumteil Trass + 1 Rt. Kalkteig + 5 Rt. Sand einen vorzüglichen, an die Mörtel der Terranova-, Terrasit- usw. Reihe erinnernden Mörtel. Weisskalkmörtel eignet sich nur dann, wenn er — wie schon früher gesagt wurde — in dünnen Schichten von 2—3 mm Stärke sukzessive bis zu 10—15 mm aufgetragen wird und jeder einzelnen Schicht 1—2 Tage Zeit zum Trocknen gelassen wird, wenn nicht besonders heisse, trockene Tage eine kürzere Zeit — bis zu einigen Stunden herunter — bedingen. Zur Vermeidung von Rissen ist der Putz jeweilig anzudrücken und zu reiben. An der Wetterseite jedoch ist von der Verwendung von Weisskalkmörtel, seiner leichten Auswaschbarkeit wegen, entschieden abzuraten. Hier empfiehlt Nuss-

baum wieder seinen Milchkalkmörtel. Selbstverständlich eignen sich auch die hydraulischen Kalkmörtel zu Aussenputz, wenn man nicht gerade auf besonders warme Tönung desselben Wert legt oder nicht später die Fassade anstreicht.

Der Innenputz wird vielfach in Weisskalkmörtel ausgeführt, allerdings mit welchem Erfolge, ist sattsam bekannt. Bei dem Fehlen der genügenden Feuchtigkeitsmenge erhärtet er nur oberflächlich; nach Nussbaum wies der Innenputz an selbst 40—60 Jahre alten Gebäuden nur eine feste Kruste von 2—3 mm auf. Gewöhnlich wird auch der Verputzmörtel — des besseren „Flutschens" wegen — zu fett angemacht und reisst infolge dessen. Besser sind mit hydraulischen Zuschlägen versetzte Weisskalkmörtel, Trass- oder Mörtel aus hydraulischem Kalk. Endlich wieder der Milchkalkmörtel, namentlich dann, wenn wandfeuchte Gebäude, z. B. Kirchengrüfte, oder später auf den Putz aufzutragende Malereien in Frage kommen.

Für Putz ist nun ferner der Dolomitkalk in seinen verschiedenen Marken, wie Graukalk, Trierer Kalk, Gruitener Kalk, Bingerbrücker und Aschaffenburger Schwarzkalk, Lahnkalk usw. sehr zu empfehlen. Als Mauermörtel hat dieser magnesiareiche Kalk, wenigstens wenn er kieselsäurearm ist, ähnlich unangenehme Eigenschaften wie der Weisskalk, hinsichtlich seiner langsamen Erhärtung. Er ist eben kein Wasserkalk.

Die zum Versetzen von Naturgestein und zum Auskitten von Fugen geeigneten Mörtel wurden schon auf S. 115—119 erwähnt.

Zum Pliestern, d. i. zu Deckenputz, nimmt man neuerdings statt Lehmheuspeise gerne einen Mörtel in der Mischung 1 Teil gemahlener hydraulischer Kalk, 1 Teil Putzgips und 3 Teile Sand. An Stelle des gewöhnlichen hydraulischen Kalkes etwa Zementkalk oder Zement zu nehmen, ist unstatthaft, weil sich diese mit Gips nicht vertragen und der Mörtel treibend und faul wird. Bekanntlich darf dem Zement zum Zwecke des langsameren Abbindens Gips in sehr geringen Mengen, etwa bis zu 3 % zugesetzt werden. Ein grösserer Zusatz bringt ihn zum Treiben infolge der Bildung von Kalkaluminosulfat Al_2O_3, $3CaO + 3CaSO_4 +$ mindestens $3OH_2O$. „Nur Portlandzemente enthalten soviel Kalk, dass sich die dazu nötige Verbindung „Al_2O_3, $3CaO$", Tricalciumaluminat, bilden kann oder in ihnen schon vorhanden ist und nur Portlandzemente sind so dicht, dass der Krystallisationsprozess für den Zusammenhang verderblich wird" (Michaëlis). Dies gilt auch für die dem Zement ähnelnden Zementkalke.

Zu Estrich endlich ist der Zweck des Fussbodens für die Wahl des Mörtels ausschlaggebend. Da, wo eine periodische Desinfektion angezeigt ist, wie bei Badezimmern, Aborten, Fluren oder Operationssälen, eignet sich vorzüglich der vollkommen dichte Terrazzoboden. Für eigentliche Wohnräume muss jedoch ein nicht dröhnender und schlecht die Wärme leitender Mörtel genommen werden. Bei späterem Linoleumbelag ist von dem dichten Zementestrich abzusehen, weil er gewöhnlich die Klebestoffe zerstört, ein zu starker Wärmeableiter ist, ausschwitzt mit folgender Schimmelbildung. Hier sind magere Mörtel anzuraten.

In neuerer Zeit ist der Magnesiazement nach dem Verfahren von Sorel (1867) stark in Aufnahme gekommen. Er dient, gemengt mit Papier, Korkschnitzel, Sägemehl, Holzpulver, Steinmehl, Asbest, Kieselgur usw. zu der Herstellung von fugenlosen Fussböden, Steinholz und Wandbekleidungen.

Chemisch ist er eine Mischung von Magnesia — MgO — und Chlormagnesium — $MgCl_2$ —. Seine Herstellung besteht entweder darin, dass man gebrannten Magnesit und Chlormagnesiumlösung (20—25° B) in bestimmten Mengenverhältnissen miteinander mischt oder den ersteren mit einer abgemessenen Menge Salzsäure — HCl — behandelt. Es bildet sich dann das in Wasser unlösliche, äusserst rasch und stark erhärtende Magnesiumoxychlorid. Die zur Darstellung des Sorel-Zements dienende Magnesia muss jedoch sehr dicht, d. h. der Magnesit muss bei heller Rotglut bis Weissglut gebrannt sein.

Die „Magnesia usta" der Apotheker, ebenfalls MgO, das bekannte, die Magensäure neutralisierende Medikament, ist vollständig unbrauchbar.

Da sich die „fugenlosen" Fussböden bei regem Verkehr stark abnutzen, auch mit der Zeit spiegelglatt werden und die Wärme stark leiten, so ist Linoleumbelag über dem Boden Bedingung.

Terrazzofussböden (zerklopfter Stein und Zement), sowie Gipsestrich (Stucco Lustro) sollen hier noch erwähnt werden. Letzterer ist allerdings kein Kalk, sondern schwefelsaurer Kalk.

Es wäre nun noch einiges über das Wasserglas zu sagen. Im Jahre 1825, von dem schon in Kapitel I rühmend erwähnten Chemiker Joh. Nep. von Fuchs zuerst dargestellt, ist es eine chemische Verbindung von schwankenden Mengen Kieselsäure und Kali oder Natron mit dem Kennzeichen aller hydraulischen Silikate, „mit Salzsäure zu gelatinieren". In der Bautechnik findet es in der Form von Anstrichen und Imprägnierungen, als wasserabweisendes Mittel, Verwendung. Es setzt nämlich den in atmosphärischem Wasser leicht löslichen kohlensauren Kalk in kieselsauren um, welcher, wie genügend erörtert, wasserunlöslich ist, stark erhärtet und so den Einflüssen der Witterung an der Wetterseite (Schlagregen) energischen Widerstand entgegensetzt Auch zur Herstellung von hydraulischem Mörtel wird Wasserglas gebraucht, und zwar vornehmlich zum Ausfugen von Ziegelsteinmauern. Man macht zu diesem Zweck aus einem trockenen Gemenge von 10 Teilen scharfen, trockenen Sand, 3 Teile an der Luft zerfallenen Ätzkalk und 2 Teilen Kreide oder Kalksteinpulver unter Zusatz von verdünnter Natronwasserglaslösung einen plastischen Teig. Die hydraulisch-chemische Reaktion besteht ebenfalls in der Bildung von Kalksilikat. Als Steinkitt, namentlich zum Ausbessern von abgebrochenen Stellen bei Hausteinen, verwendet man einen dicken Brei, der aus dem Pulver des betreffenden Steins oder aus hydraulischem Kalk mit einer entsprechenden Menge Wasserglas angerührt ist*).

Zur Härtung und gegen Verwitterung der Steine eignet sich für die Verwendung im Grossen besonders Lithofluat der Firma Montana, G. m. b. H., Strehlau a. d. Elbe (Königreich Sachsen), wegen seiner Billigkeit und seines geringen Eisengehaltes. Neben der Härtung erreicht man noch, dass gewisse Salze, die für die Ernährung der Pflanzen (Algen, Moose, Microorganismen) notwendig sind, beseitigt werden und eine Vegetation unmöglich ist. Ein Zerstören der Steine ist daher von dieser Seite ausgeschlossen.

---

*) Nach Lautensack im „Baumaterialien-Markt" Nr. 13, Jahrgang 1910.

Im Laufe der früheren Betrachtungen wurde nun der Trassmörtel verschiedentlich erwähnt und auf seine vorzüglichen Eigenschaften hingewiesen. Die Hydraulizität des Trasses beruht auf einem für ein Gestein besonders hohen Gehalt an löslicher, d. h. aktionsfähiger Kieselsäure (8,5—12 %), welche — und zwar ebenfalls in Form einer Gallerte — durch Salzsäure abscheidbar ist. Diese Kieselsäure bildet dann mit dem Kalk des Mörtels wasserunlösliches, stark erhärtendes Kalkhydrosilikat. Die Vorzüge des Trassmörtels sind — um es kurz zu wiederholen — seine hohe Dichtigkeit, seine grosse Elastizität, die geringe Schlammbildung im Wasser, die Frostbeständigkeit, der verhältnismässig dem Zement gegenüber langsamere Erhärtungsvorgang, seine Wohlfeilheit u. a. Es sind dies alles Eigenschaften, welche ihn insbesondere zu Wasserbauten, darunter zu den gewaltigen Mauerwerkskörpern der Molen und Talsperren geeignet machen. Es fällt aus dem Rahmen dieses Werks, den Trass eingehend zu schildern. Der Verfasser weist daher auf die unten angegebenen Broschüren und Werke*).

Vor einiger Zeit sind neue Vorschriften für die Prüfung von Trass normiert worden. U. a.: „Guter Trass soll mindestens 7 % Glühverlust (Hydratwasser, d. i. chemisch gebundenes Wasser) ergeben. Er soll auf einem Sieb von 900 Maschen pro 1 qcm nicht mehr als 20 % Rückstand hinterlassen. Mörtelkörper aus 1 Raumteil Trass, 1 Raumteil Kalkteig (Normenkalk) und 1 Raumteil Sand (Normalsand) sollen nach 28 Tagen Erhärtung — 3 Tage in feuchter Luft von 15—20° C, 25 Tage in Wasser von gleicher Wärme — mindestens 14 kg/qcm Zugfestigkeit und 70 kg/qcm Druckfestigkeit aufweisen.“ Alles Nähere hierüber bringt Kapitel VI.

Zum Schlusse wären noch die gebrauchsfertigen Fassadenputzmörtel, die Trocken- oder Sackmörtel zu besprechen. Sie sind als eine Errungenschaft der rastlos voranstrebenden Mörtelindustrie zu begrüssen, welche immer weitere Kreise mit wachsendem Erfolge zieht: „Edelputz“ wird der Fassadenmörtel der Zukunft sein.

Über die Entwicklungsgeschichte der seit 15 Jahren den Markt stark beschäftigenden „farbigen Trockenmörtel“, einer Errungenschaft der rastlos vorwärts strebenden Mörtelindustrie, gebietet das fachliterarische Pflichtgefühl des Verfassers, an Hand von Berichten der einzelnen in Rede kommenden Firmen, etwas weiter auszuholen.

Im Jahre 1893 begründete sich nach jahrelangen Vorarbeiten die Terranova-Industrie, Freihung (Oberpfalz), um der bauenden Welt ein Putzmaterial zu bieten, welches (s. z. B. Broschüre dieser Industrie v. J. 1895, Vorwort) an und für sich und ohne Zusatz, in einfachster Weise mit Wasser angemacht, zu architektonischer Verkleidung in mehreren, kräftig getönten Farben geeignet ist, dessen Korn im Verein mit der Farbe eine wohltuende Wirkung erreicht, und dessen Härte allen Anforderungen genügt; ein Material, das endlich jeden Anstrich nach der Verarbeitung entbehrlich macht, ohne ihn auszuschliessen.

---

*) Anton Hambloch: 1. Der rheinische Trass als hydraulischer Zuschlag in seiner Bedeutung für das Baugewerbe. Andernach 1903. 2. Trass und seine praktische Verwendung im Baugewerbe. Andernach 1908. 3. Die Monographie des Trasses. Andernach 1908. Kiepenheuer's „Kalk und Mörtel“ 1907, S. 120—147 und 355—361.

Bei der Verbreitung der Fabrikate dieser Industrie und der Unentbehrlichkeit, zu der sich dieselben heute empor gerungen haben, sollte man annehmen, der von derselben angeregte und erstmals durchgeführte Gedanke habe sicherlich blitzartig eingeschlagen, von allen strebenden Architekten freudig bewillkommnet. Es ist heute schwer zu begreifen, wie langsam sich die neue Idee ihre Gemeinde schuf, in einer Zeit freilich, da die heutige, auf malerische Wirkung und auf neue originelle Techniken gestellte Putzarchitektur noch unausdenkbar gewesen wäre. Nur schüchtern empfahl sich das Material für bescheidene Zwecke, um überhaupt einmal der Bauwelt langsam vertraut zu werden, und selbst die Imitation von Ziegelblend- und Sandsteinarchitektur verschmähte die damals noch nach Klarheit strebende Industrie nicht. Aber bald rang sie sich zur Betonung ihres höheren Zweckes durch: Putz zu bieten, der als solcher wirken wollte, nicht als Surrogat.

Betreffs der für dekorativen Putz so wichtigen Frage der „Farbtönung" findet sich in der vorhin erwähnten Broschüre 1905 der Passus:

> „Die Färbung wird durch rationelle, völlige Ausnützung der intensiven Farben des Ziegelmaterials diverser Sorten nach unserem Spezialverfahren erreicht, so dass zu Bedenken gegen die Farbenbeständigkeit kein Anlass geboten ist."

Bekanntlich sind die Farbtönungen der Ziegel ungemein vielseitig; graue, gelbe, rote Töne und alle Zwischenschattierungen sind in denselben vertreten. Geboten wurden damals schon von der Industrie in der betreffenden Broschüre die Putztöne: gelb, hellrot, dunkelrot, silbergrau, gelblich, grüngrau, rötlich.

Es will also die Terranova-Industrie von der Fachwelt als die „Begründerin der Fabrikation farbiger Trockenmörtel ohne künstlichen Farbstoff" anerkannt werden, und jeder Versuch einer Entstellung dieser Tatsache sei als eine Geschichtsfälschung anzusprechen.

Seit den Tagen der Gründung hat die Terranova-Industrie die Führung auf ihrem ureigensten und selbstgeschaffenen Gebiet nicht aus der Hand gegeben. Unaufhaltsam hat sie sich höhere und weitere Ziele gesteckt und mit eiserner Ausdauer und grossen Opfern hat sie, glücklich unterstützt allerdings durch den von rein künstlerischer Seite unternommenen völligen Umschwung in der öffentlichen Geschmacksrichtung, im Lauf der Zeit sich einen vornehmen Platz unter den neuzeitlichen Bauindustrien errungen und diesen Platz konsequent behauptet.

> Alle Anstrengungen der rührigen Wettbewerber sollen zu einer Überflügelung noch nicht gereicht haben. (Tonindustriezeitung, 1910.)

Lange Jahre nach ihrer Gründung, als der Weg geebnet da lag und dem zuerst fremden Begriffe Achtung und allgemeine Geltung geschaffen war, begannen, wie das ja zu erwarten war, Konkurrenzversuche aufzutreten; den Anfang machte eine süddeutsche Firma, indem sie einen farbigen Trockenmörtel anbot unter der Bezeichnung „Lithin". Es folgte die Terrasit-Industrie Halensee, und eine Schar von Kalk- und Kunststeinwerken hat seitdem den von der Terranova-Industrie geebneten Weg beschritten, soweit derselbe nicht durch geheimgehaltene Fabrikationsmethoden verbaut war.

Im Jahre 1909 wurde alsdann die jüngste dieser Firmen, die Porphyr-Industrie G. m. b. H. Freihung gegründet.

Dies ist der geschichtliche Hergang.

Dem entspricht es auch, wenn die hier zu erwähnenden Industrieen, allerdings nur solche, deren Ruf feststeht, in der historischen Reihenfolge ihres Auftretens besprochen werden.

Soweit Fabrikationsgeheimnisse einen Einblick zulassen, beruht die Wirkung der meisten „farbigen Trockenmörtel" in technologischer Hinsicht auf dem Zuschlag von kieseligen und hydraulischen Stoffen, welche nach dem Anmachen mit Wasser ein hydraulisches Kalksilikat mit den wiederholt hervorgehobenen Eigenschaften liefern.

Terranova D. R. P.

Über dieses Material sei es der fabrizierenden Firma gestattet, da der Verfasser sich in seinem Werk „Kalk und Mörtel" auf Seite 280—290 über dasselbe als Putz- wie als Estrichmaterial nach Massgabe des damaligen Standes dieses Spezialgebietes ausgesprochen hat, hier das Gewicht auf eine bedeutungsvolle Neuerung zu legen, welche von der Terranova-Industrie seit 1910 eingeführt wird.

Der Standpunkt der Firma ist es hiernach, dass ein farbiger Putz ein Vertrauensartikel ersten Ranges sei, bei dem es naturgemäss fast ganz auf die Erkenntnis der

„Wechselwirkung zwischen Bindemittel und Farbträger"

ankomme, also auf Sicherung der Farbtöne gegen Zersetzung durch den Bindeprozess einerseits, und durch den in der Luft schwebenden Staub und Russ, welcher durch Schlagregen auf die Fläche gebracht und von ihr angesaugt wird, andererseits.

Die Lösung dieser doppelten Frage ist der Terranova-Industrie gelungen. Sie hat ihre Bindemittel dahin ausgestaltet, dass die verputzte Fläche — ausdrücklich sei dies betont — nicht etwa wasserdicht, wohl aber in hohem Grade

„wasserabweisend"

sich verhält, so dass Feuchtigkeit, soweit solche zum ferneren Bindeprozess unerlässlich ist, sich der Fläche zwar ausreichend mitteilen kann, aber ein eigentliches „Nasswerden" und sich Vollsaugen der Putzfläche zum Schaden des Mauerwerks und der Balkenköpfe ausgeschlossen ist, da nur der Regen von der Fläche abgehalten wird, ähnlich wie etwa ein Wettermantel Feuchtigkeit abhält, ohne doch seinerseits ganz trocken zu bleiben, und ohne doch, — ebenso wie jener — von seiner Luftdurchlässigkeit das Mindeste einzubüssen. Ja, die Luftdurchlässigkeit wird sogar noch beträchtlich gesteigert, nahezu verdoppelt. „Eine Erhöhung der bekannten Preise findet nicht statt."

Über die Wasserabweisung liegen Atteste der königlichen Prüfungsbehörden in Gr.-Lichterfelde und München vor, woraus zu entnehmen ist:

Die Wasserabweisung wurde vergleichsweise bestimmt durch Auftropfen von je 2 ccm Wasser auf genau gleich hergestellte Putzflächen

1. aus verlängertem Zementmörtel (1 : 1 : 6);
2. aus 1910er Terranova (Silbergrau Nr. 20, körnig).

Die Zeit, innerhalb welcher das Wasser von den Putzflächen aufgesogen wurde, betrug:

a) beim Kgl. Materialprüfungsamt Gross-Lichterfelde Attest A Nr. 51099, 2/11477 vom 11. Juni 1910		b) beim mechanisch-technischen Laboratorium der Techn. Hochschule München Attest Nr. 188 v. 23. Mai 1910		folglich im Durchschnitt aus a und b	
im Mittel aus 4 Versuchen		im Mittel aus 5 Versuchen		im Mittel aus 9 Versuchen	
verl. Zem.-Mört.	1910er Terran.	verl. Zem.-Mört.	1910er Terran.	verl. Zem.-Mört.	1910er Terran.
rund 40 Sekunden = 0,66 Minuten	rund 2685 Sekunden = 45 Minuten	rund 37 Sekunden = 0,61 Minuten	rund 3300 Sekunden = 55 Minuten	rund 38 Sekunden = 0,63 Minuten	rund 3000 Sekunden = 50 Minuten

Es folgt aus dem Verhältnis 3000 : 38 Sekunden, dass 1910er Terranova dem besten verlängerten Zementmörtel bezüglich Wasserabweisung 80 mal überlegen ist.

Selbstredend wird auf ausdrücklichen Wunsch auch das seitherige Material nach völlig unveränderter Fabrikationsweise angeliefert, und auch die Spezialsorte

Terranova-Estrich „Secura“

ist dieselbe geblieben, wie sie seit anderthalb Jahrzehnten bekannt und anerkannt ist.

Allgemeine Vorzüge der Terranova, nach den Angaben der Fabrik.

1. Sicherung der Farbwirkung, klare Töne.
2. Wasserabweisendes Verhalten.
3. Vielseitige Verwendbarkeit.
4. Terranovamörtel bleibt mehrere Stunden verarbeitungsfähig (wenig Verlust und bequemes Arbeiten).
5. Keinerlei Treiben.
6. Keinerlei leichtlösliche Alkalien (Ausblühungen).
7. Anstrich samt Wiederholungen überflüssig, aber in jeder Methode möglich, auch Bemalung.
8. Durch Vermischen der Originalsorten können viele neue Töne erreicht werden.
9. Schnelles Erhärten der Putz- und Estrichschichten.
10. Festes Haften des Putzes, Luftzuführung zum Mauerwerk.
11. Seit 1893 in der Bauwelt eingeführt und bei Millionen von Quadratmetern als Putz- und Estrich bewährt.
12. Billig für alle auf Dauer berechneten Putz- und Estricharbeiten.
13. Unempfindlich gegen flüchtige Säuren.
14. Abbürst- und abwaschbar.

Es möge jetzt eine kurze Besprechung der übrigen „farbigen Trockenmörtel“ folgen, soweit sie Bedeutung erlangt haben. Über die „Notwendigkeit einer freistehenden Rüstung, über die Zusammensetzung und Herstellung des Unterputzes, über die verschiedenen Putzvariationen, wie gestockter, körniger, Besen-, Rillen-, Kamm-, Fugen-, Spritz- und Glattputz, Ziehen von Gesimsen, Estrich usw. soll jedoch hier nicht mehr gesprochen werden, weil die ver-

schiedenen Fassadenmörtel hierin der schon in des Verfassers „Kalk und Mörtel“ besprochenen Terranova — wenigstens in den Grundzügen — nachgefolgt sind.

Über „Lithin“ (Fabrikant Aktiengesellschaft Steinfels vorm. Heinrich Knab, Steinfels, Post- und Bahnstation Parksteinhütten, Bayern) kann mit Fug und Recht ebenfalls nur Gutes berichtet werden. Dieses Mörtelmaterial, welches in den Farbentönungen aller Naturgesteine geliefert wird, ermöglicht es, jede gewollte Farbenwirkung zu erzielen. Sie ist also echt und naturwahr. Die kristallinischen Körner der Gesteine, und zwar der härtesten, der Silikatgesteine, werden so gemischt und mit der nötigen Bindemasse versetzt, dass ihre Zusammensetzung genau derjenigen der Naturgesteine, entspricht. Beim Anfeuchten mit Wasser und bei dem Erhärten an der Luft vollzieht sich zwischen Bindemasse und Körner der bekannte chemisch-hydraulische Prozess, der zu einer völligen und gleichmässigen Erhärtung, also zu einer Art Gesteinsbildung führt. Lithin bindet etwas langsamer ab als gewöhnlicher Zementmörtel. Die Körnungen sind Feinkorn bis zu 1 mm, Mittelkorn bis zu 3 mm, Grobkorn bis zu 6 mm Kornstärke. Für Stampf und Gussarbeiten ist die Abbindung des Fassadenlithins etwas zu langsam. Für diese Zwecke wird eine besondere, rascher abbindende Marke, das Kunststeinlithin geliefert. Dasselbe kann vom Bildhauer oder Steinmetz bearbeitet werden. Zum Schluss sei noch Lithin-Estrich erwähnt.

Die Lithinfabrikation wurde gegen 1902 aufgenommen.

Terrasit-Edelputz D. R. P. (Fabrikant Terrasit-Industrie, G. m. b. H., Berlin-Halensee, Mainz und Dessau, gegründet 1907, ist ein ebenfalls absolut wetterbeständiges lichtechtes, naturfarbengetreues und mittelst verdünnter Salzsäure abwaschbares Material. Die Unempfindlichkeit desselben gegen die Sonne beruht in dem Mangel an dem Zusatz künstlicher Farben.

„Die Färbung des Materials wird lediglich durch vermahlene farbige Gesteine bestimmter Art und Härte erzeugt. Der fertige Putz trägt daher völligen Steincharakter, welcher mit dem zunehmenden Alter immer ausgeprägter und stimmungsvoller in Erscheinung tritt, ähnlich wie dieses bei Hausteinfassaden der Fall ist. Geliefert werden sämtliche Steintöne und wird für sämtliche Normalfarben sowie auch Extrafarben, welche in den bekannten Musterplatten angeboten werden, die Garantie übernommen, dass der Mörtel ohne Farbstoff künstlicher Art geliefert wird. Nur in Ausnahmefällen und auf besonderen Wunsch der Aussteller fertigt die Terrasit-Industrie Mischungen mit künstlichem Farbstoff.“

„Die Rohstoffe werden aus den verschiedenstnn Gegenden Deutschlands und des Auslandes zum Teil aus sehr weiter Entfernung bezogen, da die Kompliziertheit der Fabrikationsmethode dieses erforderlich macht.“

„Die Körnung ist fein, mittel und grob, kann aber durch Kombination der verschiedenen Gesteine sich nach den Wünschen der Besteller richten, was auch für die Farbengebung des Mörtels gilt. Das Material wird für seine verschiedenen Zwecke in Sondermischungen hergestellt und ist für alle Putzarten für Zug-, Stampf-, Betonage- und Kunststeinarbelten verwendbar.“

„Ein sehr bedeutendes Objekt, bei welchem Terrasit die denkbar vielseitigste Verwendung fand, die Schule in Pankow bei Berlin, wurde kürzlich

Terrasit-Edelputz-Fassade.

Entwurf: Architekten Adolf Zabel und Otto Paulini, Berlin.
Haus Moulin rouge, Berlin, Jägerstrasse 63.

von der Terrasit-Industrie fertiggestellt. Dieser Schulbau dürfte der grösste Deutschlands sein, wurden doch allein für dieses Objekt etwa 47 Doppelladungen Terrasit für Aussen- und Innenputz, Stampf- und Bildhauerarbeiten verarbeitet. Die Bauleitung hatte bei diesem Objekt als Bedingung vorgeschrieben, dass der anzuliefernde Mörtel keinerlei Farbstoffe künstlicher Art enthalten dürfe."

Terrasit besteht nur aus Naturstoffen, deren Farbe nicht verblassen kann. Die Töne sind silbergrau, blaugrau, mittel- und dunkelgrau, gelb, hellrot, dunkelrot und grünlich. Andere Farben werden ebenfalls geliefert, soweit diese überhaupt vermittelst echter Materialien erreichbar sind. Die Körnung ist fein, mittel und grob. Das Rohmaterial sind kristallinisch reiner Quarz und Silikatsande. Die Fabrik liefert jetzt auch Terrasit-Estrich und Terrasit-Kunststein, welch letzterer steinmetzmässig bearbeitungsfähig ist und ebenfalls naturgetreu wirkt.

Die Terrasit-Industrie erklärt im Gegensatz zu anderen ihr Material als nicht wasserabweisend, hält im Gegenteil das ewige Wechselspiel zwischen Wasseraufnahme und Trocknung als die beste Bedingung für einen lebenskräftigen und dauerhaften Mörtel. Will man nun etwa aus sanitären Gründen (aber warum?) die Wetterseite eines Terrasitputzes besonders schützen, so ist dem Unterputz ein grösserer Zusatz an Zement oder ein solcher von wasserabweisenden Mitteln, wie diese gleich besprochen werden sollen, zu geben.

Die Terrasit-Industrie setzt in Kürze eine neue grosse Fabrik in der Lausitz in Betrieb.

Unter den modernen Putzfabrikaten verdient ferner „Felsit-Porphyr" von der „Porphyr"-Fassadenputz- und Estrich-Industrie, G. m. b. H., in Freihung (Oberpfalz) hervorgehoben zu werden. Letztere ist 1909 gegründet worden.

Es handelt sich bei diesem Fabrikat um ein rein mineralisches Produkt, dessen Hauptbestandteile, das Rohmaterial, aus einem feinen Gemisch von Feldspat, Quarz usw. besteht, wovon der Quarz rund 98 % kieselsäurehaltig ist.

Dieses Rohmaterial macht in der Fabrik verschiedene Prozesse durch; demselben werden dann in einzelnen Stadien noch andere Mineralien, eigens aufbereitete und abprobierte Bindemittel, Naturfarbstoffe usw. zugesetzt.

In ästhetischer Beziehung darf „Felsit-Porphyr" in die Reihe der übrigen Putzmörtel gestellt werden, denn die Wirkung dieses Fassadenputzes, welcher in drei verschiedenen naturgetreuen Körnungen hergestellt wird, ist ebenfalls vornehm und gediegen. Die damit ausgeführten Fassaden haben nicht eine tote ermüdende Wirkung, sondern das Material wirkt belebend auf die Fassade und ist für die Architektur jeden Stils als ein praktisches modernes Hilfsmittel zu bezeichnen.

Auch „Felsit-Porphyr" weist, wie Terrasit-Industrie auf die Porosität seines Mörtels trotz dessen Härte, Frost- und Wetterbeständigkeit hin, so dass im Mauerwerk vorhandene Feuchtigkeit austreten kann; somit ist eine Luftzirkulation geschaffen, welche ein gleichmässiges Austrocknen der Wände garantiert. Dies ist in hygienischer Beziehung von Bedeutung.

Neuerdings wird Diabasit (Fabrikant „Fassadenputz- und Sandstein-Imitation- und Estrichwerke, G. m. b. H., Langelsheim a. Harz) empfohlen. Mit 50 kg Masse kann man 4 qm Wandputz von 1 cm Stärke anfertigen.

Die Naturfarbe des Diabasit ist grau, jedoch lässt er sich, wie die anderen Edelputze in jeder beliebigen Färbung ausführen.

Seit kurzem empfehlen noch die „Topasit", Fassadenputz- und Estrich-Werke Strube & Co., Langelsheim a. Harz, ihr „wetter- und farbenechtes Material Topasit.

Auf die Hamblochsche Mischung von 1 Teil Trass, 1 Teil Kalk, 5 Teilen Sand, als guten Ersatz für Fassadenputz wurde schon früher hingewiesen. Die hervorragende Wirkung des Putzes wird dadurch erzielt, dass derselbe, nachdem er 24 Stunden aufgetragen ist, also vor seiner Erhärtung, mit eisernen Linealen geglättet wird.

Der Streit unter einigen der soeben besprochenen Firmen in der Fachpresse und in Flugblättern ist wohl manchem meiner Leser sattsam bekannt. Ich meinerseits habe, als über den Parteien stehend, mich jedes einseitigen Urteils über die speziellen Eigenschaften dieses oder jenes Putzmaterials geflissentlich enthalten, ferner jeder Einmischung in die von den Gegnern aufgeworfenen theoretischen Fragen. Das Wort wollte ich den Streitern geben. Die Zeit wird ja manches klären, und im Interesse des kaufenden Publikums schadet eine solche Befehdung nicht; im Gegenteil, sie hilft der Sache und zwar der guten Sache, indem das Material immer mehr verbessert wird.

So habe ich denn das wesentliche in dem Sinne der Broschüren und der Mitteilungen der einzelnen Konkurrenten gebracht, wenn ich auch nicht verhehlen will, dass mir, dem Fernstehenden, hier und da ein leiser Zweifel aufgestossen ist, und ferner die Wahrnehmung, dass zuweilen Veröffentlichungen von einer gewissen Seite immerhin an einer orakelhaften Unsicherheit und — derben Unwahrheit leiden.

Nur eines darf ich mit gutem Gewissen sagen, unter voller Verantwortlichkeit. Das, was ich von den vier zuerst genannten Firmen an Mustern und bei Bauten ausgeführt gesehen habe, war gut. Hierin sind meine Gewährsmänner aus dem Kreise der Architekten und bauausführenden Geschäfte mit mir einer Meinung — und ich habe deren nicht wenige um ihr ungeschminktes Urteil gebeten.

Im Anschluss an die farbigen Trockenmörtel der Terranova-Reihe soll noch Heliolith, wenn auch ein Gipsmörtel (Fabrikant Adolf Möller, Altona-Elbe) besprochen werden. Dieses mit grossem Erfolge gekrönte Material dient zur Herstellung eines fugenlosen, waschbaren Hart- und Glanzputzes für Wände und Decken. Seine Vorzüge sind absolute Fugenlosigkeit und Desinfektionsmöglichkeit, leichte Waschbarkeit, glänzende Härte, dauernder Glanz, grösste Glätte, möglichst vielseitige Farbenausführung und — Preiswürdigkeit.

Das folgende Bild zeigt die neue Landesirrenanstalt Teupitz (Provinz Brandenburg), in welchem zirka 2000 qm Heliolith-Wandputz für die Bäder und die Nebenräume des Kochküchengebäudes aufgetragen wurden.

Dieser glatte, glänzende Spiegelputz ist ein hygienischer Erfolg „comme il faut".

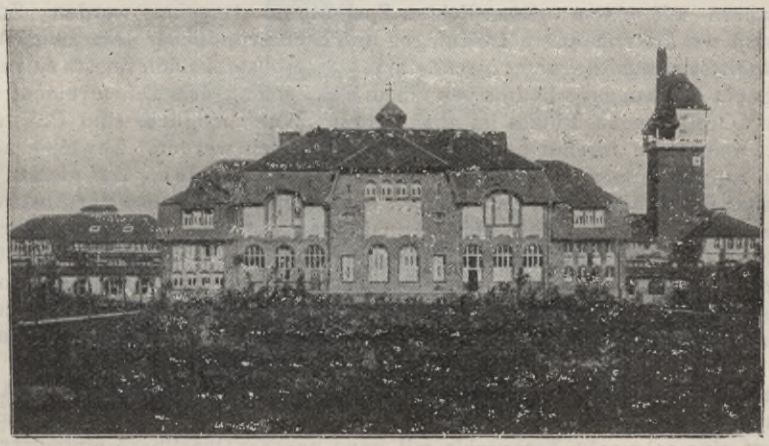
Der eigentliche Heliolithputz wird zunächst auf einen Unterputz von Zementkalk aufgebracht. Bedingung ist, dass dieser Unterputz sich nicht später verändert — durch nachträgliches Löschen ungelöschter Teilchen, durch Bildung von Haarrissen usw. — und so seine Unruhe und Bewegung dem Verputz mitteilt.

Auf diesen volumbeständigen Untergrund wird Heliolith aufgetragen und zum Zwecke einer innigen Verbindung mit dem ersteren tüchtig verrieben. Nachdem die jetzt noch nötigen Farben auf den noch frischen Putz aufgetupft, gemalt oder gespritzt sind, und nach Ausführung eventuell gewünschter Friese, Sockel oder sonstiger Verzierungen, wird das Ganze mit Stahlketten energisch und andauernd geglättet. Die Behandlung des fertigen Putzes ist sehr einfach. Ein ein- bis zweimaliges jährliches Abwaschen mit Seifenwasser, sowie einmal jährliches leichtes Nachpolieren erhält den Putz dauernd in gutem Zustand. Dem Verfasser eingesandte Probemuster wirken sehr vornehm.

Es wären jetzt noch die wasserabweisenden, die Isoliermörtel zu besprechen.

Ich folge hier vorab einem Vortrage des Architekten Louis Piehler-Unna: „Die Feuchtigkeit im Hause, ihre Ursache und Beseitigung unter besonderer Berücksichtigung von Grundwasserdichtungen“ *).

Neue Landesirrenanstalt in Teupitz.



Bei diesem 1907/8 ausgeführten Bau kamen ca. 2000 qm Heliolith-Putz zur Verwendung.

Die Ursachen des Auftretens der Feuchtigkeit in Bauwerken können verschieden sein: Aufsteigende Grundfeuchtigkeit, Eindringen von sog. Tagewasser, Eindringen von Grundwasser, Einwirken von Niederschlägen (Schlagregen an den Wetterseiten) usw.

Die aufsteigende Grundfeuchtigkeit wird durch eine gewöhnliche Horizontalisolierung der Umfassungs- und Scheidemauern mit Pappe, Bleipappe, oder Gussasphalt aufgehalten. Eine nachträgliche Sicherung wird in der Weise aufgenommen, dass die Umfassungswände in Sockelhöhe stückweise unterfangen und mit Pappe belegt werden, wobei die Mauern event. durchgesägt werden. In letzterem Falle wird in die Schnittflächen Pappe eingezogen, die Fugen werden aufgekeilt und mit Zement ausgefüllt. Erfinderin dieser Methode war die Firma A. Siebel, Düsseldorf.

Die Firma Stadtler & Geyer in München (vgl. B.-M. 1909, S. 660) führt die nachträgliche Sicherung mittels maschineller Vorrichtung aus, und neuerdings ist Ingenieur W. Schütt, Stettin, ein Apparat patentiert worden, welcher ohne grosse Kraftaufwendung schnell und sicher funktioniert. Die Kosten für das nachträgliche Durchsägen der Mauern sind nicht unerheblich.

Wo eine nachträgliche Horizontalisolierung aus technischen Gründen oder am Kostenpunkte scheitert, ist zum Verputz der inneren Wandflächen mit einem wasser-

*) „Baumaterialien-Markt“ Leipzig, Nr. 1, 1910, Seite 8—10.

dichten Zementmörtel zu schreiten. Hierbei ist der Kapillarität, dem Höhersteigen der Feuchtigkeit in der Mauer durch Höherführen des Putzes über die normale Feuchtigkeitsgrenze Rechnung zu tragen. Es dürfte genügen wenn der Putz ca. 1 m höher angetragen wird.

Von diesen Methoden weicht die von Baumeister Max Leser, München, wesentlich ab (vgl. B.-M. 1909, S. 806); dieselbe beruht auf der Austrocknung der Mauern mittels galvanischen Stromes, u. z. wird eine Trockenbatterie an der Innenseite der feuchten Mauern dauernd und unsichtbar eingemauert. Dieselbe, aus Zink und Kupfer bestehend, wird röhrenartig in der Mauer angeordnet, und der fortwährend erzeugte galvanische Strom soll die Feuchtigkeit aus der Mauer herausziehen, welche dann durch Ventilation verflüchtigt wird. — Vielfach finden auch Asphaltpappen mit Luftspülung, welche an den Innenwänden angenagelt und mit Putz überzogen werden, Anwendung.

Sog. Tage- oder Niederschlagswasser macht sich besonders bei Gebäuden auf abschüssigem Terrain bemerkbar. Die Feuchtigkeit zieht sich an den Umfassungen zusammen, versickert oder sucht sich einen Weg durch das Mauerwerk, zeigt sich also in der Hauptsache an den Kellerwänden.

Wenn das Mauerwerk aus guten Klinkersteinen und Zementmörtel hergestellt wird, so ist an und für sich schon Sicherheit geboten. Besser ist es aber, wenn die Aussenmauern mit einem wasserdichten Zementputz versehen werden. Zu diesem Zwecke sind die Aussenmauern freizulegen und nach gründlicher Reinigung ca. $1^1/_2$ bis 2 cm stark mit Zementmörtel unter irgendeinem wasserabstossenden Zusatz zu verputzen. Es genügt ein Mischungsverhältnis von einem Teil Zement, drei Teilen reinem, scharfen Sand; die Oberfläche des Putzes ist abzuglätten. Wenn möglich, sind Drainrohre zu verlegen, welche an irgendeinen Kanal angeschlossen werden. Zuweilen hilft auch ein heiss aufgetragener Goudron- oder Asphaltanstrich. Zu diesem Zwecke müssen aber die Mauerflächen gut trocken sein, denn sonst haftet der Anstrich nicht.

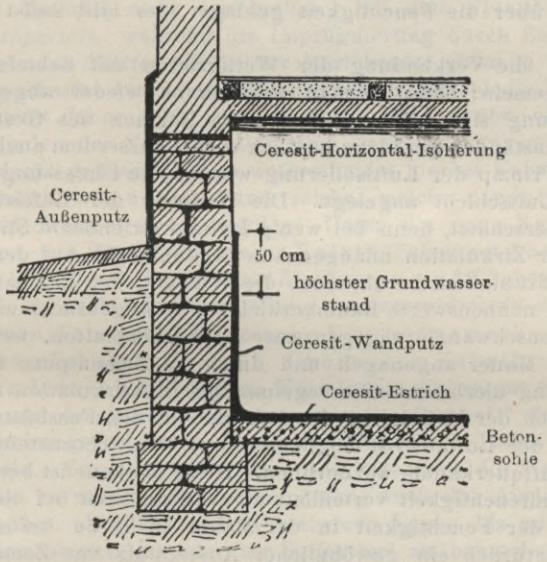
Der Begriff „Tagewasser“ und „Grundwasser“ lässt sich nicht immer genau auseinanderhalten. Die Bewältigung und dauernde Zurückhaltung des Grundwassers kann durch Drainage geschehen, wenn Kanalisation oder sonst ein Ablauf vorhanden ist. Ausserdem ist das Absaugen des Wassers mittels Stahlpumpen zu nennen. Die Kellersohle wird mit Gefällen nach einem Punkt, dem sog. Pumpensumpf, angelegt, und das Saugrohr wird an die Wasserleitung angeschraubt. Die Anlage ist kostspielig und wenig zuverlässig. Eine weitere Methode ist die Dichtung mit Asphalt, Asphaltpappe oder Asphaltplatten. Die Ausführung vollzieht sich in der Weise, dass zuerst eine schwache Betonsohle mit ganz gerader Oberfläche eingebracht wird. Hierauf kommt dann die Papplage, dann wieder eine stärkere zweite Betonschicht, welche den von unten wirkenden Wasserdruck aufhebt und das Hochgehen der Pappe verhindert. Bei Wandflächen wird die Pappe vor die Innenmauern gekiebt, und macht sich dann eine Vorverblendung von Beton, armiertem Beton oder Ziegelsteinen nötig.

Die wohl am meisten angewendete Dichtung geschieht mit Zementputz, welcher auf die Sohle und inneren Wandflächen aufgetragen wird. Erfolg lässt sich hier im allgemeinen nur unter günstigen Bedingungen, peinlich genauer Arbeitsweise und Verwendung einer fetten Mischung und geübter zuverlässiger Leute erzielen. Bei schwierigen Dichtungen versagt gewöhnlicher Zementmörtel. Man wendet dann gerne Zusatzmittel an, wie die bekannte Bitumen-Emulsion. Die Hauptsache ist und bleibt aber immer eine akkurate Arbeitsweise.

Auch die sog. wasserdichten Zemente, wie Stern-Zement, Lux-Zement usw., kommen in solchen Fällen zur Anwendung. Sie verteuern durch die hohen Frachtkosten die Ausführung, haben aber sonst gute Resultate gezeitigt. Ebenso sind schon Stearin, Kolophonium, Wachs, Seifen- und Alaunlösung, trockenes Alaunpulver, Wasserglas und Soda verwendet worden, jedoch mit geringem Erfolg, zumal die Festigkeit des Putzes stark unter diesen Beigaben leidet. Vielfach wird Asphaltbelag gewählt welcher auf den Betonfussboden aufgetragen wird. Die Asphaltlage wird sich aber niemals mit dem Betonuntergrund verbinden, so dass das nachdrückende Wasser ein Auftreiben des Asphaltes bewirkt.

Vorbedingungen bei allen Dichtungsarbeiten ist, dass die Kellersohle so stark

ist, dass diese von dem Wasserdruck nicht gehoben werden kann. Die Stärke richtet sich nach der Höhe des Wasserstandes im ungünstigsten Falle und nach der Grösse der Räume; bestimmte Normen lassen sich nicht aufstellen. In der Regel genügt für einen Raum mit normalen Abmessungen (4,0 mal 5,0 m) und einem Wasserdruck bis zu einem Meter eine Betonsohle von 20 cm Stärke, in der Mischung ein Teil Portland-Zement, zwei Teile Sand, vier bis fünf Teile Kies. Das idealste Material für Dichtungszwecke, besonders für die Sohle, ist unstreitig der Kiesbeton. Die Betonsohle aber absolut wasserdicht zu erreichen, dürfte selbst bei dem fettesten Mischungsverhältnis nicht möglich sein. Je fetter die Mischung, je stärker die Betonschicht und je länger der Beton erhärtet ist, desto günstiger ist die Sache. Feines Zuschlagsmaterial zum Beton ergibt eine grössere Wasserdichtigkeit, gröberes dagegen unter den gleichen Verhältnissen eine grössere Festigkeit. Je feiner das Zuschlagsmaterial, desto fetter ist die Mischung zu machen.



Ceresit-Innenputz gegen Grundwasser. — Ceresit-Horizontalschicht gegen aufsteigende Feuchtigkeit. Ceresit-Aussenputz des Sockels gegen Verwitterung und Abblättern.

In der Regel wird man wohl auf gebaggertes Material angewiesen sein, welches Körner von den gröbsten bis zu den feinsten Sorten enthält. Auch Basaltkleinschlag in Taubeneigrösse ist zu empfehlen, weil die meist scharfen Ecken eine gute Angriffsfläche für die Zementverkittung bieten. Bei geringer Inanspruchnahme der Sohle, also bei nicht allzu hohem Wasserdruck, genügt eine Ziegelsteinsohle, bestehend aus Rollschicht oder mehreren Flachschichten. Es sind dann nur hartgebrannte Klinkersteine, welche vorher erst tüchtig nass zu machen sind, zu verwenden, und diese sind in einen satten Zementmörtel 1 : 3 zu verlegen. Die Fugen sind hierbei nicht auszugiessen, sondern die Steine sind fest gegeneinander zu quetschen. Die Rollschicht bekommt zweckmässig etwas Stich nach unten, und die Flachschichten sind so anzuordnen, dass sich die Fugen immer überdecken. Unter keinen Umständen darf der Beton und die Feinschicht bei Grundwasserandrang eingebracht werden, denn durch die fortwährenden Bewegungen des nachdrückenden Wassers wird die mechanische Aneinanderreihung der Mörtelpartikel unterbrochen, somit also die Abbindung verhindert und die Erhärtung in Frage gestellt. Ein derartiger Beton bleibt immer weich und schwammig und ist nicht zu gebrauchen. — Der eigentliche Wasserdruck wird also durch die Betonsohle aufgehoben, während das noch nachdrückende Sickerwasser durch einen wasserdichten Zementestrich zurückgehalten werden muss. Dieser Estrich ist in einer Stärke von 2—4 cm aufzubringen, und hierbei ist besonders darauf zu achten, dass diese Mörtellage eine innige Verbindung mit dem Betonuntergrund eingeht. Die Wandflächen sind ebenfalls durch

einen Isolierputz gegen das Eindringen des Wassers zu sichern, welcher in einer Stärke von ca. 3 cm bis zu einer Höhe von 50 cm über den höchsten Grundwasserstand zu führen ist, wobei die Zusammenschnitte von Fussboden- und Wandflächen, sowie alle Ecken und Winkel abzurunden sind (Mischungsverhältnis: 1 Teil Zement, 2—3 Teile Sand.)

Bei Zufluss von Grundwasser ist für regelmässige Abhaltung des Wassers während der Ausführungszeit — und noch 4—6 Tage länger — zu sorgen. Man kann dies aber umgehen, indem nach 1—2 Tagen die Räume von oben unter Wasser gesetzt werden, wodurch der Druck von unten durch den Gegendruck paralysiert und unschädlich gemacht wird, und man also eine Abbindung des Mörtels unter Wasser hat.

Die Einwirkung von Niederschlägen, von Schlagregen oder dergleichen Einflüssen macht viele Wohnungen ungesund und unwohnlich. Gerade in kleinen Wohnungen wird über die Feuchtigkeit geklagt; hier hilft meist weiter nichts wie Ventilation.

Früher war die Verkleidung der Wetterseiten mit Schiefer, Zinkblech oder Holzschindeln allgemein; heute ist man aber davon wieder abgegangen, weil eine derartige Anordnung sich nicht immer in den Rahmen des Gesamtbildes einfügen lässt und unter Umständen geradezu hässlich wirkt, ausserdem auch reichlich teuer ist.

Nach dem Prinzip der Luftisolierung werden die Umfassungsmauern mit einer 5—7 cm breiten Luftschicht angelegt. Die Wirkung der Luftschicht wird in den meisten Fällen überschätzt, denn bei wenig Luftzufuhr entsteht Stickluft und Schwitzwasser, bei starker Zirkulation unangenehme Abkühlung. Auf derselben Basis, nämlich auf der Luftzirkulation, beruht auch die Wirkung der Falzbautafeln, die jedoch nachträglich ohne nennenswerte Raumverkleinerung angebracht werden können. Es sind dies schwalbenschwanzförmig gepresste Asphaltfilzplatten, welche an die Innenseite der feuchten Mauer angenagelt und dann mit Zementputz überzogen werden. Die Hauptbedingung hierbei ist eine regelmässige Luftzirkulation in den senkrechten Kanälen, und es soll der Lufteintritt durch Löcher in den Fussleisten (durch Rosetten zu schützen) und der Luftaustritt möglichst durch den Schornstein erfolgen. Weiter sind auch noch Luftquerkanäle anzuordnen. Diese Methode ist besonders auch gegen aufsteigende Grundfeuchtigkeit vorteilhaft anwendbar, weil bei richtiger Anordnung ein Höhersteigen der Feuchtigkeit in der Mauer nicht zu befürchten ist. Gegen Schlagregen ist natürlich ein gewöhnlicher Aussenputz von Zementmörtel sicherer, weil erstens einmal die Feuchtigkeit gar nicht in das Mauerwerk eindringen kann, und zweitens bei dem inneren Anbringen der Falztafeln die Decken schutzlos sind. Weiter ist die Einmauerung von gewöhnlicher Asphaltpappe zu nennen, welche besonders bei Giebelwänden vorteilhaft anzuwenden ist. Hierbei bedient man sich zum Festhalten der Pappe besonderer nach dem Steinmass geformter Flacheisen. Auf richtiges Überdecken der Pappstreifen ist hier besonders zu achten. Dann kommt der Zementputz, der bekanntlich keinen absoluten Schutz gegen Durchfeuchtung bietet, wenn er nicht mit wetterfesten Austrichen, durch vorheriges Bestreichen der Mauerflächen mit heissem Goudron oder Asphalt und endlich durch Imprägnieren des Putzes behandelt wird.

Einen zweckentsprechenden Anstrich bietet auch die Siderosthen-Lubrose (Akt.-Ges. Jeserich, Hamburg), eine (feuergefährliche) Mischung aus geschwefeltem Mineralöl und Kohlenstaub, durch Rohbenzol streichfähig gemacht, bei dem die Farbschicht im gewissen Sinne elastisch ist und daher Risse, wie bei den übrigen Anstrichen, schwerlich eintreten können. Ein weiter gut empfohlenes Anstrichmittel ist Dr. Roths „Inertol“ (Fabrikant Paul Lechler, Stuttgart). Mitunter wird auch ein Bestreichen der Ziegelwandflächen mit heissem Goudron, eine Mischung von Trinidadasphalt mit Petroleumrückständen, oder Asphalt empfohlen, welche dann noch mit einem Zementputz zu überziehen sind; da letzterer nicht ohne weiteres an dem Anstrich haftet, muss der Auftrag im nassen Zustande mit Zementpulver angestäubt oder angesandet werden. Im anderen Falle ist die Fläche mit Maschendraht zu umspannen, wodurch der Putz gleichfalls einen sicheren Halt bekommt. Dann bleibt noch die Imprägnierung des Putzes übrig, die einmal durch mehr-

maliges Bestreichen der fertigen Zementflächen mit Testalin (Fabrikant Hartmann & Hauers, Hannover), eine Ölseife, den Kessler'schen Fluaten (Fabrikant Hans Hauenschild, Berlin NW. 21), Kronol (Fabrikant Montana, G. m. b. H., Strehla-Elbe) usw. und zweitens durch Beimischung irgend eines wasserabstossenden Stoffes direkt zur Mörtelmasse erreicht werden kann. Testalin wird in zwei Lösungen auf den fertigen Zementputz aufgetragen und hierdurch wird ein Ausfüllen der Poren erzielt. Fluate sind wasserlösliche, aus Flussspat und Quarz hergestellte Salze, welche durch Tränken in die äussere Schicht des Zementputzes eingeführt werden, um sich mit den Bestandteilen des Mörtels wieder zu wetterbeständigem Flussspat und Quarz zurückzubilden. Die Fluate lassen sich auch bei Sandstein, Kunststein, Terrazzo und dergleichen anwenden. Für Zement- und Betonflächen kommt Magnesiafluat in Frage. Durch die Behandlung der Putzflächen mit Testalin, Fluaten usw. wird jedoch kein Schutz gegen Druckwasser erreicht, also bei Grundwasserdichtungsarbeiten ist diese Methode nicht anwendbar. Bei dem Fluatieren wird nur die äussere Schicht präpariert, während die Imprägnierung durch Beimengung irgendeines wasserabstossenden Stoffes direkt zur Mörtelmasse einen in der ganzen Stärke wasserdichten Putz schafft; darin besteht der grosse Unterschied. Die Imprägnierung der Mörtelmasse bietet daher nach jeder Richtung hin Gewähr, und gebührt dieser Behandlung entschieden der Vorzug. Derartige Imprägnierungsmittel werden heute mehrere auf den Markt gebracht, Man unterscheidet hierbei Fabrikate, welche dem fertigen Zementmörtel zugesetzt, und solche, welche direkt dem Anmengewasser des Mörtels beigegeben werden. Unter die erste Kategorie fallen alle bituminösen Zusätze, wie Bitumen-Emulsion Kalzit (Fabrikant Charlottenhammer G. m. b. H., Bredelar i. W.), Zechit (Fabrikant Zechstein- und Zechitwerk, Bredelar, G. m. b. H., Cassel), Porolith, zur Herstellung von wasserdichten, säure- und alkalienbeständigen Verputzen (Fabrikant Elsässische Emulsionswerke, G. m. b. H., Strassburg i. Els.), Creo (Fabrikant A. Prée, Chemische Fabrik, Dresden), Awa-Emulsion und Andernach's Bitumen-Emulsion (Fabrikant A. W. Andernach, Beuel a. Rhein), und dergleichen; dagegen vertritt „Ceresit" die letztere Spielart. Es genügt ein Mischungsverhältnis von 1 Teil Zement, 3 Teilen Sand, nebst dem erforderlichen Zusatz. Vor dem Aufbringen des Putzes ist die Mauerfläche peinlich sauber von Schmutz zu reinigen und anzunässen, auch das Auskratzen der Mörtelfugen ist zu empfehlen. Der Putz ist in mehreren Lagen bis zu einer Stärke von ca. 2 cm aufzutragen, abzureiben oder als Spritzwurf zu behandeln. Alter Kalkputz ist bis auf das Mauerwerk zu entfernen, im guten Zustand befindlicher alter Zementputz ist aufzurauhen, wie oben zu präparieren und dann noch mit purer Zementbrühe anzuschlämmen. Ein wiederholtes Nassmachen des fertigen Putzes ist zu empfehlen. Dieser Putz eignet sich auch vorzüglich als Terranova-Unterputz. Stellen sich bei diesem imprägnierten Putz wirklich Haar- und Schwindungsrisse ein, welche auch bei sorgfältigster Arbeitsweise nicht immer zu umgehen sind, so kann sich die Feuchtigkeit doch noch keinen Eintritt verschaffen, weil eben der Putz in der ganzen Stärke wasserundurchlässig ist und die Haarrisse bekanntlich nur an der Oberfläche auftreten. Bei den Anstrichen dagegen wird durch eine rissige Oberfläche sofort der Erfolg in Frage gestellt. Ist der Feuchtigkeit durch einen wasserdichten Aussenputz nicht beizukommen, wie z. B. bei Verblendsteinbauten, so ist zum Innenputz zu schreiten. Der Putz ist jedoch nicht abzuglätten, sondern nur zusammenzureiben, und in bewohnten Räumen noch mit einer ca. $^1/_2$ cm starken fetten Kalkputzschicht zu überziehen. Bei Rohbauten ist es empfehlenswert, die Verblendsteine in diesem Mörtel zu vermauern und dann auszufugen.

„Ceresit" ist ein butterweicher, wässeriger Brei, welcher ausser dem Zementmörtel dem verlängerten Zementmörtel, ja sogar dem hydraulichen Kalkmörtel zugesetzt werden kann. Pro Quadratmeter Aussenputz — $1^1/_2$—2 cm stark — sind ca. $^1/_2$ kg = 40 Pf., pro Quadratmeter Kellerdichtungen — ca. 3 cm stark — ca. $^3/_4$ kg = 60 Pf. Material nötig. Fabrikant des Ceresit sind die Wunnerschen Bitumenwerke, G. m. b. H., Unna i. W.

„Aquabar“, eine Wasserglasseife (Fabrikant Aquabar, G.m.b.H., Berlin) wird ebenso verarbeitet. Es ist eine aus organischen und unorganischen Stoffen zusammengesetzte Paste, welche in Wasser aufgelöst wird.

Zu einem Kubikmeter Zementmörtel gebraucht man etwa 2 Kilo Aquabar zum Preise von 6 M. Die Mehrkosten sind demnach für 1 Quadratmeter Putz in Stärke von 1 cm 6 Pf., von 2 cm 12 Pf. Für massives Mauerwerk und Fundamente erhöht sich der Preis von 1 Kubikmeter Beton (ein Teil Zement + drei Teile Sand + vier Teile Kies) mit der nötigen Menge Aquabar versetzt, um 1—1.50 M.

Weisskalk verträgt einen Zusatz von Aquabar nicht.

Es gibt nun auch, wie schon vorher angedeutet, wasserundurchlässige Zemente. Ihre Herstellung — patentiert 1902 — beruht auf der Behandlung der aus dem Ofen kommenden Zementklinker mit einer geeigneten Lösung. Getrockent werden dieselben wie auch sonst ohne Zusatz vermahlen usw.

IV.

Das Anziehen, Abbinden und Erhärten des hydraulischen Mörtels.

Wie in Kapitel II dargetan wurde, ist der gebrannte gewöhnliche Wasserkalk, wie er in Stücken auf der Baustelle Verwendung findet, Ätzkalk, durchsetzt mit ganz oder zum weitaus grösseren Teil durch den Brand aufgeschlossener Tonsubstanz. Bei dem Überbrausen mit Wasser löscht sich der nicht an die Kieselsäure und Tonerde-Eisenoxyd herangetretene und durch diese nicht gebundene, also freie Kalk zu Pulver ab, in welchem die Partikel von Kieselsäurekalk, Tonerdekalk, Eisenoxydkalk eingebettet liegen. Die sich schwer oder gar nicht löschenden Wasserkalke hingegen sind in der Hauptsache ein Gemenge eben dieser Teilchen, mit mehr oder weniger ungebundenem Kalk durchsetzt. Das gedämpfte oder ungedämpfte gemahlene Pulver enthält also viele hydraulifizierende Bestandteile neben wenig Kalkhydrat bzw. freiem Kalk. Eine chemische Formel für die durch den Brand aufgeschlossenen Produkte gibt es nicht. Sie kieselsauren Kalk (Kalksilikat), tonsauren Kalk (Kalkaluminat), eisensauren Kalk (Kalkferrat) zu nennen, ist wohl nicht richtig; denn unter diesen Namen versteht man chemische Verbindungen von einer ganz bestimmten stöchiometrischen Zusammensetzung. Da sie einen solchen Charakter nach dem Akt ihrer Erzeugung nicht haben können, so empfiehlt es sich, wie schon getan, das Produkt des Aufschlusses mit der elastischen Bezeichnung Kieselsäurekalk, Tonerde (Eisen-)kalk zu benamsen.

Der Löschprozess besteht nun, je nach der Menge des zugegebenen Wassers, in der gänzlichen oder teilweisen Hydratisierung des freien Kalkes CaO zu Kalkhydrat CaH_2O_2 und ferner in der ev. Hydratisierung der Hydraulefaktoren.

Bei der Mörtelbereitung endlich nimmt das Wasserkalkpulver, sei es vorher gedämpft oder nicht, weiteres Wasser auf. Nach einiger Zeit, wenn ein Teil

des überschüssigen Wassers aus dem Mörtel abgesogen oder verdunstet ist, d. h. bei einem ganz bestimmten Feuchtigkeitsgrade des letzteren, erfolgt dann im Mauerwerk oder Verputz das Anziehen oder Abbinden des Mörtels, welches ihm so viel Festigkeit verleiht, dass er mit Wasser in Berührung gebracht werden kann, ohne seinen Halt zu verlieren. Das Abbinden ist nichts weiter als die Abgabe des überflüssigen Wassers an die Mauersteine und die umgebende Luft; der Mörtel schrumpft, er schwindet: es ist der Übergang desselben aus dem weichen beweglichen Zustand in den festen, starren. Dieser Vorgang ist ein rein mechanischer und nicht zu identifizieren mit dem chemischen, ebenfalls „Abbinden" genannten Vorgang beim Zement. Im Wasser nun erhärtet er und bindet während dieses Prozesses Wasser und Kohlensäure chemisch.

Das Wesen der Erhärtung war bisher ein ungelöstes Rätsel. Man neigte früher stark zu der Ansicht, dass diese ein ausschliesslich chemischer Vorgang sei, indem sich — um nur eine aus vielen von vielen Forschern aufgestellten Formeln herauszugreifen — die in Wasser unlöslichen und erhärtenden Verbindungen

$$2CaO.SiO_2+2H_2O$$
$$CaO.Al_2O_3+6H_2O$$
$$6CaO.4Fe_2O_3+3H_2O$$

gebildet haben sollten. Aber es wurde von anderer Seite entschieden davor gewarnt, nur der Chemie allein die Entscheidung in dieser schwierigen Frage zu überlassen und angeraten, darüber nachzudenken, dass die Erhärtung auch zugleich ein mechanischer Vorgang sein könne. „Das Wirken aller Mörteiberuht auf der Entstehung eines zusammenhängenden Ganzen aus fein zerteiltem Material und dieses Zusammenwachsen wiederum auf dem Zusammenwirken eines chemischen und eines mechanischen Prozesses unter bestimmten Bedingungen" (Prof. Friedr. Knapp). Es ist sonst nicht zu verstehen, dass z. B. das leichte Pulver Magnesia usta der Apotheken, MgO, nicht mörtelfähig ist, während der bis zur Sinterung gebrannte Magnesit, ebenfalls MgO, hingegen sogar stark hydraulisch ist. Und ähnliches mehr.

Es hat sich nun seit über vierzig Jahren der als hervorragende Autorität geltende Zementtechniker Prof. Dr. Wilhelm Michaëlis senior mit dem Erhärtungsvorgang der Wasserkalkmörtel beschäftigt und seine Erfahrungen und Ansichten über denselben — unter teilweiser Abänderung seiner früheren Anschauungen — kürzlich veröffentlicht*). Als Vorläufer desselben darf Prof. Hans Hauenschild betrachtet werden, welcher in seinem „Katechismus der Baumaterialien" zuerst eine grundlegende Mörteltheorie aufstellte, welche im folgenden wiedergegeben werden soll.

Die Mörtel dienen zur Ausfüllung der Fugen und zur Verbindung der Bauteile zu einem Ganzen. Der erstere Zweck wird erreicht, wenn das Mörtelmaterial beim Übergang in den starren Zustand sein Volumen so wenig als möglich verändert. Es soll sich weder zusammenziehen, denn dann ist die Fugenausfüllung eine unvollkommene und die Bauten können in gefährlicher Weise sich setzen, an Höhe abnehmen, noch darf nachträglich das Volumen des Mörtels grösser werden, der Mörtel darf nicht treiben, denn er würde

*) Der Erhärtungsprozess der kalkhaltigen hydraulischen Bindemittel von Dr. Michaëlis sen. Dresden 1909. Verlag von Theodor Steinkopf.

Kantenbrüche der Bausteine und selbst Verrückung des Gleichgewichtes im Bauwerke hervorbringen können. Die Luftmörtel sind am meisten dem Schwinden ausgesetzt, d. h. sie verringern ihr Volumen um das Volumen des beim Austrocknen verdunstenden Wassers. Um dieses Schwinden zu verhindern, oder eigentlich, um dasselbe auf ein unschädliches Mass herabzudrücken, werden dem Mörtel nicht sich verändernde Körper einverleibt, dadurch dem Wasser die raschere Austrocknung gesichert und in demselben Raum, den sonst die schwindende Mörtelsubstanz ganz hätte auszufüllen gehabt, den Umständen entsprechend ein Grossteil unveränderlicher Masse untergebracht. Solche Körper nennt man Magerungsmittel oder Füllsubstanzen. Dahin gehören vor allem Sand, Steintrümmer und sandartige Abfälle allerlei Art, Kohlenschlacken, Hochofenschlacken, Ziegelmehl, gepochter, gebrannter Ton (Chamotte), für gewisse Zwecke auch Sägespäne, Wergabfälle, Gerstenspreu usw. Es ist notwendig, dass der Mörtel selbst nicht bloss plastisch ist, um die Füllsubstanzen umhüllen zu können, sondern er muss auch an ihnen haften, sie unter sich und mit den zu verbindenden Bausteinen verkitten. Die Volumenvermehrung ist soweit nützlich, und für die Kraft der Verkittung von grossem Werte, so lange sie innerhalb gewisser Grenzen bleibt, indem sie die einzelnen berührenden Teilchen zwingt, sich aufs engste aneinander und an die Begrenzung zu schmiegen und alle Unebenheiten genau auszufüllen. Auch hier sind Füllmittel von grösster Wichtigkeit, und zwar sollten sie mit der grösseren Neigung zur Volumenvermehrung in viel grösserer Menge zugesetzt werden, damit ausreichende leere Zwischenräume für die sich ausdehnende Masse überall ausgespart bleiben.

Die Verkittung ist nach der unveränderlichen Fugenausfüllung die wichtigste Forderung, welche an guten Mörtel gestellt werden muss. Derselbe soll mit den verbundenen Bauteilen sowohl, als unter sich selbst so festhaften, dass zur Trennung derselben eine gewisse Kraftanwendung nötig ist. In vielen Fällen erreichen in der Tat richtig zusammengesetzte, bereitete und verarbeitete Mörtel eine Bindekraft, welche derjenigen guter Bausteine nicht nachgibt, so dass oft eher die verbundenen Steine sich trennen, ehe die Fuge, welche sie verbindet, zerstört werden kann. Es muss demnach das Bestreben jedes Fabrikanten von Mörtelmaterialien sein, die grösstmögliche Kittkraft zu erzielen, und jeder Bautechniker muss dasselbe anstreben. Solange jedoch nicht das Wesen der Verkittung überhaupt klargestellt ist, müssen wir nur erfahrungsgemäss so vorgehen, wie bisher das Vorzüglichste in dieser Beziehung zustande gebracht wurde. Durch folgende Betrachtungen dürfte einiges Licht auf diese dunkle Seite unserer bisherigen Kenntnisse hierüber gelenkt werden. Im Grunde genommen würde das Gebiet der Mörtelmaterialien auf alle die unzählbaren Kitte für alle möglichen Substanzen auszudehnen sein, sobald wir den Begriff weiter auffassen. Und vielleicht gewährt gerade diese Auffassung ein zutreffendes Bild dessen, was stattfinden muss und stattfinden kann, wenn Verkittung eintritt. Es frägt sich: Findet Verkittung nur nach einem einzigen Gesetze statt, oder tragen mehrere Ursachen einzeln oder zusammen zur Verkittung bei?

Gehen wir von dem einfachsten Falle aus. Zwei vollkommen ebene Flächen, z. B. Spiegeltafeln, aufeinandergelegt, haften mit einer Kraft aufeinander, welche noch grösser wird, wenn zwischen dieselben früher eine sie benetzende Flüssigkeit gebracht wurde. Genauer gesagt, diese Kraft, welche

man Adhäsionskraft genannt hat, ist nicht gleichbleibend für gleich grosse Platten, auch wirken verschiedene Flüssigkeiten verschieden. Ein ganz geringes Gewicht schon ist imstande, die Trennung zu bewirken, aber erst in langer Zeit, wie Stefan gezeigt hat. Die Zeiten bis zur völligen Trennung sind der trennenden Kraft verkehrt proportional, die Zeiten sind auch verkehrt proportional dem Quadrate der ursprünglichen Distanz der Platten. Je näher die Platten aneinanderliegen können, desto längere Zeit braucht eine Kraft, um sie zu trennen, oder desto grösser muss die Kraft sein, um sie in bestimmter Zeit zu trennen. Die Flüssigkeiten zwischen den Platten werden dabei auch getrennt, da sie beiderseits dieselben benetzen. Hierzu ist eine sehr verschieden grosse Kraft nötig, um eine Schicht von gleicher Dicke und Ausdehnung in bestimmter Zeit zu trennen. Die Grösse dieser Kraft ist proportional auch der Zeit, welche die Zwischenflüssigkeiten benötigen, um unter gleichen Druck durch Haarröhrchengefässe zu strömen. Diese Zeit ist aber bei verschiedenen Flüssigkeiten sehr verschieden und steigt ins Unendliche bei Körperzuständen, welche wir als halbflüssige, plastische, teigige zu bezeichnen pflegen, kurz bei zähflüssigen Substanzen mit grosser innerer Reibung.

Man kann sämtliche Substanzen, welche chemische Verbindungen sind, in zwei Hauptgruppen einteilen: in kristallisierbare oder Kristalloide und in nichtkristallisierbare oder Kolloide (leimartige Substanzen). Die Kristalloide haben die Eigenschaft, in Lösungen durch Wände leicht und rasch hindurchzugehen, welche aus Kolloidsubstanzen bestehen, z. B. tierische Blase, Gelatine, Pergamentpapier, während die Kolloidsubstanzen nicht oder nur langsam durch solche Wände dringen. Ferner zeigen die Kristalloide entweder nur festen oder nur flüssigen Aggregatzustand, während die Kolloide gerade durch einen Mittelstand charakterisiert sind, durch den fest-weichen, teig oder gelatinartigen. Wenn man sich vorstellt, dass die Moleküle der Kolloidsubstanzen, entsprechend ihrem durchwegs höheren Molekulargewicht, da doch jedes Molekül für sich gleich schwer angenommen wird, grösser sind, und daher durch die Zwischenräume der Kolloidmembran nicht durchgehen, gerade so, wie durch ein Sieb nur die feineren Teile durchgehen, und dabei noch bedenkt, dass die Form der Kolloidmoleküle kugelförmig ist, so kommt man den Erscheinungen, welche sie darbieten, am natürlichsten auf den Grund. Jedes Molekül einer Kolloidsubstanz im Wasser übt vermöge seiner grösseren Masse eine grössere Anziehungskraft auf die Umgebung aus, umgibt sich mit einer nach allen Richtungen gleich ausgedehnten grösseren Flüssigkeitshülle, dadurch rücken die Moleküle selbst auseinander, die Kapillarität macht sich geltend, d. h. es dringt unter stetiger Vergrösserung der Zwischenräume neue Flüssigkeit dazwischen, so lange, bis die Massenanziehung der einzelnen Moleküle überwunden ist durch die grosse Entfernung, welche die sich stets vergrössernden Wasserhüllen bewirken. Sind hingegen im Wasser lösliche Substanzen zugegen und dringen als Lösung in die Wasserhüllen von Kolloidsubstanzen ein, oder befinden sie sich in so fein verteiltem Zustande, dass sie im Wasser suspendiert dorthin gelangen, so werden diese Wasserhüllen verringert, die Anziehung zwischen den festen Teilchen wird sich geltend machen, und ist ihre Anzahl eine so grosse, dass sie die Anziehungssphären zwischen den Kolloidkörperchen allseitig berühren, so wird der innere Druck oder die gegenseitige

Anziehung auch ohne Verdunstung, Absorption oder äusseren Druck das überschüssige Wasser auspressen und der Übergang in einen starren Zustand stattfinden, indem das ganze System in sich eine stabile Lagerung annimmt. Dieser Übergang vom Weichen ins Feste heisst, technisch ausgedrückt, das Abbinden.

Bei der unbegrenzten Benetzbarkeit der Kolloide finden zwischen ihnen so viel Kristalloide Raum, dass diese selbst dann noch einen zusammenhängenden starren Körper geben, wenn nur mehr so viele Kolloide vorhanden sind, als eben hinreichen zur Ausfüllung der Zwischenräume.

Es kann bei überschüssigem Lösungs- oder Diffusionswasser vorkommen, dass Verflüssigung eintritt; dazwischen aber liegt ein Stadium, in welchem die Kolloidsubstanz weder fest noch flüssig genannt werden kann, in welchem sie unter bedeutender Vermehrung des Volumens festweich oder halbflüssig ist. Man nennt dieses Vermögen, einen Mittelstand zwischen fest und flüssig anzunehmen, unter Vergrösserung des Volumens, das Quellungsvermögen, und dieses ist allen Kolloidsubstanzen gemeinsam. Ähnlich nun, wie sich eine Kolloidblase zu den Kristalloiden verhält, verhält sich auch eine Kolloidmasse. Sie stellt eine Art Schwamm dar, welcher nach allen Richtungen hin eine Lösung von Kristalloidsubstanzen durchströmen, diffundieren, lässt.

In dem Zustande der Quellung, wenn eine Art Gleichgewicht zwischen dem Zusammenhang der Masse und der Schwerkraft herrscht, wenn demnach allerdings die einzelnen Teilchen in der Flüssigkeit schwimmen, aber doch das Wasser noch zwischen sich kapillar festhalten, nicht flüssig absondern: in diesem vollgesoffenen Zustande können die Kolloidsubstanzen auch die grösste Menge Kristalloidsubstanzen gleichmässig verteilt in sich aufnehmen.

Denken wir uns nun die Flüssigkeit entweder durch Wärme verdunstend, durch Druck ausgepresst, oder durch noch stärker schwammartig wirkende Umgebung, poröse Steine etc. abgesogen, kurz, abnehmend, so nehmen die Zwischenräume der einzelnen Moleküle ab, sie treten alle näher aneinander, wenn nicht an einzelnen Partien die Abnahme der Flüssigkeit ungleich rasch geschieht, wie es meist der Fall ist. Dann muss eine Spannung, ein Kampf gewissermassen, entstehen, zwischen dem Bestreben, die Flüssigkeit kapillar festzuhalten und der Kraft, welche dieselbe entziehen will. Ist diese Kraft die Wärme, so wird die Oberfläche, wo die Flüssigkeit frei verdunsten kann, am raschesten aus dem gequollenen in den starren Zustand übergehen, die Masse muss dabei an der Oberfläche am meisten schwinden, die Wände, sobald überhaupt das Wasser sie auch benetzt, werden, ihre Form nicht verändernd, die Anziehung auf die zunächst liegenden Teilchen ausüben und soweit hinein in die Mitte, bis eine Grenze erreicht ist, wo dieselbe von den sich mit einer bestimmten, immer wachsenden Kraft zusammenziehenden Masseteilchen überwunden wird; dort wird ein Spannungsmaximum herrschen und dort werden zuletzt Risse, Klüfte entstehen, wenn die Flüssigkeitshüllen an Dicke abnehmen, und es werden sich diese Risse netzförmig durchkreuzen und von diesen aus wird die Austrocknung weiter gehen. Es müssen nun die Ränder dieser Maschen auch nach abwärts sich öffnen, es werden die Teilchen an ihren Grenzen neuerdings sich mit stärkerer Kraft aneinander lagern, an Volum abnehmen, und sich endlich, schüsselförmig in der Mitte vertieft, von den unteren Partien trennen. Wir sehen diese Erscheinung bei allen plastischen Materialien,

und zwar in sehr verschiedenem Grade auftreten. Je grösser das Quellungsvermögen ist, d. h. je mehr Wasser ein solcher Körper aufnehmen kann, bis der Gleichgewichtszustand zwischen den festen und flüssigen Teilchen hergestellt ist, desto fetter und zäher fühlt sich ein mit Wasser gesättigter solcher Körper an, desto mehr Wasser aber hat er zu verlieren, desto mehr muss er schwinden, aber auch desto kräftiger hält er die letzten Wasserteile zurück und desto länger dauert es, bis Risse entstehen.

Ist ausser der Oberfläche, wo die Verdunstung stattfindet, noch die Unterlage porös und Wasser ansaugend, so wird die Zusammenziehung derart erfolgen, dass je nach der grösseren oder geringeren Porosität und folgerichtig Begierde, Wasser aufzusaugen, ein kleineres oder grösseres Bestreben vorhanden, allseitig und ohne Zwischenmittel einer Flüssigkeitshülle den plastischen Körper zu entwässern. Zuerst werden die Flüssigkeitshüllen an der Unterlage verschluckt, es bildet sich momentan eine trockene Schicht an der Berührungsstelle, dann saugt diese Schicht von der nächst oberen an, um sich wieder zu sättigen; diese Wasserhüllen werden abermals, aber erst nachdem die ersten Teilchen tiefer in die Unterlage gedrungen sind und diese Unterlage neuerdings saugfähig wird, verschluckt oder absorbiert, und dann geht dieses Spiel so lange fort, bis entweder das Quantum Flüssigkeit, welches durch gewöhnliche oder molekulare Kapillarität festgehalten wurde, erschöpft ist, oder bis die Unterlage keine aufsaugende Kraft mehr ausüben kann, weil ihre Poren mit Flüssigkeit erfüllt sind. Findet diese Wechselwirkung rasch statt, so wird die Massenanziehung der kolloidalen Teile überwiegen, es wird eine Trennung zwischen Unterlage und Mörtel statthaben, der Mörtel wird in sich zusammenhängender sein, als mit der Unterlage, und wenn dabei noch die Austrocknung von der Oberfläche aus stark ist, so werden vieleckige, schüsselförmige Schollen sich loslösen, ein Fall, der gar oft bei „fetten“ Verputzmörteln eintritt. Geht hingegen die Aufsaugung langsam, so wird ein Teil der kolloidalen Substanz mit in die Poren wandern, die nächstliegenden Teilchen werden der doppelten Massenanziehung ihrer Nachbarn und der Unterlage folgen, zwischen der Austrocknung und der Absaugung wird ein Gleichgewichtszustand eintreten, und zwischen dem Zusammenhang der Mörtelsubstanz in sich und dem Zusammenhang mit der Unterlage wird kein grosser Unterschied sein; die Kohäsion wird gleich der Adhäsion sein, oder der Mörtel gut haften.

Geschieht die Entziehung des Wassers durch zwei poröse Begrenzungen, liegt also eine Mörtelschicht, z. B. zwischen zwei Ziegeln, so wird der Mörtel an dem weniger porösen mehr haften, als an dem poröseren, ein Fall, der in der Praxis sogar Regel ist, indem weitaus in den meisten Fällen der deckende Ziegel poröser, weil trockener, ist, als der liegende. Beim Abbrechen alter Gebäude sieht man dies nur allzu gewöhnlich.

Zwei Punkte ändern übrigens die Deutlichkeit dieser Erscheinungen wesentlich: die plastische Substanz, hier als Mörtel betrachtet, kann aus sehr verschieden grossen Teilen bestehen, wovon die feinsten in den Kapillaren der gröberen sich mit dem verdunstenden oder abgesaugten Wasser bewegen: in diesem Falle wird ein Reissen von der Oberfläche aus nicht so leicht eintreten, weil die Dichte gerade an den Begrenzungsflächen durch die einwandernden kleineren Teile grösser wird, und die Wasserentziehung allmählich wie durch

Verstopfung der Auswege verzögert oder verhindert werden muss; die Füllsubstanzen wirken deshalb entgegen dem Schwinden und Reissen und verzögern das Abbinden. Es kann sogar dadurch im Innern zu Trennungen kommen, und der Zusammenhang dort gestört werden. In der Praxis kommen derlei Fälle nicht selten vor, und das Andrücken oder Zusammenpressen und Stossen der Fugen, welches beim Mauern gebräuchlich ist, soll eben diese innere Trennung verhindern.

Der zweite Punkt betrifft die Flächengestalt der Unterlage: eine polierte Fläche hat in dem gleichen Querschnitt die wenigsten Berührungspunkte, eine rauheckig-körnige die meisten. Da die sogenannte Adhäsion sich ja aus den einzelnen Massenteilchenanziehungen summiert, so ist klar, dass die rauhe Fläche viel günstigere Adhäsionsverhältnisse bietet. Ausser der Porosität ist daher auch die Gestaltung der Unterlage wichtig für die Verkittung. Je glätter die Oberflächen, desto dünner sollte die Mörtelfuge sein, um günstig zu verkitten.

Hat hingegen die gequollene Substanz eine wirkliche Kristalloidlösung zwischen ihren Zwischenräumen, so muss diese nach der Stelle der Absaugung oder Verdunstung hinwandern, und dort wird solange die Verdunstung fortdauern, bis die Kristallisation selbst eintritt, wodurch sich an der Unterlage oder an den Flächen der eingebetteten Füllsubstanzen, z. B. am Sande, Kristallagen bilden, deren äusserste Teilchen in beständiger Auflösung und Wiederkristallisierung sich befinden. Es ist dies der eigentliche Erhärtungsvorgang, wodurch allmählich die getrennten Teilchen des Mörtels sowohl zu einem Ganzen sich verbinden, als auch die Massenanziehung der Bausteinflächen vermittelst der wie ein flüssiger Körper sich verhaltenden Kolloidsubstanz zur Geltung kommt.

Fassen wir das Wesen der Verkittung kurz zusammen, so besteht es in der Massenanziehung durch Vermittlung einer wirklichen Kolloidsubstanz, oder einer mechanischen, kolloidähnlich wirkenden Mischung von festen und flüssigen Teilchen.

Das Wesen der Erhärtung jedoch besteht in dem Übergang aus dem kolloidal-gequollenen Zustand in den festen durch Vermittlung von Absaugung, Verdunstung und Druck mit oder ohne Begleitung von Kristallisation, oder in der Umwandlung eines dynamischen in ein statisches Verhältnis. Welche chemischen Veränderungen noch hierbei stattfinden, werden wir bei Betrachtung der einzelnen Mörtel kennen lernen.

An diese Betrachtungen auf dem Gebiete der Kolloidchemie knüpft Michaëlis an.

Bei der Erhärtung des Luftmörtels, wie z. B. desjenigen aus Weisskalk, werden im wesentlichen kristallinisch chemische Verbindungen, feste Körper wie kohlensaurer Kalk $CaCO_3$, halb kohlensaurer Kalk $CaCO_3 . CaH_2O_2$ und Kalkhydrat CaH_2O_2 gebildet, welche die Hohlräume zwischen den einzelnen Sandkörnern verkitten, zugleich an diesen selbst fest anhaftend*). Ein solcher Kristallisationsprozess, allerdings bei anders verlaufender chemischer Reakion

*) Das Anhaften ist nur mechanisch. Bei dieser Gelegenheit soll der mitunter ausgesprochenen Ansicht entgegengetreten werden, dass die Kieselsäure des Sandes mit dem Kalk sich chemisch verbände, also an der Oberfläche des Korns ein Kalksilikat bilde. Eine solche Reaktion „Kalksilikat“ tritt nur bei hoher Dampfspannung, z. B. bei der Fabrikation der Kalksandsteine, ein.

geht nun auch bei dem Abbinden und Erhärten der hydraulischen Kalke = Ätzkalk + Tonerde + Eisenoxyd + Kieselsäure vor sich Wie in Kapitel I ausgeführt wurde, ist seit etwa anderthalb Jahrhunderten bekannt, dass Säuren, wie Salzsäure oder Salpetersäure, eine Anzahl von Mineralien (Silikaten), sowie durch Brand aufgeschlossene Mergel, d. i. Wasserkalke, zersetzen, indem sie zugleich die frei werdende Kieselsäure in Form einer Gallerte abscheiden. Aber erst vor 30 Jahren wies Michaëlis mit Sicherheit nach, „dass die Kieselsäure mit Kalk auf nassem Wege bei gewöhnlicher Temperatur immer nur Gallerte, ein kolloides Kalkhydrosilikat, wasserhaltigen kieselsauren Kalk bildet.“ Dass „diese Gallertbildung im Verlaufe des hydraulischen Erhärtungsprozesses das Eigenartige und Wesentliche sei“, ist die jüngste Michaëlissche Entdeckung.

Wenn sich in einer Lösung (hier also Mörtel) zwei Körper vereinigen, so können nach P. P. von Weimarn ganz allgemein folgende Fälle eintreten:

1. Die Bildung der festen Phase geht sehr langsam vor sich aus sehr wenig übersättigter Lösung; dann scheidet sich die Verbindung in wohlausgebildeten, grossflächigen Kristallen ab. Darüber können oft Jahre vergehen; je langsamer die Bildung erfolgt, desto grösser werden die Krystalle.

2. Die Bildung erfolgt bald aus übersättigter Lösung, das Produkt ist aber nicht sehr schwer löslich; dann erfolgt die Ausscheidung in Kristallskeletten, vorzugsweise in Nadelform.

Das Kristallisieren in Nadelform ist also eine ganz allgemeine Erscheinung. Man denke nur an die Bildung der Gipskristalle. Langsam, aus eben übersättigter Lösung herauskristallisierend, bildet der Gips grossflächige Kristalle; schnell, aus stärker übersättigter Lösung, feine Nadeln.

3. Die Bildung erfolgt schnell aus stark übersättigter Lösung und das Produkt ist schwer löslich; dann erhalten wir die Verbindung als Suspension, als Gallerte oder Hydrogel, also in kolloidem Zustand.

In diesem Zustand scheidet sich nun immer die Verbindung von Kieselsäure- und Kalkhydrat aus; bei gewöhnlicher Temperatur bildet sich immer amorphes Kalkhydrosilikat, Hydrogel und Gel, „weil das Kalkhydrosilikat sehr schwer löslich ist und eine zu grosse Bildungsgeschwindigkeit besitzt“.

Michaëlis exemplifiziert nun den Abbinde- und Erhärtungsvorgang an einer Gruppe von drei Klinkerkörnern von Portland-Zement, welche der Einfachheit wegen als Kugeln dargestellt sind (Figur 1). Aber diese Betrachtungen lassen sich auch auf die hier zu besprechenden Wasserkalke anwenden.

Jedes Partikelchen Wasserkalk ist ein mit Kalk sehr übersättigtes festes Aggregat von Kalk, Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxyd*). Das Anmachwasser löst sofort Kalkerde, Tonerdekalk, etwa auch Eisenoxydkalk und Kieselsäurekali auf; es bildet sich eine übersättigte Lösung von diesen Stoffen. Wegen der starken Übersättigung, welche in der geringen Wassermenge alsbald eintreten muss und wegen der Schwerlöslichkeit dieser Verbindungen in starker Kalklösung entstehen Kristallskelette, vorzüglich in

*) Statt Tonerde und Eisenoxyd ist nach Michaëlis richtiger Tonsäure und eisenige Säure zu sagen, weil sie, wenn auch gewöhnlich Basen, der stark basischen Kalkerde gegenüber wie allerdings sehr schwache Säuren reagieren. Sie sind also amphoter, zwitterhaft.

Nadeln; Kalkhydroaluminat und -ferrit treten wegen ihrer langsamen Bildung in äusserst winzigen hexagonalen Tafeln auf (Figur 2). Dieser Vorgang kann nun wohl das Abbinden und Erhärten des Mörtels bewirken, aber niemals ein wasserbeständiges Produkt liefern; denn das auf diesem kristalloiden Mörtel einwirkende Wasser würde gerade wie bei dem wasserunbeständigen Gips in das Innere einzudringen vermögen und den Mörtel also erweichen, auflösen, zerstören.

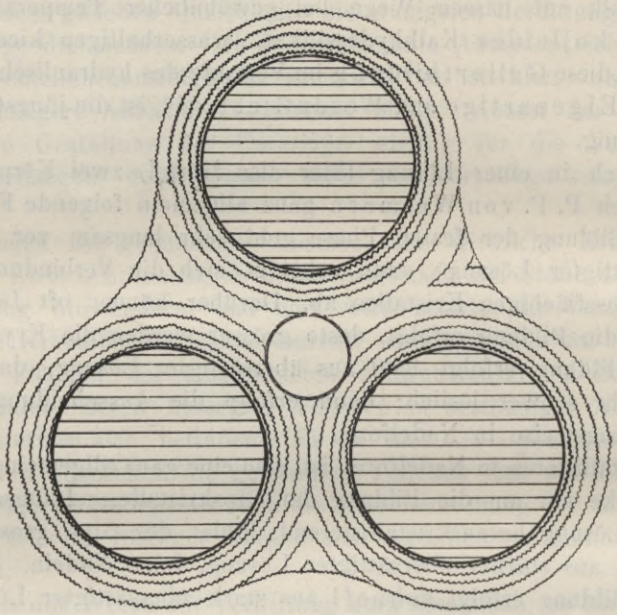


Fig. 1. Der kleine Kreis in der Mitte stellt ein Gipskörnchen, die üblichen 2%, wie sie dem Portland-Zement zugesetzt werden, dar.

Der zwingende Beweis, dass dieser Kristallisationsprozess nicht der eigentlich hydraulische Erhärtungsvorgang sein kann, liegt nun allein schon darin, dass die Kieselsäure an dieser Kristallbildung gänzlich unbeteiligt ist. Wir wissen aber, dass, um einen Wassermörtel zu bilden, nichts weiter erforderlich ist, als Kieselsäure und Kalk, und diese aus diesen zwei Komponenten entstehende Verbindung „Kalkhydrosilikat", scheidet sich — ebenso wie möglicherweise Kalkaluminat und -ferrit — gallertartig, kolloid aus.

Plötzlich wird die ganze übersättigte Lösung, welche die Wasserkalkkörner umgibt, als Hydrogel, als Gallerte gerinnen. Das ist der Moment, wo wir bei den Kuchenproben des Laboratoriums auf einmal das blanke Wasser verschwinden sehen, wo der Kuchen ein trocknes, mattes Aussehen annimmt: kurz, es ist der Augenblick des vollzogenen Abbindeprozesses.

In Figur 3 ist die Hydrogelbildung durch Punktierung gekennzeichnet. Die Kristalle strecken nun wie Fasern oder Haarbüschel in einer Leimbrühe. Das Hydrogel ist anfänglich wasserreich und weich, aber die innere Masse der Kalkkörner entzieht mit Begierde demselben sein Wasser, um sich selbst zu

hydratisieren. Das Wasser wandert also in das Innere der Körner, und damit verdichtet sich das Hydrogel an der Oberfläche der Körner mehr und mehr und wird schliesslich zum vollkommen wasserundurchlässigen festen Gel. In

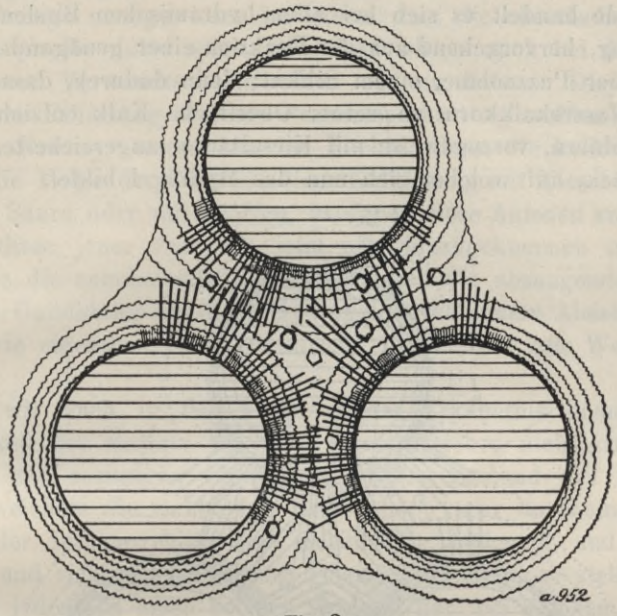


Fig. 2.

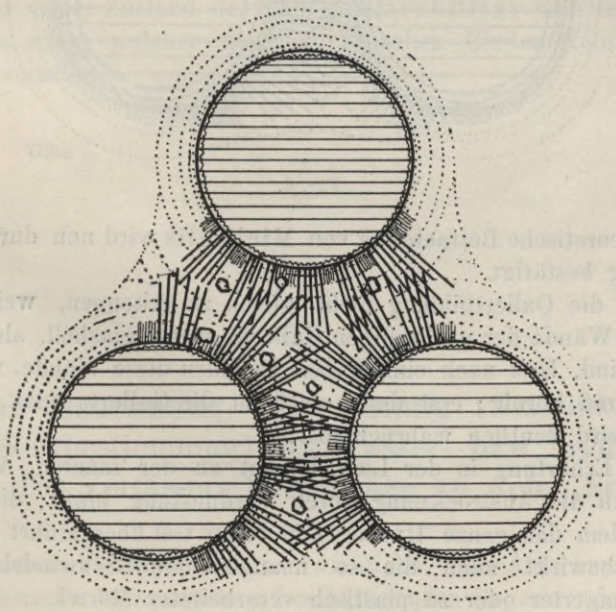


Fig. 3.

diesem stecken dann die Kristallnadeln sozusagen wie Degen in wasserdichter Scheide (Figur 4), wie wir alle das kennen vom Tonschlamm, welcher durch eine wasserabsaugende Unterlage zu einer gänzlich wasserdichten Masse umge-

wandelt wird. Diese innere Wasserentziehung erklärt das Fest- und Hartwerden unter Wasser und bewirkt auch die zunehmende Erhärtung des Mörtels. Also ein mechanisch-dynamischer Prozess.

Im Grunde handelt es sich bei allen hydraulischen Bindemitteln um die Hydrogelbildung, hervorgehend aus der Reaktion einer genügend starken Kalklösung mit einer Puzzuolane, einem Silikat; denn dadurch, dass das Anmachwasser dem Wasserkalkkorn an seiner Oberfläche Kalk entzieht, bleibt eine mit Anionenbildnern, vorzugsweise mit Kieselsäure angereicherte Aussenschale des Korns zurück, auf welcher sich nun das Hydrogel bildet.

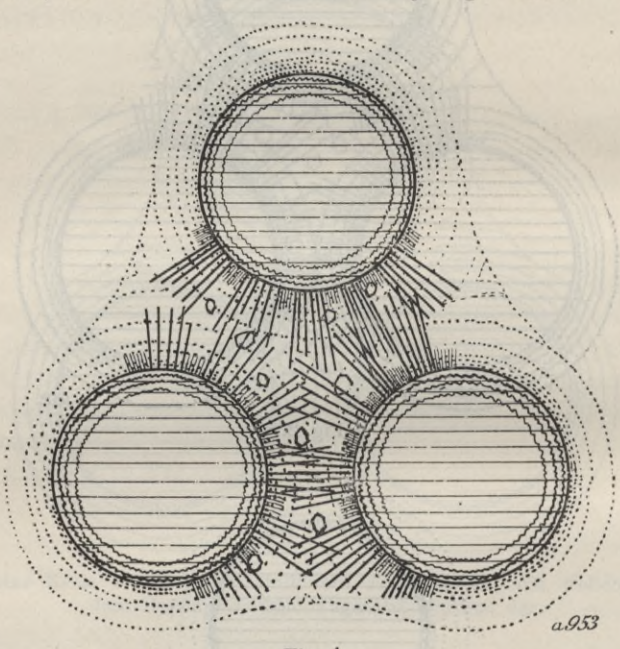


Fig. 4.

Diese theoretische Betrachtung von Michaëlis wird nun durch das Mikroskop endgültig bestätigt.

Nur ist die Gallertbildung nicht gleich zu erkennen, weil die dünnen Häutchen, die Wände der grobzelligen Gallerte zuerst glashell, also vollkommen durchsichtig sind. Erst nach einiger Zeit zerfallen diese Wände, verändern sich, werden matt und körnig; erst dann erscheint die Gallerte opak, d. i. undurchsichtig, und wird deutlich wahrnehmbar.

Bei der Erhärtung in der Luft kommt zu der inneren Absaugung des Hydrogels noch die Austrocknung durch Verdunstung hinzu; diese erhöht die Festigkeit, indem das ganze Hydrogel in festes Gel übergeführt wird; aber die Verdunstung bewirkt auch die so unangenehme Schwindrissigkeit nicht genügend gemagerter oder zu plastisch verarbeiteter Mörtel.

Formeln mit festen stöchiometrischen Proportionen für diese kolloiden Körper wie Kalkhydrosilikat, Kalkhydroaluminat und -ferrit aufzustellen, ist nun, wie Michaëlis selbst, „nachdem er seinen Autoritätsglauben seit einigen Jahren abgelegt habe“, einfach nicht möglich. Es sind eben nicht gleichbleibende, gleichartige, es sind inhomogene Bildungen.

Alles in allem: Die hydraulische Erhärtung erfolgt, so möchte Michaëlis es ausdrücken, in einem Grenzgebiete verschiedener Energien, der chemischen, der elektrischen Energie, der Oberflächen- und der Volum-Energie; ich glaube es aber zur Genüge nachgewiesen zu haben, dass die chemische Energie doch immer die Hauptrolle dabei spielt und dass wir es auch bei diesem Prozesse mit heteropolaren Verwandtschaftskräften zu tun haben. Diejenigen, welche die hydraulische Erhärtung als eine Puzzuolanerhärtung auffassten, Chevreul und nach ihm Frémy, waren also im Rechte, denn die kolloide Bildung ist eben immer die Folge der Reaktion einer Kalklösung mit Kieselsäure, Tonsäure und eiseniger Säure oder mit Stoffen, in denen diese Anionen vorhanden. Was zu der Hypothese jener Forscher jetzt neu hinzugekommen ist, das ist der Nachweis, wie die zunehmende Erhärtung durch die absaugende Wirkung erfolgt, wie die Gelbildung aus dem Hydrogel durch innere Absaugung zustande kommt und wie eigentlich das hydraulische Bindemittel zum Wassermörtel befähigt wird.

Sollten wir auch in der Folge zu der Erkenntnis kommen, dass der kolloide Zustand der Materie von dem kristallinischen nicht grundverschieden sei, sondern nur sozusagen einen jugendlichen Zustand des kristallinischen darstellt, in welchem die richtenden Kräfte noch wirr durcheinander wirbeln, oder infolge der Inhomogenität sich gegenseitig hemmen, und deshalb nicht zur Ordnung und richtigen Entfaltung gelangen konnten, so stellt der kolloide Zustand doch jedenfalls einen solchen Zustand her, bei welchem die Bewegung der Flüssigkeit sehr erschwert ist — Hydrogel — oder sogar ganz aufgehoben ist — Gel; und dieser Zustand der Semipermeabilität und der Impermeabilität ist es eben, welcher den hydraulischen Bindemitteln ihre Wasserbeständigkeit verschafft.

V.

Einheitliche Benennung, Einordnung (Klassifikation) und Prüfung (Wertbestimmung) der Wasser- bzw. hydraulischen Kalke. Des Verfassers Vorschläge zu den „Normen“.

Zum besseren Verständnis dieses wichtigen, den Ausschuss des Vereins deutscher Kalkwerke Jahrzehntelang beschäftigenden Gegenstandes sollen vorab ein Auszug aus dem Heft IV (Jahrgang 1894) und Heft VI (Jahrgang 1902) der „Mitteilungen aus den Königlichen Technischen Versuchsanstalten Berlin, bezw. Gross-Lichterfelde“ (Nr. 1—45), sowie sonstige Prüfungsergebnisse von behördlicher und privater Seite (Nr. 46 u. ff.) nebst Analysen vorausgeschickt werden. (Siehe Seite 148 u. ff.)

1	2	3		4	5					6
Nr.	Bezeichnung bezw. Ursprung der Kalke	Gewicht für 1 Liter eingelaufen kg	Gewicht für 1 Liter eingerüttelt kg	Spezifisches Gewicht des geglühten Kalkpulvers	Mahlfeinheit bzw. Korngrösse: Rückstand in % auf den Sieben mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm 5000	2500	900	600	324	Löschbeginn nach Minuten: a Löschdauer: b
1	Trierer Kalk *Siehe Analyse Seite 172*	0,495	0,869	3,008	18,0	—	6,0	3,5	2,0	a nach 20 M. b 60 M.
2	Beckumer Wasserkalk *Siehe Analyse Seite 172*	0,492	0,916	2,913	11,0	—	5,0	3,0	2,5	a nach 3 M. b 19 M.
3	Kalk von W. Wesemann in Rast bei Raddeckenstedt	0,403	0,659	2,679	6,0	4,0	2,0	1,0	0,5	a nach 3 M. b 12 M.
4	Gebrannter Stückkalk aus dem Kalkwerk von E. Rubel zu Schraplau.	0,498	0,713	2,857	12,0	8,0	7,0	5,5	4,0	a nach 2 M. b 22 M.
5	Zementkalk aus der Zementkalkfabrik F. Böttcher & Co. in Gerbstädt	0,511	0,757	2,874	8,0	6,5	4,0	2,0	0,7	a nach 13 M. b 21 M.
6	Hydraulischer Kalk	0,440	0,697	2,631	0,8	0,7	0,5	0,2	0,0	a nach 4 M. b 12 M.

*) G.-T. bedeutet Gewichtsteile. — R.-T. bedeutet Raumteile. — Der Normalsand hat

7	8	9								10	
Mörtelmischung*) der Festigkeitsproben (Wasseranspruch %)	Art der Erhärtung	Festigkeit in kg/qcm nach Tagen: Zugfestigkeit 7	28	60	90	Druckfestigkeit 7	28	60	90	2 Liter Stückkalk in Wallnussgrösse ergaben Kalkpulver eingelaufen l	eingerüttelt l
1 G.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (15 %)	5 Tage Luft, dann Wasser	—	1,93	—	5,85	—	17,3	—	50,6	4,7	
Desgl.	Nur Luft	—	3,77	—	5,35	—	14,8	—	19,7		
1 G.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (11,5 %)	5 Tage Luft, dann Wasser	—	1,32	—	4,35	—	7,8	—	29,1		
Desgl.	Nur Luft	—	2,89	—	5,05	—	8,7	—	16,4		
1 G.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (13,5 %)	3 Tage Luft, dann Wasser	—	4,20	—	14,05	—	27,6	—	85,8	5,8	
Desgl.	Nur Luft	—	4,19	—	7,70	—	24,9	—	30,5		
1 G.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (11,0 %)	3 Tage Luft, dann Wasser	—	2,66	—	9,20	—	13,9	—	54,0		
Desgl.	Nur Luft	—	3,20	—	6,30	—	12,5	—	22,6		
1 G.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (16,0 %)	3 Tage Luft, dann Wasser	—	3,44	—	7,79	—	17,9	—	43,5	5,9	3,4
Desgl.	Nur Luft	—	3,28	—	6,45	—	21,1	—	37,9		
1 G.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (12,0 %)	3 Tage Luft, dann Wasser	—	2,48	—	5,90	—	10,1	—	24,6		
Desgl.	Nur Luft	—	2,59	—	5,65	—	12,5	—	30,5		
1 G.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (16,0 %)	3 Tage Luft, dann Wasser	—	6,65	—	11,95	—	43,9	—	72,1	5,5	3,7
Desgl.	Nur Luft	—	12,25	—	18,20	—	55,6	—	76,2		
1 G.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (12,0 %)	3 Tage Luft, dann Wasser	—	5,50	—	9,80	—	32,9	—	53,3		
Desgl.	Nur Luft	—	9,95	—	15,10	—	43,0	—	60,0		
1 G.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (12,0 %)	1 Tag Luft, dann Wasser	—	3,35	8,35	11,80	—	16,8	49,1	67,0	4,1	2,8
Desgl.	Nur Luft	—	6,14	7,00	8,30	—	18,4	26,4	32,9		
1 G.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (9,5 %)	1 Tag Luft, dann Wasser	—	2,35	5,50	8,30	—	12,1	29,1	48,6		
Desgl.	Nur Luft	—	5,15	7,15	10,25	—	15,0	24,0	27,3		
1 G.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (15,75 %)	14 Tage Luft, dann Wasser	—	2,20	—	8,35	—	18,8	—	67,0	4,0	2,5
Desgl.	Nur Luft	—	4,38	—	10,05	—	23,7	—	59,6		
1 G.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (12,0 %)	14 Tage Luft, dann Wasser	—	1,59	—	6,55	—	12,3	—	55,6		
Desgl.	Nur Luft	—	3,54	—	8,85	—	16,1	—	48,6		

Rf = 1,404 kg; Rr 1,684 kg; spez. Gew. 2,661.

1	2	3		4	5					6
Nr.	Bezeichnung bzw. Ursprung der Kalke	Gewicht für 1 Liter		Spezifisches Gewicht des geglühten Kalkpulvers	Mahlfeinheit bzw. Korngrösse					Löschbeginn nach Minuten: a Löschdauer: b
		eingelaufen	eingerüttelt		Rückstand in % auf den Sieben mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm					
		kg	kg		5000	2500	900	600	324	
7	Hydraulischer Kalk	0,455	0,727	2,632	6,0	4,0	—	—	—	a nach 5 M b 15 M.
8	Hydraulischer Kalk aus dem Kalkwerk Schulz zu Sötenich i. d. Eifel *Siehe Analyse Seite 172*	0,428	0,736	2,381	—	—	—	—	—	a nach 1 M b 7 M.
9	Wasserkalk d. Kalkwerkes Westfalia Toholte & Co. zu Geseke in Westfalen	0,438	0,742	2,986	8,0	0,6	0,5	0,3	0,2	a nach 1 M. b 4 M.
10	Hydraulischer Kalk aus d Kalkbrennerei von C. Benner zu Hornbornseelbach, Reg.-Bez. Wiesbaden	0,434	0,781	2,391	4,0	2,0	0,6	0,4	—	a nach 2 M. b 3 M.
11	Wasserkalk	0,355	0,690	2,524	2,0	1,2	0,3	—	—	a nach 1 M. b 29 M.

7	8	9								10	
Mörtelmischung der Festigkeitsproben (Wasseranspruch %)	Art der Erhärtung	Festigkeit								2 Liter Stückkalk in Walnussgrösse ergaben Kalkpulver	
		Zugfestigkeit				Druckfestigkeit					
		in kg/qcm nach Tagen								eingelaufen	eingerüttelt
		7	28	60	90	7	28	60	90	l	l
1 G.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (12,5 %)	10 Tage Luft, dann Wasser	—	2,72	7,05	10,70	—	17,0	41,7	65,2	3,9	2,5
Desgl.	Nur Luft	—	5,14	7,70	9,85	—	20,4	30,3	37,6		
1 G.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (10,25 %)	10 Tage Luft, dann Wasser	—	2,31	5,05	7,10	—	12,7	35,2	50,6		
Desgl.	Nur Luft	—	4,50	5,75	6,45	—	14,1	24,9	30,5		
1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (13,0 %)	3 Tage Luft, dann Wasser	—	5,55	10,65	12,35	—	32,9	66,7	77,1	5,2	3,0
Desgl.	Nur Luft	—	8,50	12,55	15,00	—	40,1	62,3	71,9		
1 G.-T. Kalkpulver + 5 „ Normalsand (11,0 %)	3 Tage Luft, dann Wasser	—	4,50	7,80	9,50	—	22,2	49,7	60,0		
Desgl.	Nur Luft	—	6,60	9,90	11,15	—	24,0	46,2	58,7		
1 R.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (10,0 %)	3 Tage Luft, dann Wasser	—	3,13	6,35	8,70	—	17,6	30,4	44,9	4,1	2,7
Desgl.	Nur Luft	—	4,41	5,85	5,95	—	14,8	23,8	29,8		
1 R.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (8,0 %)	3 Tage Luft, dann Wasser	—	3,26	5,29	7,90	—	12,8	17,3	24,5		
Desgl.	Nur Luft	—	3,62	3,77	4,65	—	11,2	17,1	20,1		
1 R.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (12,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 4,2	8 Tage Luft, dann Wasser	—	1,89	—	4,4	—	17,2	—	23,2		
1 R.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (7,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 8,4	10 Tage Luft, dann Wasser	—	2,18	—	4,2	—	11,3	—	13,9		
1 R.-T. Kalkpulver + 1 „ Normalsand (11,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 2,4	6 Tage Luft, dann Wasser	—	1,42	1,95	2,43	—	5,3	8,1	12,5		
Desgl.	Nur Luft	—	4,92	5,4	5,5	—	16,0	21,3	25,8		
1 R.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (8,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 4,8	7 Tage Luft, dann Wasser	—	2,70	2,6	2,9	—	2,8	3,0	4,0		
Desgl.	Nur Luft	—	4,19	4,5	4,5	—	12,2	14,9	15,9		
1 R.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (6,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 7,2	8 Tage Luft, dann Wasser	—	1,57	0,88	1,24	—	1,7	2,5	1,9		
Desgl.	Nur Luft	—	1,83	1,47	2,0	—	5,6	5,0	7,1		

1	2	3		4	5					6
Nr.	Bezeichnung bzw. Ursprung der Kalke	Gewicht für 1 Liter eingelaufen kg	Gewicht für 1 Liter eingerüttelt kg	Spezifisches Gewicht des geglühten Kalkpulvers	Mehlfeinheit bzw. Korngrösse: Rückstand in % auf den Sieben mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm 5000	2500	900	600	324	Löschbeginn nach Minuten: a Löschdauer: b
12	Graukalk	Zu Kalkpulver abgelöscht 0,379	0,619	2,593	2,0	1,2	0,4	0,2	—	a nach $10^1/_2$ b $33^1/_2$ M.
		Zu Kalkteig abgelöscht	1,426							
13	Hydraulischer Kalk	0,488	0,803	2,448	10,0	4,4	1,0	0,4	0,2	a nach 48 M. b $1^1/_2$ Std.
	Siehe Analyse Seite 172									
14	Graukalk aus der Kalkbrennerei von Caspar Schütz zu Neuhof bei Saarlouis Analyse des Steins: H_2O + Organisches 0,02%, Unlösliches 0,38 „, Lösliches: SiO_2 12,01 „, Al_2O_3 3,62 „, Fe_2O_3 3,84 „, MnO_2 Spuren, $CaCO_3$ 45,16 „, $MgCO_3$ 35,19 „, 99,72%	0,409	0,717	2,383	7,0	—	1,8	0,5	0,3	a nach 25 M. b $1^1/_2$ Std.
		5 kg Stückkalk ergaben 6,48 kg bzw. 15,8 l	9,0 l Kalkpulver							
15	Schwarzkalk	0,572	0,940	2,601	—	11,0	11,0	6,4	4,0	a nach 4,5 M. b 2,5 Std.
	Siehe Analyse Seite 172	5 kg Stückkalk ergaben 11,4 l	7,31 Kalkpulver							

7	8	9								10	
Mörtelmischung der Festigkeitsproben (Wasseranspruch %)	Art der Erhärtung	Festigkeit: Zugfestigkeit in kg/qcm nach Tagen 7	28	60	90	Druckfestigkeit in kg/qcm nach Tagen 7	28	60	90	2 Liter Stückkalk in Walnussgrösse ergaben Kalkpulver eingelaufen l	eingerüttelt l
1 R.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (10,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 5,8	5 Tage Luft, dann Wasser	—	1,40	—	2,24	—	5,5	—	15,5		
1 R.-T. Kalkpulver + 4 „ Berl. Bausand (8,9 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil rund 1 : 13,3	Desgl.	—	2,19	—	3,83	—	3,7	—	7,6		
1 R.-T. Kalkteig + 6 „ Berl. Bausand (8,7 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 7,4	6 Tage Luft, dann Wasser	—	2,59	—	3,75	—	4,1	—	7,3		
1 R.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (10,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 4,8	An der Luft	—	5,14	8,45	8,52	—	11,4	14,5	20,9		
1 R.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (8,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 9,5	Desgl.	—	3,34	4,09	3,53	—	3,5	6,9	7,7		
1 R.-T. Kalkpulver + 2 „ Normalsand (10,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 5,5	8 Tage Luft, dann Wasser	—	2,4	3,6	—	—	9,3	14,0	—		
Desgl.	Nur Luft	—	3,1	5,5	—	—	16,7	22,1	—		
1 R.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (7,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 11,0	7 Tage Luft, dann Wasser	—	1,4	2,2	—	—	2,7	4,5	—		
Desgl.	Nur Luft	—	2,1	2,4	—	—	5,5	8,7	—		
1 R.-T. Kalkpulver + 2 „ Sand (7,5 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 4,6	An der Luft	6 Wochen 4,4	10 Wochen 4,2	—	—	6 Wochen 13,1	10 Wochen 17,8				
Desgl.	9 Tage Luft, dann Wasser	Die nach 9 Tagen Luftlagerung unter Wasser gesetzten Proben wurden nach 2 Tagen rissig und zerfielen									

1	2	3		4	5					6	7	8	9								10	
Nr.	Bezeichnung bzw. Ursprung der Kalke	Gewicht für 1 Liter eingelaufen kg	Gewicht für 1 Liter eingerüttelt kg	Spezifisches Gewicht des geglühten Kalkpulvers	Mehlfeinheit bzw. Korngrösse: Rückstand in % auf den Sieben mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm 5000	2500	900	600	324	Löschbeginn nach Minuten: a Löschdauer: b	Mörtelmischung der Festigkeitsproben (Wasseranspruch %)	Art der Erhärtung	Festigkeit in kg/qcm nach Tagen: Zugfestigkeit 7	28	60	90	Druckfestigkeit 7	28	60	90	2 Liter Stückkalk in Walnussgrösse ergaben Kalkpulver eingelaufen l	eingerüttelt l
16	Hydraulischer Kalk	0,407	0,735	2,347	4,0	—	2,0	—	1,4	a nach 1 M. b 16 M.	1 R.-T. Kalkpulver + 5 „ Mauersand (6,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 15,6	7 Tage Luft, dann Wasser	14 Tage alt 2,1	1,8	—	5,4	14 Tage alt 5,8	5,9	—	12,6		
											1 R.-T. Kalkpulver + 8 „ Mauersand (5 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 25,0	Nur Luft	1,9	3,2	—	1,9	5,5	6,8	—	6,1		
17	Wasserkalk aus der Fabrik der Firma Arminius Bierbrauerei und Kalkwerke, G. m. b. H. zu Kohlstädt-Lippe *Siehe Analyse Seite 172*	Zu Kalkteig abgelöscht — Mauersand 1,476	1,324 1,755	3,167	—	—	—	—	—	a nach 5 M. b 11 M. Der Kalk wurde zu Teig abgelöscht	1 R.-T. Kalkteig + 3 „ Normalsand Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 3,5	7 Tage Luft, dann Wasser	—	2,7	5,9	6,2	—	8,3	19,7	21,9		
											Desgl.	Nur Luft	—	3,4	5,0	5,2	—	6,3	9,6	10,8		
											1 R.-T. Kalkteig + 3 „ Mauersand Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 3,7	Desgl.	—	4,7	—	—	—	10,6	—	—		
18	Wasserkalk aus dem Kalkwerk Geseke v. Franz Gröne zu Wiedenbrück in Westfalen *Siehe Analyse Seite 172*	0,485 5 kg Stückkalk ergaben mit 47 % Wasser 13,5 l Kalkpulver	0,840 9,0 l	2,469 lufttrocken	13,0	—	2,2	2,0	0,5	a nach 2 M. b 8 M.	1 R.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (7,5 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 9,3	5 Tage Luft, dann Wasser	—	2,6	4,9	6,2	—	4,3	9,9	14,1		
											Desgl.	Nur Luft	—	3,9	6,6	6,3	—	6,4	12,6	16,7		
19	Dolomitkalk aus d. Dolomitgebirge und Kalkwerk Bärenstein, Gemeinde Büsbach bei Stolberg (Rheinland) *Siehe Analyse Seite 172*	0,427	0,658	2,215	18,0	10,0	8,0	2,0	1,0	a nach 3 M. b 8 M.	1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (13,75 %)	Desgl.	—	7,05	—	10,45	—	30,2	—	52,0	5,1	3,3
											1 G.-T. Kalkpulver + 5 „ Normalsand (11,75 %)	Desgl.	—	5,53	—	6,73	—	24,7	—	38,3		

1	2	3		4	5					6
Nr.	Bezeichnung bzw. Ursprung der Kalke	Gewicht für 1 Liter		Spezifisches Gewicht	Mahlfeinheit bzw. Korngrösse					Glühverlust
		eingelaufen	eingerüttelt		Rückstand in % auf den Sieben mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm					
		kg	kg		5000	2000	900	600	324	%
20	Zementkalk aus dem in der Unterrisdorfer Flur belegenen Zementkalkwerk von Buschau & Rath zu Eisleben	ungelöschtes Zementkalkpulver 0,980 zu Kalkteig abgelöscht	1,414 1,507	2,294	42,0	36,0	23,0	14,0	7,0	—
21	Hydraulischer Kalk aus dem hydraulischen und Natur-Kalkwerk von Xenellery	0,632	1,067	2,516	14,0	6,0	0,3	0,0	—	16,9
22	Hydraulischer Kalk	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23	Hydraulischer Kalk	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	Zementkalk aus der Zementfabrik F. A. Robert Müller & Co. zu Schönebeck a. d. Elbe	0,494	0,865	2,483	5,0	3,8	0,0	—	—	16,8
25	Hydraulischer Kalk	0,775	1,315	2,615	30,0	23,0	17,0	14,0	12,0	15,04
26	Dolomitkalk	0,413	0,714	2,177	17,0	13,0	2,6	1,0	0,6	27,49

7	8	9								10
Mörtelmischung der Festigkeitsproben (Wasseranspruch %)	Art der Erhärtung	Festigkeit								Bemerkungen
		Zugfestigkeit				Druckfestigkeit				
		in kg/qcm nach Tagen								
		7	28	60	90	7	28	60	90	
1 R.-T. Kalkteig + 2 „ Normalsand (11,1 %)	3 Tage Luft, dann Wasser	— —	2,21	3,85	4,70	— —	16,1	24,5	31,1	Der Kalk wurde durch Zusatz von Wasser zu Kalkteig angemacht
Desgl.	Nur Luft	—	3,70	4,95	5,75	—	19,5	29,6	36,1	
1 R.-T. Kalkteig + 3 „ Normalsand (8,7 %)	3 Tage Luft, dann Wasser	—	2,14	2,53	3,27	—	9,7	14,8	19,4	
Desgl.	Nur Luft	—	3,63	4,22	4,65	—	13,0	19,2	24,8	
1 R.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (10,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 4,5	1 Tag Luft, dann Wasser	2,4	4,3	—	—	2,4	6,6	—	—	
1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (10,0 %)	Nur Luft	—	2,38	—	—	—	14,2	—	—	
Desgl.	1 Tag Luft, dann Wasser	—	1,74	—	—	—	12,0	—	—	
1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (12 %)	1 Tag Luft, dann Wasser	Die nach 1 Tag Lufterhärtung unter Wasser gesetzten Proben trieben u. wurden völlig rissig								
Desgl.	Nur Luft	—	6,6	—	—	—	31,0	—	—	
1 R.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (9,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 8,4	1 Tag Luft, dann Wasser	—	2,63	—	5,9	—	7,1	—	17,8	
Desgl.	Nur Luft	—	2,62	—	4,8	—	11,6	—	23,2	
1 R.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (10 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 4,4	4 Tage Luft, dann Wasser	0,52	1,63	—	—	1,9	4,7	—	—	Auf dem 60-Maschensieb blieb noch ein Rückstand von 4 %
1 R.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (10,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 8,2	An der Luft	—	2,58	3,29	—	—	7,0	10,6	—	Der z. T. noch ungelöschte Kalk wurde nachträglich gänzlich zu Pulver abgelöscht
Desgl.	An der Luft, jedoch alle 5 Tage 15 Minuten unter Wasser getaucht	—	—	5,62	—	—	—	16,0	—	

1	2	3		4	5					6
Nr.	Bezeichnung bzw. Ursprung der Kalke	Gewicht für 1 Liter eingelaufen kg	Gewicht für 1 Liter eingerüttelt kg	Spezifisches Gewicht	Mahlfeinheit bzw. Korngrösse: Rückstand in % auf den Sieben mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm 5000	2500	900	600	324	Glühverlust %
27	Kalk aus Kalkwerk von Gustav Kruse, Dampfziegelei und Zementfabrik Lawaldau zu Grünberg i. Schl. *Siehe Analyse Seite 174*	0,706	1,181	2,724	22,0	19,0	11,0	7,0	5,0	17,58
28	Hydraulischer Kalk aus den Beocsiner Zementfabriken „Union", Redlich, Ohrenstein & Spitzer zu Beocsin in Ungarn *Siehe Analyse Seite 174*	0,771	1,236	2,693	31,0	27,0	6,0	2,4	0,4	17,28
29	Hydraulischer Kalk aus Grozeski in Rumänien *Siehe Analyse Seite 174*	0,819	1,336	2,695	26,0	22,0	11,0	8,0	6,0	9,35
30	Zementkalk aus dem Kalkwerk von F. H. Bösche, Ermslebener Kalkwerk zu Magdeburg	0,710	1,288	—	—	—	—	—	—	—
31	Zementkalk aus dem Kalkwerk von F. H. Bösche, Ermslebener Kalkwerk zu Magdeburg	0,789	1,281	—	—	—	—	—	—	—
32	Zementkalk	0,933	1,377	2,860 bei 98° getrocknet	45,0	—	35,0	30,0	28,0	18,97

7	8	9								10
Mörtelmischung der Festigkeitsproben (Wasseranspruch %)	Art der Erhärtung	Festigkeit in kg/qcm nach Tagen: Zugfestigkeit 7	Zugfestigkeit 28	Zugfestigkeit 60	Zugfestigkeit 90	Druckfestigkeit 7	Druckfestigkeit 28	Druckfestigkeit 60	Druckfestigkeit 90	Bemerkungen
1 R.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (11,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 4,9	5 Tage Luft, dann Wasser	—	1,67	3,08	3,40	—	7,1	11,2	13,7	Das z. T. noch ungelöschte Kalkpulver wurde weiter abgelöscht.
Desgl.	Nur Luft	—	5,7	5,6	5,8	—	20,0	26,6	33,2	
Desgl.	An der Luft, jedoch vom 6. Tage ab alle 5 Tage einmal mit Wasser angefeuchtet	—	—	—	10,8	—	—	—	38,2	
1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (12,0 %)	1 Tag Luft, dann Wasser	11,5	16,8	—	—	64,6	107,3	—	—	
1 R.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (10,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 4,3	3 Tage Luft, dann Wasser	5,9	2,9	—	Die Körper waren völlig aufgeweicht	24,8	14,6	—	Die Körper waren völlig aufgeweicht	
		Der auffallende Rückgang in der Festigkeit bis zum völligen Aufweichen der Proben veranlasste eine Analyse, welche ergab, dass das Material ein Gemisch aus Gips, Kalkstein und Schlacke war, welches infolge des Gipsgehalts anfänglich stark anzog und abband, bei längerem Lagern in Wasser jedoch zerfiel.								
1 R.-T. Zementkalk + 2 „ Normalsand (12,2 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 3,1	An der Luft	—	8,1	—	—	—	49,3	—	—	
1 R.-T. Zementkalk + 2 „ Normalsand (12,2 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 3,0	3 Tage Luft, dann Wasser	—	12,0	—	—	—	89,5	—	—	
Desgl.	Nur Luft	—	7,7	—	—	—	41,8	—	—	
1 R.-T. Kalkpulver + 7 „ Berl. Mauersand (5,3 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 10,4	An der Luft	4,1	5,9	—	—	10,7	20,0	—	—	Auf dem 60-Maschensieb blieb noch ein Rückstand von 8,6 %
1 R.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (9,3 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 5,4	7 Tage Luft, dann Wasser	0,7	2,1	—	—	3,6	10,4	—	—	
Desgl.	Nur Luft	2,2	4,0	—	—	9,9	19,7	—	—	

1	2	3		4	5					6
Nr.	Bezeichnung bzw. Ursprung der Kalke	Gewicht für 1 Liter eingelaufen kg	Gewicht für 1 Liter eingerüttelt kg	Spezifisches Gewicht	Mahlfeinheit bzw. Korngrösse: Rückstand in % auf den Sieben mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm 5000	2500	900	600	324	Glühverlust %
33	Kalk aus dem Zementkalkwerk von F. Keller zu Atzendorf	0,849	1,275	2,886 bei 98° getrocknet	22,0	—	7,0	3,8	2,9	4,89
34	Schwarzkalk (Lothringer Kalk) aus der Fabrik von A. Sallerin zu Les Bordes bei Metz *Siehe Analyse Seite 174*	0,717	1,111	2,614 bei 98° getrocknet	38,0	—	24,0	21,0	19,0	27,21
					Auf dem 60-Maschensieb blieb noch ein Rückstand von 2,7 %.					
35	Schwarzkalk (Pfälzer Kalk) aus der Fabrik von Weber & Co. zu Blickweiler i. d. Pfalz *Siehe Analyse Seite 174*	0,643	1,046	2,454 bei 98° getrocknet	24,0	—	6,5	4 0	2,3	21,40
					Auf dem 60-Maschensieb blieb noch ein Rückstand von 0,4 %.					
36	Sackkalk aus dem Kalkwerk von J. Johannes zu Diesdorf i. Lothringen *Siehe Analyse Seite 174*	0,825	1,268	2,703	30,0	—	14,0	12,0	8,0	12,77
					Auf dem 120-Maschensieb blieb noch ein Rückstand von 0,6 %.					
37	Zementkalk aus den Osterwicker Zementkalk- und Kalkwerken, Zickfeld, Herbst & Sohnekind zu Osterwick a. Harz *Siehe Analyse Seite 174*	0,863	1,384	3,061	12,0	—	2,0	1,7	0,4	4,87
38	Hydraulischer Kalk	0,942	1,548	—	12,0	—	0,4	0,2	0,0	—

7	8	9								10
Mörtelmischung der Festigkeitsproben (Wasseranspruch %)	Art der Erhärtung	Festigkeit in kg/qcm nach Tagen: Zugfestigkeit 7	28	60	90	Druckfestigkeit 7	28	60	90	Bemerkungen
1 R.-T. Kalkpulver + 7 „ Berl. Mauersand (8,2 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 11,3	An der Luft	—	3,8	5,9	—	—	6,0	15,7	—	
1 R.-T. Kalkpulver + 5 „ Elbsand (7,8 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 8,2	An der Luft	2,3	5,0	—	—	8,6	18,7	—	—	
1 R.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (8,7 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 5,8	3 Tage Luft, dann Wasser	1,1	3,1	—	—	4,7	11,1	—	—	
Desgl.	Nur Luft	2,9	5,4	—	—	7,2	17,3	—	—	
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 l Kalkpulver = 9,14 kg ergaben 9,7 l abgebundenen Kalkbrei mit 14,9 kg Gewicht
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	10 l Kalkpulver (= 8,415 kg) ergaben 9,1 l festen Kalkbrei mit 13,58 kg Gewicht
1 R.-T. Kalkpulver + 2 „ **Schlackensand** (15,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 2,3	3 Tage Luft, dann Wasser	—	**21,2**	—	—	—	**103,8**	—	—	5 l Kalkpulver eingelaufen ergaben 3,7 l, eingerüttelt 5,6 l Kalkbrei
Desgl.	Nur Luft	—	**22,8**	—	—	—	**101,8**	—	—	
1 R.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (22,0 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 5,5	An der Luft	2,2	4,6	—	—	9,7	24,1	—	—	10 l Kalkpulver eingelaufen ergaben 14,5 l, eingerüttelt 24,4 l Kalkbrei
1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (10,0 %)	1 Tag Luft, dann Wasser	10,4	17,4	—	—	94 2	144,0	—	—	

1	2	3		4	5					6
Nr.	Bezeichnung bzw. Ursprung der Kalke	Gewicht für 1 Liter		Spezifisches Gewicht	Mahlfeinheit bzw. Korngrösse					Glühverlust
		eingelaufen	eingerüttelt		Rückstand in % auf den Sieben mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm					
		kg	kg		5000	2500	900	600	324	%
39	Hydraulischer Kalk aus der Portland-Zementfabrik „Kronsberg“ zu Misburg bei Hannover	0,809	1,335	2,638 geglüht	31,0	—	7,5	6,5	2,6	18,20
40	Zementkalk aus dem Zementwerk zu Dt.-Eylau	0,591	1,029	—	11,0	—	4,0	3,7	2,2	—
41	Ungelöschter hydraulischer Kalk	0,836	1,313	2,913 getrocknet	12,1	—	0,2	0,0	—	11,80
42	Zementkalk aus dem Portland-Zementwerk Diedesheim-Neckarelz, Aktien-Gesellschaft zu Diedesheim-Neckarelz (Baden)	1,002	1,722	2,913	12,0	—	0,8	0,6	0,3	6,88
43	Zementkalk	0,804	1,338	2,817 2,721 getrocknet	21,0	—	11,0	9,0	5,0	10,57
44	Hydraulischer Kalk aus dem Kalkwerk Steudnitz bei Dornburg a. S. von Dr. M. Frenzel zu Steudnitz *Siehe Analyse Seite 174*	0,901	1,546	—	28,0	—	7,4	6,2	0,4	—
45	Hydraulischer Kalk von Rüdersdorf bei Berlin *Siehe Analyse Seite 174*	0,685 0,906 [1] erste Liefer. [2] zweite „	1,151 [1] 1,492 [2]	2,516 lufttrocken	16,0	—	0,8	0,5	0,2	20,06
46	a) Gemahlener „hydraulischer Meteorkalk“ von „Meteor“ A.-G. Geseker Kalk- und Portland-Zement-Werke, Geseke i. Westfalen	0,618	1,003	3,077 geglüht	16,77	—	0,6	1,5	0,5	11,62
	b) Gemahlener hydraulischer „Meteorkalk-Extra“	0,781	1,391	geglüht 3,125 angelief. 2,83	8,8	—	1,2	1,0	0,4	8,44

7	8	9								10
Mörtelmischung der Festigkeitsproben (Wasseranspruch %)	Art der Erhärtung	Festigkeit								Bemerkungen
		Zugfestigkeit				Druckfestigkeit				
		in kg/qcm nach Tagen								
		7	28	60	90	7	28	60	90	
1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (11,0 %)	1 Tag Luft, dann Wasser	7,3	11,7	—	—	48,7	75,0	—	—	
1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (12,25 %)	2 Tage Luft, dann Wasser	2,1	5,7	—	—	14,9	31,3	—	—	
Desgl.	Nur Luft	5,7	9,3	—	—	26,5	55,1	—	—	
1 R.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (8,5 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 5,7	6 Tage Luft, dann Wasser (Bei früherem Einsetzen in Wasser waren die Proben nicht beständig)	—	4,2	—	6,5	—	18,5	—	30,1	10 l Kalkpulver eingelaufen ergaben 8,7 l, eingerüttelt 15,6 l = 13,95 kg bezw. 23,84 kg
Desgl.	Nur Luft	—	4,9	5,6	—	—	20,6	—	30,1	
1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (9,5 %)	1 Tag Luft, dann Wasser	11,4	18,0	—	—	94,6	152,4	—	—	
1 R.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand (8,3 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 5,8	10 Tage Luft, dann Wasser	—	3,3	7,4	—	—	8,4	23,6	—	10 l Kalkpulver eingelaufen ergaben 11,1 l, eingerüttelt 19,5 l Kalkbrei
Desgl.	An der Luft	2,4	4,0	8,7	—	4,6	9,0	22,0	—	
1 R.-T. Kalkpulver + 8 „ Normalsand (5,84 %) Mischungsverhältnis in Gew.-Teil. rund 1 : 10,1	An der Luft, vom 2.-8. Tage einschliesslich täglich einmal angefeuchtet)	—	8,6	—	—	—	13,6	—	—	5 l Zementkalkpulver ergaben 13,40 l abgebundenen Kalkbrei 1 : 2,68
1/2 R.-T. **Zement** + 1/2 „ Kalkpulver + 3 „ Sand aus der Baugrube (9,5 %)	1 Tag Luft, dann unter feuchten Sand	**11,5**	**17,5**	—	**26,5**	**105,5**	**151,9**	—	**215,5**	
1 G.-T. Zementkalk + 3 „ Normalsand (10,5 %)	1 Tag Luft, dann Wasser	10,5	16,1	—	28,40	102,1	160,4	—	—	Erhärtungsanfang nach 35 Min.; Abbindezeit 6 5/6 Stdn. Erhärtungsanfang nach 2 3/4 Stdn. Abbindezeit 6 1/2 Stdn.
		Nach 6 Mon.: 35,10 kg „ 12 „ 36,70 „								
Desgl.	An der Luft	13,3	31,4	—	33,8	94	200	—	280	
1 G.-T. Meteorkalk-Extra + 3 „ Normalsand (10,25 %)	1 Tag Luft, dann Wasser	31,2	—	—	—	288	392	—	—	
		—	—	—	—	—	418	—	—	

1	2	3		4	5					6
Nr.	Bezeichnung bzw. Ursprung der Kalke	Gewicht für 1 Liter eingelaufen kg	Gewicht für 1 Liter eingerüttelt kg	Spezifisches Gewicht	Mahlfeinheit bzw. Korngrösse: Rückstand in % auf den Sieben mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm 5000	2500	900	600	324	Glühverlust %
47	„Germania"-Zementkalk der Portland-Zementfabrik „Germania" A.-G. in Lehrte bei Hannover *Siehe Analyse des Rohkalks bzw. Steins Seite 89 bzw. 174*	0,930	1,500	—	30,2	—	6,0	—	—	—
48	„Gloriakalk" der Bürener Portland-Zement-Werke A.-G. in Büren i. Westfalen *Siehe Analyse Seite 175*	0,870	1,484	2,804 luftfrocken	8,1	—	9,4	—	—	—
49	Natur-Zementkalk von Schenk & Vogel, Magdeburg-Förderstedt Ungedämpft *Siehe Analyse Seite 175*	0,805	1,374	3,090	20,0	—	9,0	5,0	3,0	4,25
50	Gemahlener Kalk vom Kalkwerk A.-G., Aschaffenburg *Siehe Analyse Seite 175*	0,562	0,937	—	—	—	—	—	—	—
51	Mühlbacher hydr. Sackkalk von der Roman-Zement-Fabrik Mühlbach Sigmund Löwensohn, Fürth (Bayern) *Siehe Analyse Seite 175*	0,515	0,864	—	—	—	—	—	—	—
52	Hydraulischer Kalk von Chaux hydrauliques du Pays d'Enhaut, La Chaudanne (Schweiz) *Siehe Analyse des Rohsteins Seite 175*	1,08	1,48	2,87	—	—	1,1	—	—	8,04

7	8	9								10
Mörtelmischung der Festigkeitsproben (Wasseranspruch %)	Art der Erhärtung	Festigkeit: Zugfestigkeit in kg/qcm nach Tagen 7	28	60	90	Druckfestigkeit in kg/qcm nach Tagen 7	28	60	90	Bemerkungen
1 G.-T. Zementkalk + 3 „ Normalsand (9,5 %)	1 Tag Luft, dann Wasser	10,2	17,5	—	—	72	112	—	—	Erhärtungsanfang nach 5 Stunden; Abbindezeit 12 Stunden
		Nach 3 Tagen: 7,7 kg				Nach 3 Tagen: 52 kg				
Desgl.	Nur Luft	13,4	14,9	—	—	91	126	—	—	
		Nach 3 Tagen: 10,2 kg				Nach 3 Tagen: 61 kg				
1 G.-T. Zementkalk + 3 „ Normalsand (9,5 %)	1 Tag Luft, dann Wasser	11,48	19,1	—	27,84	82,2	135,6	—	164,6	Erhärtungsanfang nach 3 Stunden; Abbindezeit 6 Stunden
Desgl.	Nur Luft	12,31	14,24	—	—	74,48	101,8	—	—	
		Die in des Verf. „Kalk und Mörtel" Seite 88 aufgeführten Zahlen sind älteren Datums und, wie ersichtlich, jetzt überholt.								
Desgl.	3 Tage Luft, dann Wasser	—	18,6	—	—	—	152	—	—	Erhärtungsanfang nach $5^3/_4$ Stunden; Abbindezeit 12 Stunden
	Nur Luft	16,2	20,4	—	22,0	138	190	—	225	
1 R.-T. Kalkpulver + 4 „ Normalsand	Im feuchten Raum an der Luft	3,3	7,1	—	—	6,1	26,2	—	—	10 l Kalkpulver eingelaufen ergaben nach 12 Stunden Lagerung 10 l, eingerüttelt 17,3 l Kalkbrei, also 1 : 1 bezw. 1 : 1,73
	5 Tage im feuchten Raum an der Luft, dann Wasser	1,7	6,3	—	—	3,8	20,5	—	—	
1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (12,5 %)	Luft	—	4,0	—	—	—	13,2	—	—	
1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (14,0 %)	Desgl.	—	6,6	—	—	—	22,4	—	—	
Normalmörtel 1 : 3 (10,5 %)	Wasserlagerung	2,6	5,7	—	—	26,6	48,9	—	—	Erhärtungsanfang nach 6 Stunden; Abbindezeit 48 Stunden

1	2	3		4	5					6	7	8	9								10
Nr.	Bezeichnung bzw. Ursprung der Kalke	Gewicht für 1 Liter eingelaufen kg	Gewicht für 1 Liter eingerüttelt kg	Spezifisches Gewicht	Mahlfeinheit bzw. Korngrösse: Rückstand in % auf den Sieben mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm 5000	2500	900	600	324	Glühverlust %	Mörtelmischung der Festigkeitsproben (Wasseranspruch %)	Art der Erhärtung	Festigkeit: Zugfestigkeit in kg/qcm nach Tagen 7	28	60	90	Druckfestigkeit in kg/qcm nach Tagen 7	28	60	90	Bemerkungen
53	Zementkalk „Salder" der Braunschweiger Portland-Zementwerke, Salder — ungedämpft — *Siehe Analyse Seite 88*	0,758	1,362	2,873 im Anlieferungszustande	17,7	—	4,2	3,8	1,4	13,49	1 G.-T. Kalkpulver 3 „ Normalsand (13,0 %)	2 Tage Luft, dann Wasser	7,1	15,7	—	—	63	137	—	—	Erhärtungsanfang nach ½ Stunde; Abbindezeit 48 Stunden
54	Gemahlener hydraulischer Kalk von Kalkwerk Schulz G. m. b. H., Sötenich (Eifel) *Siehe Analyse Seite 175*	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand	Luft	—	9,9	11,2	12,0	—	76	94	93	
55	Dolomit-Zement der Braunsdorfer Dolomit-Zement-Kalkwerke, vormals F. Krumbiegel, G. m. b. H., Braunsdorf bei Tharandt (Königreich Sachsen) *Siehe Analyse Seite 175*	—	—	—	—	—	0,0	—	—	—	1 G.-T. Dolomitzement + 3 „ Normalsand (11,9)	An der Luft	—	—	—	—	—	89,0	125,7	133,0	Der Mörtelbrei begann nach 8 Minuten einzuziehen und band in 37 Minuten ab
												Desgl.	3,52	6,18	—	—	50,7	100	—	171	
												Desgl.	7 Tage Luft, dann Wasser	—	—	—	—	—	—	171,5	—
56	Hydraulischer Kalk (SiO_2: 11,20 %, Al_2O_3—Fe_2O_3: 4,68 %, CaO: 59,42 %, $H_2O + CO_2$: 24,72 %.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1 T. Kalk + 3 „ Sand (15 %)	Lufterhärtung	—	3,2	—	—	—	16,0	—	—	Auffallend schlechte Festigkeiten, welche mit der Analyse nicht übereinstimmen, es sei denn, dass die Kieselsäure nicht hydraulisch, also Sand ist
												Wassererhärtung	—	0,9	—	—	—	4,0	—	—	
57	„Metropol-Kalk" der „Meteor" A.-G. Geseker Kalk- und Portland-Zement-Werke, Geseke i Westfalen	0,800	1,300	2,765 im Anlieferungszustande	22,1	—	1,2	1,0	0,4	13,46	1 G.-T. Kalkpulver 3 „ Sand	1 Tag Luft, dann Wasser	6,3	13,8	—	—	31	85	—	—	
58	„Tekelia-Extra" der d. Tecklenburger Kalk- u. Zementwerke G. m. b. H. zu Lengerich i. W.	1,007	1,729	—	9,6	—	0,4	0,02	0,0	—	1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (9,5 %)	1 Tag Luft, dann Wasser	16,8	20,5	—	—	212	268	—	—	Erhärtungsanfang nach 11 Minuten; Abbindezeit 5½ Stunden
59	„Gemahl. hydraulischer Kalk" derselben Firma	0,799	1,299	2,595 im Anlieferungszustande	16,0	—	3,8	3,6	1,4	18,66	1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (9,75 %	3 Tag Luft dann Wasser	5,4	7,9	—	—	45	73	—	—	Erhärtungsanfang nach 8 Stunden; Abbindezeit 48 Stunden

1	2	3		4	5					6
Nr.	Bezeichnung bzw. Ursprung der Kalke	Gewicht für 1 Liter		Spezifisches Gewicht	Mahlfeinheit bzw. Korngrösse					Glühverlust
		eingelaufen	eingerüttelt		Rückstand in % auf den Sieben mit der übergeschriebenen Anzahl Maschen für 1 qcm					
		kg	kg		5000	2500	900	600	324	%
60	Zementkalk, gedämpft, v. „Württenbergisches Portlandzementwerk zu Lauffen am Neckar“	—	—	—	—	—	—	—	—	—
61	Hydraulischer Kalk (Zementkalk) gedämpft von Zement- u. Kalkfabrik Weizen, J. Gäng, Weizen (Baden)	0,817	1,252	28,0	16,0	4,0	2,0	1,0	—	—
62	Vereinigte Süddeutsche Kalkwerke G. m. b. H., Bruchsal (Baden): Hydraulischer Kalk, gedämpft, von N. Hessler, Neuenheim-Heidelberg Dieselben: Hydr. Kalk - gedämpft - von E. u. C. Pasquay, Wasseln im Elsass	0,547	0,884	—	—	—	—	—	—	—
63	Hydraulischer Kalk von „Vereinigte Nussloch-Malcher Kalkwerke N. Hessler, Neuenheim“ gegenüber Heidelberg.	0,582	0,862	—	—	—	—	—	—	—

7	8	9								10
Mörtelmischung der Festigkeitsproben (Wasseranspruch %)	Art der Erhärtung	Festigkeit								Bemerkungen
		Zugfestigkeit				Druckfestigkeit				
		in kg/qcm nach Tagen								
		7	28	60	90	7	28	60	90	
1 G.-T. Zementkalk + 3 „ Normalsand (10 %)	in feuchter Luft	12,4	17,7	—	—	79,4	99,3	—	—	
1 G.-T. Zementkalk + 5 „ Normalsand (7,8 %)	in feuchter Luft	9,9	11,4	—	—	38,0	54,2	—	—	
1 G.-T. Zementkalk + 10 „ Normalsand (5,1 %)	in feuchter Luft	5,9	7,2	—	—	18,0	24,0	—	—	
1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (11 %)	an der freien Luft	—	—	—	—	64,2	71,7	—	—	
Desgl.	1 Tag Luft, dann in feucht. Raum	—	—	—	—	55,4	70,4	—	—	
Desgl.	1 Tag Luft, dann abwechs je 1 Tag Wasser und 1 Tag Luft	—	—	—	—	41,1	70,4	—	—	
1 G.-T. Kalkmehl + 3 „ Normalsand 13,5 %	An der Luft	—	8,75	—	—	—	50	— n. 84 Tag.	— nach 1 Jahr	
1 G.-T. Kalk + 6 „ Betonkies	die ersten 8 Tage Luft, dann in feucht. Sand	—	—	—	—	—	19,1	50,6	97,0	
1 G.-T. Kalk + 7 „ Betonkies		—	—	—	—	—	21,3	56,6	76,0	
1 G.-T. Kalk + 12 „ Betonkies		—	—	—	—	—	16,0	39,9	71,0	
1 G.-T. Kalkpulver + 3 „ Normalsand (12½ %)	An der Luft	6,4	7,65	—	—	—	38,5	—	—	Abbindezeit 11 Stunden
Desgl.	1 Tag Luft, dann Wasser	3,1	12,15	—	—	—	56,0	—	—	

Ergebnisse der Prüfung auf Mörtel- bzw. Betonergiebigkeit, von Mörteln

Mischung der trockenen Mörtelbestandteile nach											
Raumteilen [1])						Gewichtsteilen					
Zement	Kalkpulver	Trass	Sand (Baugrube)	Sand geliefert	Kies	Zement	Kalkgruben	Trass	Sand (Baugrube)	Sand geliefert	Kies
l	l	l	l	l	l	kg	kg	kg	kg	kg	kg
1	—	—	3	—	—	1,568	—	—	3,510	—	—
1	—	—	—	3	—	1,568	—	—	—	4,023	—
1/2	1/2	—	3	—	—	0,784	0,459	—	3,510	—	—
1/2	1/2	—	—	3	—	0,784	0,459	—	—	4,023	—
1/2	1/2	1/2	4	—	—	0,784	0,459	0,544	4,680	—	—
1/2	1/2	1/2	—	4	—	0,784	0,459	0,544	—	5,364	—
—	2 1/2	3	4	—	—	—	2,295	3,264	4,680	—	—
—	2 1/2	3	—	4	—	—	2,295	3,264	—	5,364	—
1/2	1/2	—	3	—	5	0,784	0,459	—	3,510	—	7,065
1/2	1/2	—	—	3	5	0,784	0,459	—	—	4,023	7,065

1) Für die Umrechnung der Mischungen von Raumteilen in Gewichtsteilen wurden für den Zement, das Kalkpulver und das Trassmehl das arithmetische Mittel aus den Gewichten des lose eingelaufenen und fest eingerüttelten Liters, für den Sand und den Kies das Gewicht des eingefüllten Liters zugrunde gelegt und zwar wurden an Stelle eines Liters verarbeitet:

für den Zement . . 1,568 Kilo.
„ das Kalkpulver . 0,918 „
„ „ Trassmehl . 1,088 „
für den Sand (Baugrube) 1,170 Kilo.
„ „ „ (geliefert) 1,341 „
„ „ Kies . . . . . 1,413 „

Das verwirrende Durcheinander in der Benennung, wie wir solche bei dem Weissfettkalk antreffen, findet sich also nach den gleich folgenden Tabellen auch bei den Wasser- oder hydraulischen Kalken. Vielfach gibt der Fundort den Namen her, wie Beckum, Lengerich, Geseke, Künsebeck, Sötenich, Mühlbach usw. Mitunter hat die Farbe Pate gestanden, und so begegnen wir einem Graukalk oder Schwarzkalk. Hier setzen schon Irrtümer und Missverständnisse ein. Denn z. B. im Rheinland, Bayerisch-Unterfranken, strichweise auch in Sachsen usw. versteht man unter diesen Kalken stark magnesiahaltige sog. Dolomitkalke, während, wie die vorstehenden Analysen Nr. 34 und 35 zeigen, in Lothringen und der Pfalz solche „Schwarzkalke“ ausgesprochen hydraulische Marken ohne nennenswerte Mengen von MgO sind. Ebenso ist der Dornburger Graukalk aus Thüringen mit seinem unwesentlichen Gehalt an Magnesia ein Wasserkalk. Dann treten Namen auf wie Wasserkalk, hydraulischer Kalk, Sackkalk, Naturzementkalk, Portland-Zementkalk, Zementkalk, letztere Bezeichnung oft mit einem Zusatz wie Monopol, Gloria, Meteor, Germania, Tekelia-Extra usw.

aus Rüdersdorfer Kalk, Portland Zemente, Trassmehl, Sand und Kies.

Wasserzusatz für erdfeuchten Mörtel		Gesamtmenge der Mörtelbestandteile G	Gewicht für 1 Liter Mörtel eingestampft Sm	Rauminhalt des gewonnenen Materials M	Ergiebigkeit $E = \frac{M}{1+n}$
W_n	% der Trocken-Mischung				
kg		kg	kg	l	
0,508	10,0	5,586	2,165	2,585	0,646
0,503	9,0	6,094	2,260	2,670	0,668
0,452	9,5	5,105	2,149	2,375	0,594
0,500	9 5	5,766	2,213	2,606	0,652
0,679	10,5	7,146	2,092	3,416	0,621
0,715	10,0	7,866	2,168	3,628	0,660
1,911	17,0	13,150	1,888	6,965	0,733
1,748	16,0	12,761	1,916	6,613	0,696
0,452 0,177	9,5 2,5 [2])	12,457	2,138	5,826	0,636
0,500 0,177	9,5 2,5 [2])	13,008	2,131	6,104	0,678

2) Wassermenge, die zur Anfeuchtung des Kieses erforderlich war.

Vom wissenschaftlich-technischen Standpunkt aus wird man die Wasserkalke in drei Klassen, wie später eingehender erörtert werden soll, einteilen können, und zwar in 1. schwach- oder leichthydraulische, 2. in mittelhydraulische und 3. in stark- oder schwerhydraulische Kalke.

In der Praxis ist diese Benennung etwas umständlich. Es ist hier und da Gepflogenheit geworden, den schwachhydraulischen Stückkalk einfach „Wasserkalk“ zu nennen, während die Sackkalke von leicht- oder mittelhydraulischem Charakter als „gemahlene hydraulische Kalke“ angesprochen werden. Die schwerhydraulischen Marken segeln gewöhnlich unter der immerhin etwas flatternden Flagge „Zementkalk“. Es ist ja allerdings richtig, dass sie manches mit dem Zement gemein haben und, als auf der Grenze zwischen Kalk und Zement stehend, „Grenzkalke“ sind.

Will man die Bezeichnung „Zementkalk“ umgehen, so schlage ich vor, die starkhydraulischen Kalke „Hartkalke“ zu benennen, etwa mit einem Zusatz wie Tekelia, Gloria, Meteor usw., und ferner mit der Angabe, ob sie vorher gedämpft oder ungedämpft sind. Die mittel- und leichthydraulischen Sackkalke dürften als „gemahlene hydraulische Kalke“ im Handel geführt werden und den Stückkalken der Name „Wasserkalk“ zukommen.

Damit wäre die Frage nach Benennung und Klassifikation der Wasser- oder hydraulischen Kalke, soweit solche als Handelsware auf den Markt kommen, beantwortet*).

*) Seipp, Leitfaden der Baustofflehre (Leipzig 1907) teilt die gebrauchsfertigen

	1	2	8		13	15	17	18	19
Bezeichnung bzw. Ursprung des Kalkes	Trierer Kalk	Beckumer Wasserkalk	Sütenicher Wasserkalk		Kalk aus Sachsen	Schwarzkalk aus der Pfalz	Wasserkalk von Kohlstädt-Lippe	Geseker Wasserkalk	Bärensteiner Dolomitkalk (Graukalk)
Kieselsäure	—	—	8,66	—	2,02	3,25	12,60	18,01	—
	(4,05)	(14,48)	—	—	(2,40)	(4,07)	(12,83)	(21,11)	(0,18)
Eisenoxyd und Tonerde .	—	—	4,56	18,90	6,26	4,65	1,20	4,29	—
	(2,98)	(6,84)	—	—	(7,43)	(5,82)	(1,22)	(5,03)	(0,86)
Kalk	—	—	83,22	75,95	47,46	43,71	83,40	62,63	—
	(56,01)	(78,12)	—	—	(56,33)	(54,69)	(84,93)	(72,96)	(57,80)
Magnesia	—	—	1,81	2,45	28,40	26,97	0,18	0,31	—
	—	(0,56)	—	—	(33,71	(33,75)	(0,18)	(0,36)	(39,97)
Schwefelsäure	—	—	—	0,38	0,27	0,36	0,43	0,20	—
	—	—	—	—	(0,32)	(0,45)	(0,44)	(0,24)	—
Unaufgeschlossener Rück-	—	—	—	—	—	—	—	—	—
stand (Unlösliches) . .	—	—	—	—	—	—	—	—	(1,19)
Glühverlust	—	—	1,69	1,65	18,68	20,09	9,80	17,24	—
	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Rest (Alkalien)	—	—	—	—	—	Mangan-	0,39	0,26	—
	—	—	—	—	—	verbindg.	(0,40)	(0,30)	—

Die in Klammern stehende Zahlen beziehen sich auf den Kalk im ausgeglühten, d. h. im wasser- und kohlensäurefreien Zustand. — Man beachte noch die Analysen in Kapitel II.

Wenn wir jetzt einen Blick auf die beigegebenen Tabellen werfen, so fällt die ausserordentliche Verschiedenheit des Umfangs und der Anordnung der Untersuchungen auf, sowohl hinsichtlich der Mischungsarten und Altersklassen, als auch des Mischungsverhältnisses der Mörtelbestandteile. Dieses Wechseln ist naturgemäss begründet in dem Wunsche der jeweiligen Antragsteller, welche die Prüfung eines Kalkes durch das Amt — sei es aus dem oder dem Grunde oder zu diesem oder jenem Zweck — verlangten. Infolgedessen ist ein Vergleich der verschiedenen Kalke sehr erschwert; jedenfalls hüte man sich vor oberflächlichen oder falschen Schlussfolgerungen.

Aus den Originaltabellen ist ferner ersichtlich die auffallend grosse Verschiedenheit

1. der Löschergiebigkeit: 2 Liter Stückkalk, zu Pulver abgelöscht, geben 3,9—5,9 Liter eingelaufenes, 2,5—3,7 Liter eingerütteltes Mass;

2. der Raumgewichte (Litergewichte): Sie schwanken für 1 Liter des aus dem Stückkalk gelöschten Pulvers zwischen 0,650—0,850 Kilo eingelaufen und 1,000—1,500 Kilo eingerüttelt;

3. des Wasseranspruchs;

Wasserkalkmörtel in solche mit freiem Ätzkalk (Wasserkalkmörtel, Mörtel aus Romanzement, dolomitische hydraulische Mörtel, Mörtel mit hydraulischen Zuschlägen Puzzolane, Santorinerde, Trass, Schlackensand usw.) und solche ohne freien Ätzkalk (Zementmörtel) ein.

Festigkeit für den Mörtel aus einem Raumteil Kalkpulver und drei Raumteilen Normalsand.

Kalk-Nr. der Tabellen:	28 alte Proben						90 Tage alte Proben					
	Wasserlagerung			Luftlagerung			Wasserlagerung			Luftlagerung		
	Druck	Zug	Verhältnis Zug/Druck	Druck	Zug	Verhältnis Zug/Druck	Druck	Zug	Verhältnis Zug/Druck	Druck	Zug	Verhältnis Zug/Druck
11	1,7	1,57	1/1,1	5,6	1,83	1/3,1	1,9	1,24	1/1,5	7,1	2,00	1/3,6
25	4,7	1,63	1/2,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	6,6	4,3	1/1,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
24	7,1	2,63	1/2,7	11,6	2,62	1/4,4	17,8	5,9	1/3,0	23,2	4,8	1/4,8
27	7,1	1,67	1/4,3	20,0	5,7	1/3,5	13,7	3,41	1/4,0	33,2	5,8	1/5,7
9	12,8	3,26	1/3,9	24,5	7,90	1/3,1	11,2	3,62	1/3,1	20,1	4,65	1/4,3
—	19,3	4,8	1/4,0	—	—	—	43,1	8,0	1/5,4	—	—	—
—	20,2	3,78	1/5,3	23,6	3,79	1/6,2	43,8	6,50	1/6,7	—	—	—

Vorstehende acht Kalke sind nach steigender Druckfestigkeit eingeordnet.

4. der chemischen Zusammensetzung, wie dies übrigens ja schon früher an vielen Stellen hervorgehoben wurde;

5. der Festigkeitsergebnisse, wenn die für Zug- und Druckfestigkeit ermittelten untereinander abweichenden Zahlen auch zum grösseren Teile den verschiedenen Bedingungen, unter denen die Probekörper angefertigt wurden, zuzuschreiben sind. Hervorzuheben ist übrigens, dass die Kalke chronologisch in der Reihenfolge ihres Eingangs von dem Verfasser der sehr lesenswerten und mit grossem Fleiss und Verständnis geschriebenen Abhandlung in den Mitteilungen aus den Technischen Versuchsanstalten, H. Burchartz, geordnet sind*). Insofern darf dies nicht verschwiegen werden, als manche Kalke verschiedener Werke im Laufe der Zeit — sei es infolge besseren Rohmaterials oder sei es verbesserter Aufbereitung — besser geworden sind und befriedigendere Ergebnisse liefern, wie ich dies schon in den Tabellen ad Nr. 48 „Bürener Gloriakalk" nachtrug. Hierzu sei noch hinzugefügt, dass die ersten Untersuchungen dieser Art aus dem Jahre 1885 stammen, dass man also erst seit einem knappen Vierteljahrhundert es für der Mühe wert gehalten hat, auch den Kalken die nötige Aufmerksamkeit zu schenken.

Um auf die Festigkeitsergebnisse zurückzukommen: Es wurden also ver-

*) Ich habe die Kalke geschieden in Stück- und Sackkalke, welche dann aber ebenfalls historisch nach dem Datum der Prüfung eingeordnet sind.

Bezeichnung, bzw. Ursprung des Kalkes (zu den vorstehenden Tabellen gehörend)	27	28	29	34	35	36	37	44	45	
	Kalk aus Schlesien	Hydraulischer Kalk aus Beocsin (Ungarn)	Hydraulischer Kalk aus Rumänien	Schwarzkalk aus Lothringen	Schwarzkalk aus der Pfalz	Sackkalk aus Lothringen	Zementkalk aus Osterwieck a. H.	Zementkalk von Steudnitz a. d. Saale	Rüdersdorfer hydraulischer Kalk aus den Jahren 1901	1902
Kieselsäure . . .	2,52	—	10,86	13,80	6,85	15,54	10,21	9,14	8,48	13,58
	(2,96)	(16,35)	—	(16,66)	(8,72)	(17,81)	(10,73)	—	(10,52)	(16,87)
Eisenoxyd u. Tonerde	2,27	—	2,51	7,83	3,92	8,37	3,84	5,04	5,62	7,28
	(2,67)	10,09	—	(9,45)	(4,99)	(9,59)	(4,04)	—	(6,97)	(9,02)
Kalk	47,20	—	42,96	53,83	56,83	56,53	78,83	74,91	58,10	57,00
	(55,50)	(68,99)	hiervon 17,84% an 25,48% SO_3 gebunden	(65,01)	(72,30)	(64,81)	(81,81)	—	(72,06)	(70,80)
Magnesia	28,00	—	0,65	1,22	4,87	1,24	0,80	4,70	0,89	1,49
	(32,92)	(2,41)	—	(1,47)	(6,20	(1,42)	(0,84)	—	(1,10)	(1,85)
Schwefelsäure . .	0,87	—	25,48	0,62	0,78	1,14	1,33	—	1,23	1,06
	(1,02)	(1,82)	43,32% $CaSO_4$	(0,74)	(0,99)	(1,31)	(1,40)	—	(1,52)	(1,32)
Unaufgeschl. Rückst.	2,14	—	—	5,83	4,88	4,16	—	0,65	7,70	—
(Unlösliches)	(3,52)	(0,53)	—	(7,02)	(6,21)	(5,11)	—	—	(5,83)	—
Glühverlust . . .	17,58	—	CO_2 : 7,65 H_2O : 5,70	17,21	21,40	12,77	4,87	H_2O : 1,93 CO_2 : 0,40	19,38	19,49
	—	—		—	—	—	—		—	—
Rest (Alkalien) . .	1,69	—	MnO_2 : 0,23 Alkal. : 3,85 C : 0,11	—	0,47	—	—	2,41	1,60	0,10
	(1,98)	—		—	(0,59)	—	—	—	(1,98)	(0,12)
	Mang.-Verbdgen.									

Anlage 1.

Analyse des zur Zementfabrikation verwendeten gebrannten Rohmaterials:

	Feuchtigkeit (Hydratwasser)	Kieselsäure und Sand	Eisenoxyd und Tonerde	Aetzkalk	Magnesia		
Probe I	2,97	16,24	6,74	71,56	1,04 =	98,55	Germania-Zementkalk von Lehrte (Hannover).
Probe II	1,25	20,01	7,46	69,00	0,95 =	98,67	

47	48	49	50	51	52	54		55	
Zementkalk von Lehrte (Hannover)	Gloriakalk von Büren (Westfalen)	Naturzementkalk aus Förderstedt bei Magdeburg	Aschaffenburger Schwarzkalk	Mühlbacher hydr. Sackkalk (Bayern)	Hydraul. Kalk aus der Schweiz	Gemahlener hydraul. Kalk von Kalkwerk Schulz G. m. b. H. Sötenich (Eifel) ältere Analyse	neuere Analyse	Braunsdorfer Dolomitzement	Bemerkungen
Siehe Anlage 1 auf Seite 174.	17,70	—	0,31	9,43	Siehe Anlage 2 auf dieser Seite.	13,37	23,37	13,70	Die in Klammern stehenden Zahlen beziehen sich auf den Kalk im ausgeglühten, d. h. im wasser- und kohlensäurefreien Zustand.
	—	(13,88)	—	—		—		—	
	9,12	—	4,52	7,29		7,39		5,68	
	—	(7,96)	—	—		—		—	
	53,50	—	45,67	63,83		56,41	58,30	49,58	
	—	(59,79)	—	—		—	—	—	
	1,13	—	27,48	2,01		1,56	1,87	25,18	
	—	(14,69)	—	—		—	—	—	
	—	—	—	0,57		1,02	1,03	Spuren	
	—	—	—	—		—	—	—	
	3,83	—	3,21	0,83		6,81	2,35	—	
	—	—	—	—		—	—	—	
	11,38	—	H_2O : 15,50 CO_2 : 1,59	H_2O : 13,40 CO_2 : 2,53		9,93	13,08	5,36	
	—	—				3,03		—	
	—	—	1,62	—		—	—	—	
	—	—	MnO_2	—		—	—	—	

Anlage 2.

Analyse des zur Fabrikation des gemahlenen hydraulischen Kalkes dienenden Mergels:

	Glühverlust	SiO_2	$Al_2O_3+Fe_2O_3$	CaO	MgO	SO_3	Alkalien (a. Diff.)	
Probe I	35,15	17,37	4,19	37,23	3,79	0,05	2,22	Hydraulischer Kalk aus der Schweiz.
Probe II	38,13	12,51	1,69	45,00	2,30	0,07	0,30	
Probe III	34,62	19,84	4,29	36,16	3,66	0,15	1,28	

schiedene Momente hervorgehoben, welche die verschiedenen Zahlen für Zug und Druck bedingten. Aber auch selbst bei gleichen Mischungsverhältnissen und gleicher Erhärtungsart und -dauer einer Anzahl von Wasserkalken weichen die Ergebnisse stark voneinander ab. Die ebenfalls aus der H. Burchartzschen Abhandlung entnommene Zusammenstellung auf Seite 173 zeigt dies.

Diese Zahlen sind zudem recht schwach, wenn auch höher, wie diejenigen für Weisskalk.

In der Praxis ferner sinken sie noch; denn auf der Baustelle wird der Mörtel „kellegerecht", d. h. mit weit mehr Wasser angemacht als die Probekörper in den Versuchsstationen, und erlangt, wenn ihm auch das Wasser bei und nach dem Vermauern entzogen wird, nie die Dichte wie der erdfeucht eingestampfte, mit möglichst geringem Wasserzusatz angemachte Laboratoriumsmörtel. Vergleichende Versuche mit erdfeuchten und mauergerechten Mörteln sind daher nach H. Burchartz in Aussicht genommen.

Weit höhere Festigkeitszahlen geben die 1 : 3, wenn auch nach Gewichtsteilen, bereiteten Mörtel der sogenannten Zementkalke wie die Nr. 46 „Meteor", Nr. 47 „Germania", Nr. 48 „Gloria", Nr. 58 Tekelia-Extra u. a. mit einer nach 28 Tagen erreichten Druckfestigkeit von etwa 110—170 Kilo und einer Zugfestigkeit von etwa 18—30 Kilo und einer Festigkeit nach 90 Tagen von etwa 160—230 Kilo für Druck und 28—40 Kilo für Zug.

Dass selbstverständlich Zuschläge von Schlackensand und Zement die Festigkeit erhöhen, geht aus den zum Vergleich mitaufgeführten Nr. 36 und 45 der Tabelle hervor. Das gleiche gilt für die Trasskalkmörtel.

In den Originaltabellen der H. Burchartzschen Abhandlung findet sich auch die Prüfung eines Kalkpulvers*) (sog. Graukalk), ohne Zusatz von Sand. Nach 28, 60 bzw. 90 Tagen war die Zugfestigkeit bei vorheriger 4 Tage langer Luft- und dann Wassererhärtung 12,3—19,3—18,6 Kilo, die Druckfestigkeit 60,5—101,1—124,6 Kilo, während die Probekörper aus Mörtel 1:3 bedeutend niedrigere Zahlen ergeben. Dieses überraschende Ergebnis, welches zudem zeigt, dass Wasserkalk auch ohne Sandzusatz unter Wasser erhärtet, ist jedoch nicht zu verallgemeinern. Im Gegenteil; für die schwächeren hydraulischen Kalke ist, ganz abgesehen von der Wohlfeilheit, der Sandzusatz als eine Verbesserung zu betrachten (Michaelis).

Auch Hauenschild betont die kaum nennenswerte Eigenfestigkeit der Wasserkalke. So gab seine Prüfung des berühmten Chaux du Theil (siehe Analysen auf Seite 44), ohne Sandzusatz, in der Zugfestigkeit nach 4 Monaten nur 4,2 Kilo, mit 3 Teilen Dolomitsand in derselben Zeit jedoch 7,9 Kilo. Daher bezeichnet man die Wasserkalke wie auch die Weisskalke im Gegensatz zu Zement als unselbständige Mörtel.

Der Verfasser machte schon in Kapitel III darauf aufmerksam, dass bei der Erhärtung neben der Höhe des Zuschlagmittels die Art des Materials, was Korngrösse, Beschaffenheit der Körner, Reinheit und endlich die chemische

---

*) Chemische Zusammensetzung:
SiO_2 18,47 %, Al_2O_3—Fe_2O_3 8,50 %, CaO 47,70 %—MgO 1,20 %, SO_3 0,68 %, unaufgeschlossener Rückstand 13,33 %, Glühverlust 9,64 % (hiervon hygroskopisches Wasser 0,17 %), Rest (Alkalien) 0,56 %.

Zusammensetzung anbetrifft, mitwirkt. Es ist selbstverständlich, dass — wie soeben gesagt — der hydraulische Trass, Zement und Schlackensand, ebenso Ziegelmehl und Feuerstein usw. bedeutend bessere Festigkeiten liefern, als der nur als Füllmasse wirkende Gruben- oder Steinsand.

Bei diesen geht neben dem ausschliesslich physikalischen Prozess, wie ihn der Kalksandmörtel zeigt, eine stark chemische Reaktion vor sich.

„Was den Einfluss der verschiedenen Erhärtungsweise (Wasser- oder Luftlagerung) auf die Festigkeitszunahme betrifft, so lassen sich aus den vorliegenden Ergebnissen keine zuverlässigen Schlüsse nach dieser Richtung ziehen. In einzelnen Fällen ist die Festigkeit der Wasserproben höher, in anderen geringer als die der Luftproben von gleichem Alter. Z. B. zeigen die Kalke 1—10 bei Wassererhärtung höhere, zum Teil wesentlich höhere Festigkeiten als bei Lufterhärtung, während bei den übrigen Kalken die meisten unter Wasser schlechter zu erhärten scheinen als an der Luft. Bei einigen Kalken zeigen beide Arten von Proben keine merklichen Unterschiede. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den hydraulischen Kalken, die in der schweizerischen Prüfungsanstalt — einige sogar bis zu zwei Jahren Alter*) — geprüft wurden.“

In der Regel nun werden die Kalke, entsprechend dem Wunsche der Antragsteller, nach 28 Tagen geprüft, seltener nach 60 und 90 Tagen. Es ist jedoch anzunehmen, dass Mörtel aus guten hydraulischen Kalken sich ähnlich verhalten wie alle Mörtel mit puzzolanartigen Zuschlägen, wie zum Beispiel die nach dieser Richtung vielfach und vielerorts untersuchten Trassmörtel, d. h., dass mit fortschreitendem Alter die Festigkeit der Wasserproben die überwiegende sein wird; sei es, dass man sich den Vorgang der Erhärtung, der durch den während der anfänglichen Luftlagerung sich vollziehenden Übergang des stets vorhandenen freien Kalkes in kohlensauren Kalk in der äussersten Mörtelschicht eingeleitet wird, während der Wasserlagerung auf der Kalkhydrosilikatbildung oder auf der chemischen Wasserbindung beruhend denkt.“ (H. Burchartz). Über die neue „Erhärtungstheorie der Wasserkalke“ von Prof. Michaëlis ist eingehend in Kapitel IV berichtet worden.

Bekanntlich sollen die hydraulischen Kalke nur so stark gebrannt werden, dass eben oder nicht gänzlich die Kohlensäure ausgetrieben und die Tonsubstanz teils oder vollständig aufgeschlossen ist. Michaëlis**), der dasselbe sagt, erörtert weiter: „Wir stellen uns darunter am zweckmässigsten die Trennung von Kieselsäure, Tonerde und Eisen auf die Weise bewirkt vor, dass die letztgenannten beiden der überwiegenden Menge starker Basis gegenüber ihren Charakter ändern und in Säuren übergehen.“

Zusätzlich sei jedoch noch bemerkt, dass verschiedene Werke ihren Kalk etwas übergar brennen, damit er durch die Einwirkung der Luft nicht so rasch zerfällt.

„Es ist von keinem Belang für die folgenden Betrachtungen, ob wir die Vereinigung von einer gewissen, immerhin nicht unbeträchtlichen Menge Kalk

*) Mitteilungen der Anstalt zur Prüfung von Baumaterialien am eidgen. Polytechnikum in Zürich. Selbstverlag der eidgen. Festigkeitsanstalt. Zürich 1903, Heft 6, S. 377 und 378.

**) Dr. W. Michaelis. Die hydraulischen Mörtel, insbesondere der Portlandzement. Verlag von Quandt & Händel. Leipzig 1869. (Vergriffen.)

mit Kieselsäure und Tonerde (Eisenoxyd) im Feuer schon annehmen oder nicht; sicher ist, dass die Temperatur nie so hoch gesteigert wird, um sämtlichen Kalk in Verbindung zu bringen, dass also stets eine mehr oder minder beträchtliche Menge des vorhandenen Kalkes frei bleibt."

„Ob nun der Erhärtungsprozess an der Luft oder unter Wasser vor sich geht, immer beteiligt sich unter gewöhnlichen Verhältnissen eine grosse Menge Kohlensäure an demselben. Seiner Unlöslichkeit und ziemlich grossen Festigkeit halber kann aber die Bildung von kohlensaurem Kalk für den Erhärtungsprozess im allgemeinen nur von Vorteil sein."

Ja, der den Erhärtungsprozess einleitende Übergang des freien Ätzkalks in kohlensauren Kalk ist für die Wasserkalkmörtel erfahrungsgemäss und, wie die voraufgegangenen Tabellen zeigen, Bedingung. Bei dem Mörtel der meisten Kalke musste der Wasserlagerung eine gewisse, der Eigenart des betreffenden Kalks entsprechende, mehr oder weniger lange Luftlagerung vorausgehen, wenn die Proben einen für die Wasserlagerung und -Erhärtung genügenden Zusammenhang erlangen sollten. Die Dauer der Luftlagerung war auffallend verschieden bei den verschiedenen Kalken, 1 Tag bis 3 Tage, ja 11 bzw. 12 Tage.

Einige westfälische Wasserkalke erhärten auch, wenn sie sofort nach der Verarbeitung zu Probekörpern unter Wasser gebracht werden, wieder andere schon nach einigen Stunden.

Der Verfasser erwähnte schon in seinen „Kalk und Mörtel" (S. 354), dass das wiederholte Anfeuchten der Proben an der Luft deren Festigkeit erhöht, worauf auch die Prüfungsergebnisse der Kalke Nr. 26 und 27 hinweisen. Für Aussenputz ist ja das Wechselspiel von Regen (Feuchtigkeit) und Wind, Sonne (Wiederaustrocknen) äusserst vorteilhaft. Ebenso dürfte der Mörtel des in Kapitel II besprochenen Eifeler Römerkanals dieser annähernd zwei Jahrtausende währenden Einwirkung — und zwar mit dem hervorgehobenen grossartigen Erfolge — unterlegen haben.

Früher wurde schon betont, dass für die Güte eines Wasserkalkes von mitbestimmendem Einfluss die Form der Kieselsäure (Quarz, Sand), wie solche sich in den Kalkmergeln und Mergeln findet, ist. Und ferner die Dichte der Kalke. Je dichter und fester das Rohmaterial nämlich an und für sich schon ist — sagt Michaëlis — desto dichter wird es auch nach dem Brennen*) und Erhärten, und da das Haupterfordernis für den Bestand eines Wassermörtels dies ist, den Zutritt des Wassers auf das geringstmögliche Mass zu reduzieren, so liegt es klar zutage, dass dieser Bedingung um so vollkommener genügt wird, je dichter die Moleküle aggregiert, je weniger porös der hydraulische Mörtel ist.

Ferner spielt die mehr oder minder homogene (gleichmässige) Mischung von Tonsubstanz und kohlensaurem Kalk in den Mergeln eine sehr bedeutende Rolle. In den meisten Fällen sind dieselben sehr inhomogen, wie man dies bei den gewöhnlichen Wasserkalken nach dem Brande an den verschiedenen Farbentönen deutlich erkennen kann. Sie sind weiss, grau, gelblich usw., geädert oder gesprenkelt. Die weisse Farbe deutet auf Weisskalk oder auf einen Kalk mit nicht nennenswerten Mengen an Hydraulefaktoren hin. Daher löschen sie sich

*) Und nach dem ev. folgenden Ablöschen und Mahlen (Anm. des Verf.).

auch verhältnismässig sehr leicht. Das Steinmaterial der besten Zementkalke und der Romanzemente dagegen weist ausser einer besonderen Dichte eine äusserst gleichartige Mischung von Ton- und kohlensauren Kalkpartikelchen auf. Daher schreibt sich eben ihre besonders hohe Hydraulizität her.

Dies alles — und es ist nicht wenig — war nötig zu sagen, um eine Unterlage für die Definition des Begriffes „Wasserkalk“ und die Prüfung, d. i. Wertbestimmung, der Wasserkalke zu gewinnen. Dass hier eine besondere Schwierigkeit auftritt, liegt nach dem Vorausgeschickten auf der Hand.

Was ist also Wasserkalk? Die Antwort lautet verschieden.

Eine annehmbare Begriffserklärung geben wohl die „Schweizer Normen“*):

„Hydraulische Kalke (chaux hydraulique) sind Erzeugnisse, welche aus Kalkmergeln oder Kieselkalken durch Brennen unterhalb der Sintergrenze, darauffolgender Hydratisierung und Zerkleinerung auf Mehlfeinheit gewonnen werden.

Nach örtlichen Verhältnissen können hydraulische Kalke auch in Stückform in den Handel gebracht werden.“

Bemerkungen.

Vor eintretender Verschlackung der Oberfläche gar gebrannte Kalkmergel oder Kieselkalke, die beim Trockenlöschen unter mässiger Wärmeentwicklung und mässigem Gedeihen teilweise oder ganz zu Pulver zerfallen, liefern hydraulische Kalke.

Beim Ablöschen des gebrannten Materials wird der freie Ätzkalk in pulverförmiges Kalkhydrat verwandelt, welchem je nach chemisch-physikalischer Beschaffenheit des Rohmaterials und Ausfall des Brandes auch die hydraulischen Bestandteile ganz oder teilweise beigemengt sind. Häufig bleibt ein Teil der letzteren in gröberen Stücken zurück; die Löschprodukte solcher Kalke müssen sodann auf geeigneten Mahlvorrichtungen zerkleinert werden.

Hydraulische Kalke, die beim Ablöschen bloss teilweise zerfallen, sollten in Stückform nicht in den Handel gebracht werden.

Der pulverförmige hydraulische Kalk ist erdig-körnig, hellgelblich mit Übergängen ins Graue oder Rötlichbraune. Angemacht erwärmt sich der hydraulische Kalk nicht; er bindet stets langsam, oft erst nach Ablauf von 24 und mehr Stunden ab und besitzt die Eigenschaft, bei mit der Zeit wachsender Festigkeit an der Luft wie unter Wasser raumbeständig zu sein. Das spezifische Gewicht des hydraulischen Kalkes liegt meistens unter 2,9; sein Glühverlust steigt in der Regel über 8 %.

Hydraulischer Kalk kann zu langsam fortschreitenden Luft- und Wasserbauten, die weder eine hohe Anfangs- und Endfestigkeit, noch Frostbeständigkeit in den ersten Phasen der Versteinerung erfordern, verwendet werden. Zu Wasserbauten soll hydraulischer Kalk nur dann zugelassen werden, wenn der Einwirkung des Wassers eine angemessen lange Lufterhärtung vorausgeht.

Diese Schweizer — Prof. Tetmajerschen — Normen enthalten nichts über den Gehalt der Kalke an Hydraulefaktoren; auch von einer Einordnung derselben nach dem steigenden hydraulischen Gehalt ist nicht die Rede. Ferner sind die ungedämpften gemahlenen hydraulischen Marken nicht berücksichtigt.

---

*) Normen für eine einheitliche Benennung, Klassifikation und Prüfung der hydraulischen Bindemittel. Herausgegeben von der Schweiz. Materialprüfungsanstalt in Zürich (1901). Selbstverlag der Anstalt. In Kommission bei E. Speidel. Zürich IV.

Auch E. Leduc, der französische Mörtelchemiker, sieht von bestimmten Analysenziffern bzw. Grenzzahlen für die verschiedenen hydraulischen Kalke ab. Er sagt in seiner Arbeit „Über die hydraulischen Kalke und Krebszemente"*):

„Vicat erkannte, dass ein Kalk um so hydraulischer sei, je mehr „Ton" er enthält. Auch wusste er schon, dass ein Kalk mit mehr als 20 v. H. Ton sich mit Wasser nicht mehr ablöschen lässt. Derartige Kalke bezeichnet er als Grenzkalke. Werden sie ‚überbrannt', so erhält man das mit dem Namen Portlandzement belegte Erzeugnis." Letzterer Satz dürfte, wenigstens nach unserer Auffassung, in Deutschland nur unter bestimmten Bedingungen richtig sein. „Vicat hat auch versucht, eine Einteilung der hydraulischen Kalke zu ermöglichen und zwar eben auf Grund ihres Tongehaltes oder vielmehr des Verhältnisses $\frac{\text{Ton}}{\text{kohlensaurer Kalk}}$. Diesen Wert nannte er „Indice d'Hydraulicité". Später bezeichnete er damit das Verhältnis $\frac{\text{Ton}}{\text{Ätzkalk}}$, und jetzt endlich versteht man in Frankreich darunter den Wert $\frac{\text{Kieselsäure} + \text{Tonerde}}{\text{Ätzkalk}}$. Vicat hat seine Einteilung wiederholt abgeändert. Durand-Claye hat folgende Einteilung vorgeschlagen:

Vorgeschlag. Bezeichnung des Kalkes als:	Tongehalt v. H.	$\frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaCO_3}$	$\frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO}$	Abbindezeit
Schwachhydraulisch . .	5,3 — 8,2	0,05—0,09	0,10—0,16	16—30 Tage
Mittelhydraul.	8,2—14,8	0,09—0,17	0,16—0,31	10—15 „
Hydraulisch .	14,8—19,1	0,17—0,22	0,31—0,42	5— 9 „
Starkhydraul.	19,1—21,8	0,22—0,28	0,42—0,50	2— 4 „
Grenzkalk od. langsam bind. Zement . . .	21,8—26,7	0,28—0,36	0,50—0,65	innerhalb eines Tages

„Man hat übrigens einen wirklichen und einen scheinbaren Index — so wollen wir der Kürze halber die von Vicat geschaffene Bezeichnung nennen — zu unterscheiden. Den scheinbaren Index erhält man, wenn man die Gesamtheit der (in verdünnter Salzsäure) unlöslichen Bestandteile in den Wert Kieselsäure mit einbezieht, so dass dieser nicht nur die verbindungsfähige Kieselsäure, sondern auch mehr oder weniger weit zersetzte Tone, Sand, Kohlenreste, Bestandteile des Ofenfutters usw. enthält. Diese Stoffe, deren Menge unter Umständen verhältnismässig gross sein kann, beeinträchtigen die Genauigkeit des Index eines Kalkes in hohem Grade. Die Verhältnisse liegen tatsächlich so, dass bei einem lediglich entsäuerten hydraulischen Kalke die chemische Analyse ungefähr denselben scheinbaren Index ergibt, als wenn durch Erhöhung der Brennhitze eine chemische Bindung zwischen Ton und Kalk herbeigeführt wird; und doch ist der hydraulische Wert des nur bis zur Entsäuerung gebrannten Kalkes gleich Null. Im Gegensatz hierzu versteht man unter dem wirklichen Index jenen Wert, der lediglich durch die Höhe der verbindungsfähigen Kieselsäure bestimmt wird. Unter Zugrundelegung dieses Wertes wird der nur bis zur Entsäuerung gebrannte Kalk einen äusserst kleinen Index ergeben, während das bis zum Aufschluss des Tones durch den Kalk gebrannte Erzeugnis einen wirklichen Index ergibt, der dem scheinbaren Index äusserst nahe kommt. Die verschiedene Höhe der Brennhitze führt bei einem wirklichen Index von

*) Revue des Materiaux de Construction et de Travaux Publics (1906). Nr. 17 und 18, übersetzt von der Tonindustrie-Zeitung, Berlin 1907, Nr. 9 und 12.

0,37 zu Abweichungen bis zu 0,20.“ Bei dieser Einteilung der hydraulischen Kalke muss man sich stets vor Augen halten, dass sie unter Ausschluss der Magnesiakalke erfolgt ist.

„Diese Einteilung ist sehr bequem, um sich über den annähernden Wert des hydraulischen Kalkes zu unterrichten. In bezug auf die Kalke genügt aber sogar die Kenntnis des wirklichen Index nicht, wenn es sich um einigermassen genaue Arbeiten handelt. Es ist durchaus falsch, sich einzig und allein bei der Beurteilung eines Kalkes nach dem Index richten zu wollen. Der wirkliche Index gibt gewissermassen nur einen annähernden Anhaltspunkt über den Wert des Erzeugnisses, ohne aber über seine wirklichen Eigenschaften oder über seine falscher Herstellungsweise zuzuschreibenden Fehler Aufschluss zu geben.“

Diese Ausführungen Leducs sind äusserst bemerkenswert; sie decken sich dem Sinne nach vollständig mit dem, was auf der Hauptversammlung der Sektion Kalk 1906 Klehe über den Wert der chemischen Analyse überhaupt bei der Beurteilung der hydraulischen Kalke gesagt hat. Um das fertige Erzeugnis auf seinen Wert hin zu prüfen, bleibt eben nichts anderes übrig als die Wasserprobe in Verbindung mit der Festigkeitsprobe. Die chemische Analyse sagt uns höchstens, warum sich ein hydraulischer Kalk so und nicht anders verhält. Sie sagt uns auch, dass ein Rohkalk unter Umständen beim Brennen einen hydraulischen Kalk geben kann, ohne dass sie uns gewissermassen die Versicherung an die Hand gibt, dass man auch unter allen Umständen mit Gewissheit bestimmte Eigenschaften des fertigen Erzeugnisses vorhersagen kann. Für die Beurteilung des Handelserzeugnisses ist die chemische Analyse beinahe wertlos. Für die Erkenntnis des Wesens der hydraulischen Kalke ist sie unentbehrlich.

„Höchst interessant sind die Untersuchungen über die Beschaffenheit des sogenannten Unlöslichen. Besonders wichtige Aufschlüsse erhält man, wenn man den Siebrückstand des fertigen Erzeugnisses auf dem 2000 Maschensiebe näher untersucht. Man findet sogar darin oft grobe Bruchstücke des Ofenfutters, Kohlenschlacke und zugesetztes grobes Ziegelmehl. Ausserdem kann dieses Siebgrobe eine gewisse Menge nicht verbindungsfähiger Kieselsäure enthalten, wie Sand oder nicht vollständig aufgeschlossenen Ton, ohne dass dadurch Fehler in der Herstellung gekennzeichnet werden. Der Brand eines silikatreichen Kalksteines darf nicht bei zu hoher Hitze erfolgen, sonst wird zu viel Kalk in die Silikatform überführt und der zurückbleibende freie Kalk reicht nicht mehr aus, das Zerfallen des Erzeugnisses beim Löschen herbeizuführen. Dagegen müssen die kalkreichen Steine sehr scharf gebrannt werden, damit die vorhandene Kieselsäure und Tonerde so viel Kalk bindet, als sie überhaupt aufzunehmen in der Lage sind. Denn es soll nach Möglichkeit in den fertigen Erzeugnissen nur noch gerade so viel freier Kalk vorhanden sein, als für den Löschvorgang unbedingt notwendig ist.“

Es ist eine bekannte Tatsache, dass die silikatreichen Kalksteine bei verhältnismässig niederer Hitze gebrannt werden müssen. Selbstverständlich darf der letzte Satz Leducs nur als etwas Erstrebenswertes betrachtet werden. Denn es dürfte wohl nur in den allerseltensten Fällen gelingen, den Brand so zu regeln, dass Kieselsäure und Tonerde sich vollständig mit Kalk sättigen. Auch müsste man dann nur solche Rohkalke brennen, deren Kalkgehalt in ganz engen Grenzen schwankt. Eine derartig strenge Zurückhaltung ist aber gar nicht nötig, denn ein Überschuss von Ätzkalk über die zum Löschen nötige Menge wird beim Löschen in Kalkhydrat übergeführt, das an der Wasserhärtung gar keinen oder nur geringen Anteil nimmt, die Festigkeit vielleicht sogar etwas herabsetzt, trotzdem aber nicht als unbedingt schädlich zu betrachten ist. Selbstverständlich geben jene bevorzugten Kalke, welche den Wünschen Leducs entsprechen, die besten hydraulischen Kalke, und sie können Festigkeiten erreichen, wie sie sonst nur Portlandzementen zukommen, aber es sind eben Ausnahmefälle, mit welchen die Allgemeinheit nicht rechnen darf.

Leduc kommt nun auf das Verhältnis zwischen Basen und Säuren zu sprechen.

„Der Ton besteht hauptsächlich aus Kieselsäure und Tonerde, welche bei hoher Hitze als kräftige Säuren wirken. Darauf beruht die Beziehung zwischen dem hydraulischen Wert eines Kalkes und den Verhältnissen seines Kieselsäure-Tonerde-

gehaltes zu dem Ätzkalkgehalt, zu welchem letzteren man vielleicht auch die Magnesia rechnen darf. Ätzkalk und Magnesia bezeichnet man im Gegensatz zu Kieselsäure und Tonerde als Basen.“ Die Magnesia ist in den von Leduc untersuchten hydraulischen Kalken in so geringer Menge vorhanden, dass sie wohl kaum von Einfluss auf ihre Wasserfestigkeit sein kann.

„Nach Le Chatelier soll ein guter hydraulischer Kalk auf 4 Äquivalente Kalk 1 Äquivalent Kieselsäure enthalten, wobei angenommen ist, dass Tonerde und Eisenoxyd nicht vorhanden sind. Hierbei sollen sich 3 Äquivalente Kalk mit der Kieselsäure zu Trikalziumsilikat verbinden und das vierte das sofortige Zerfallen des Brennergebnisses beim Löschen mit Wasser herbeiführen. In Wirklichkeit ist ein solches Verhältnis unmöglich. Die besten untersuchten Kalke zeigen, dass das Verhältnis der Basen zu den Säuren 3,50 nicht überschreitet. Bei gewissen guten Kalken des Handels ist dies Verhältnis scheinbar höher, allerdings aber nur auf Grund eines Überschusses an freiem Kalkhydrat. Auch kann man es weiter als möglich betrachten, dass in der Praxis die ganze Kieselsäuremenge in Trikalziumsilikat übergeführt wird. Sogar die Zemente zeigen trotz ihrer hohen Brennhitze, dass diese Verbindung niemals in dieser Vollkommenheit erreicht wird, selbst wenn die Zemente bedeutende Mengen von Tonerde enthalten, welche, wie Fremy und vor ihm Berthier erkannt haben, die gegenseitige Einwirkung von Kieselsäure und Kalk in hohem Grade begünstigt.“

„Das Verhältnis des Kalkes zur Kieselsäure oder auch der Basen zu den Säuren kennzeichnet die „Basizität“ gewisser Kalke. (Vgl. die Zusammenstellung auf Seite 184.) Je mehr die Güte des Kalkes abnimmt, um so grösser wird dieses Verhältnis. Dieses Verhältnis gibt schon einen besseren Hinweis auf die Zusammensetzung des Kalkes als die Bauschanalyse, entbehrt aber noch jedes Wertes für die Beurteilung des Aufbaues der hydraulischen Kalke. Um in diesen einen Einblick zu gewinnen, hat man versucht, aus den hydraulischen Kalken das Kalkhydrat durch Zuckerlösungen auszuziehen. Der Zucker löst den Kalk auf unter Bildung stöchiometrisch bestimmter Körper, der Kalksaccharate. Man hat zu diesem Zwecke 5 g des durch das 2000 Maschensieb hindurchgegangenen Kalkes eine halbe Stunde lang mit 250 ccm einer 10prozentigen Zuckerlösung digeriert. Der gelöste Kalk wurde massanalytisch ermittelt. Trotz der Mängel dieser seit sieben bis acht Jahren gebräuchlichen Arbeitsweise ergibt sie Werte, die sich der Wirklichkeit sehr nähern. Die Ergebnisse wären noch genauer, wenn man mit gelöschten Kalken hätte arbeiten können, die gegen die Einflüsse der Luftkohlensäure streng abgeschlossen gewesen wären.

In der Zusammenstellung I sind die mit Hilfe der Zuckerlösung gefundenen Werte für Kalkhydrat in hydraulischen Kalken angeführt. Die Kalkmenge ist in gewissen Kalken sehr beträchtlich und erreicht z. B. bei Nr. B 3 46 v. H.; fügt man hierzu diejenige Kalkmenge, welche nach dem Löschen aller Voraussicht nach wieder in kohlensauren Kalk übergeführt wird, so erhält man sogar 52 v. H. Dagegen enthalten die besten Kalke Nr. 18, 20, 21, 22, 23 und 24 einschliesslich des Karbonatgehaltes kaum 20 v. H. zuckerlöslichen Kalk. Die äusserst silikatreichen Kalke Nr. 25 und 26, welche übrigens nicht trocken gelöscht, sondern gemahlen werden, nähern sich den Zementen, indem sie nur 11—12 v. H. löslichen Kalk enthalten. Auf dieser Grundlage ist es leicht, die Menge des an Säuren gebundenen und die Wassererhärtung herbeiführenden Kalkes zu ermitteln, indem man von dem Gesamtgehalt den in Zuckerlösung löslichen Kalk vermehrt, und den an Kohlensäure und Schwefelsäure gebundenen Kalk abzieht. Das Verhältnis dieses hydraulisch wirksamen Kalkes zu dem Hydratkalk, berechnet auf CaO und unter Berücksichtigung des wieder in Karbonat übergeführten Kalkes, dessen Menge bei den oben genannten guten Kalken innerhalb 2,20 und 2,40 v. H. liegt, sinkt für den Kalk Nr. 3 auf 0,24, trotzdem dieser im Handel als guter hydraulischer Kalk gekauft worden war.“

„Zur Ermittelung der Zusammensetzung des eigentlichen hydraulischen Bestandteiles der Wasserkalke wurden allerorts schon zahlreiche Versuche angestellt. Man weiss, dass die Tonerde und die Kieselerde sich mit 1, 2 und 3 Äquivalenten Kalk verbinden können, obwohl es noch niemand gelungen ist, die Trialuminate und Tri-

silikate darzustellen, während die beiden Säuren sich in den Zementen mit ungefähr $2^1/_2$ Äquivalenten Kalk verbunden vorfinden. In diesen letzteren müssen wir isomorphe Mischungen von mehr oder weniger basischen Silikaten und Aluminaten annehmen, von denen das Trikalziumsilikat das Vorherrschende ist. In allen untersuchten Kalken liegt der Wert $\frac{\text{Kieselsäure}}{\text{hydraulisch wirksamer Kalk}}$ genau wie in den Zementen zwischen 2 und 3. In den hochbasischen Kalken Nr. 1, 5, 6 und 16 scheint allerdings dieses Verhältnis einen höheren Wert annehmen zu wollen. Zieht man auch den Tonerdegehalt in Rechnung, so sinkt das Verhältnis in demselben Masse, wie der Tonerdegehalt steigt."

„Verfährt man in der oben geschilderten Weise mit reinem Portland-Zementklinker (I), mit reinen im Laboratorium zu diesem Zwecke besonders hergestellten sehr tonerdereichen Krebsen (II) und mit gewöhnlichen im Betriebe anfallenden tonerdearmen Krebsen (III), welche alle infolge der Hydratation in gewissen Mengen Kalk an die Zuckerlösung abgeben (ungefähr 3 v. H.), so findet man für das Verhältnis $\frac{\text{hydraulisch wirksamer Kalk}}{\text{Kieselerde}}$ die Werte 2,59, 2,62 und 2,19. Der Krebszement III der in folgendem angegebenen Zusammenstellung entstammt demselben Werte wie die Kalke Nr. 22, 23 und 24 der Zusammenstellung I, welche für $\frac{\text{hydraulisch wirksamer Kalk}}{\text{Kieselsäure}}$ die Werte 2,27, 2,21 und 2,21 gegeben haben.

	I	II	III
Unlösliches	0,46	1,74	4,76
Kieselsäure	20,94	18,56	24,44
Tonerde	7,95	9,50	2,63
Eisenoxyd	2,65	4,30	1,17
Kalk	65,20	62,60	58,60
Magnesia	1,18	1,23	2,16
Schwefelsäure	0,59	0,82	0,63
Kohlensäure	0,00	0,00	0,80
Wasser	0,50	0,70	4,75
Verluste	0,52	0,45	0,69
	100,00	100,00	100,00
Löslicher Kalk	2,90	3,08	4,45
An Kohlensäure gebundener Kalk	0,00	0,00	1,01
An Schwefelsäure gebundener Kalk	0,41	0,57	0,44
	3,31	3,65	5,90
Hydraulisch wirksamer Kalk	61,89	59,05	52,70
$\frac{\text{Hydraulisch wirksamer Kalk}}{\text{Kieselsäure + Tonerde}}$	2,59	2,62	2,19

Wenn man den Kalk Nr. 22 der Zusammenstellung I mit Zuckerlösung behandelt und ausserdem einen Krebszement desselben Wertes, aber nicht den eben unter III angeführten, und wenn man darauf sehr rasch mit destilliertem Wasser auswäscht und in einer Muffel scharf trocknet, erhält man 2 Erzeugnisse von folgender Zusammensetzung:

	Mit Zuckerlösung behandelter Kalk Nr. 22	Mit Zuckerlösung behandelter Krebszement
Unlösliches	1,30	3,10
Kieselsäure	26,10	26,70
Tonerde	1,55	2,80
Eisenoxyd	0,85	1,20
Kalk	61,10	58,90
Magnesia	2,34	1,90
Schwefelsäure	0,82	0,77
Kohlensäure	1,60	0,55
Wasser	3,70	3,25
Verlust	0,64	0,63
	100,00	100,00

Landesteil	Nördliches Frankreich							Oestl. Frankreich	
Bezeichnung des Werkes	A		B	C				D	E
Bezeichnung der Kalkorte	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Unlösliches	0,74	2,14	0,38	0,32	2,94	4,40	2,30	4,80	3,84
Gebundene Kieselsäure	5,96	8,26	5,52	8,88	11,06	9,40	10,10	7,35	11,06
Tonerde	2,40	3,93	2,10	3,68	3,78	3,88	3,25	5,15	6,55
Eisenoxyd	1,30	1,87	1,10	0,92	1,32	1,3	1,15	1,60	2,05
Kalk	65,70	59,10	65,90	65,90	60,80	62,70	59,20	56,40	54,10
Magnesia	1,69	1,40	1,26	0,75	0,68	0,72	0,68	0,30	1,85
Schwefelsäure	0,98	0,90	0,45	0,32	0,45	0,72	0,45	0,50	1,20
Kohlensäure	5,82	9,05	5,45	5,50	6,86	6,12	14,84	8,12	4,84
Gesamt-Wasser	14,68	12,15	16,90	13,40	11,74	10,98	7,96	15,23	14,96
Verluste	0,73	1,20	0,39	0,33	0,37	0,16	0,07	0,55	14,96
Scheinbarer Index	0,13	0,23	0,12	0,19	0,29	0,27	0,26	0,31	0,38
Wirklicher Index	0,12	0,20	0,11	0,19	0,23	0,20	0,22	0,22	0,31
In 10prozent. Zuckerlösung löslicher Kalk	38,09	29,44	46,14	33,93	25,32	26,21	14,60	26,67	22,83
Lösl. Kalk + Kalk in Form des Karbonates	45,45	40,75	52,50	40,92	34,32	33,99	33,47	36,97	28,98
Hydraulisch wirksamer Kalk	19,56	17,72	13,09	24,76	26,49	28,21	25,42	19,08	24,28
Hydr. wirks. Bestandt. ($CaO + SiO_2 + Al_2O_2$)	27,92	29,91	20,71	37,32	41,33	41,09	38,77	31,58	41,89
$\frac{\text{Gesamtkalk — an Schwefels. geb. Kalk}}{\text{Kieselsäure}} =$	11,66	7,59	12,72	7,92	5,85	7,40	6,24	8,15	5,17
$\frac{\text{Gesamtkalk — an Schwefels. geb. Kalk}}{\text{Kieselsäure + Tonerde}} =$	9,43	5,93	10,40	6,37	4,87	5,90	5,26	5,79	3,83
$\frac{\text{Basen}}{\text{Säuren}} = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} =$	9,87	6,19	5,06	6,49	4,97	5,86	5,36	6,81	4,08
$\frac{\text{Hydraulisch wirksamer Kalk}}{\text{löslicher Kalk}} =$	0,46	0,60	0,28	0,73	1,04	1,07	1,74	0,71	1,06
$\frac{\text{Hydraulisch wirksamer Kalk}}{\text{lösl. Kalk + Kalk in Form des Karbon.}} =$	0,43	0,43	0,24	0,60	0,77	0,82	0,75	0,51	0,83
$\frac{\text{Hydraulisch wirksamer Kalk}}{\text{Kieselsäure}} =$	3,15	2,29	2,53	2,99	2,40	3,35	2,69	2,37	2,35
$\frac{\text{Hydraulisch wirksamer Kalk}}{\text{Kieselsäure + Tonerde}} =$	2,57	1,79	2,07	2,40	2,13	2,67	2,27	1,97	1,74

Landesteil	Südliches Frankreich				Westliches Frankreich						Mittleres Frankreich					Fremde Kalke gleicher Herkunft	
Bezeichnung des Werkes	F		G		H		I	J	K	P	L		M			N	O
Bezeichnung der Kalkorte	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Unlösliches	1,14	0,60	1,76	2,58	2,20	1,50	0,84	1,20	4,08	1,18	1,50	2,14	1,46	1,74	1,54	6,90	2,42
Gebundene Kieselsäure	15,56	17,60	13,08	12,77	16,10	15,50	10,75	15,30	15,92	16,02	19,90	20,16	20,34	20,61	20,61	22,10	21,58
Tonerde	2,14	2,65	1,70	1,95	4,85	5,05	2,34	4,25	7,10	2,00	2,03	2,10	1,20	1,55	1,70	2,83	4,14
Eisenoxyd	0,95	0,85	1,30	1,45	1,95	1,70	1,16	1,65	2,30	1,00	0,97	1,10	0,70	0,55	0,60	1,42	1,66
Kalk	64,10	64,80	65,30	62,90	60,40	60,85	65,50	60,35	56,30	66,40	63,80	62,80	65,10	65,10	64,60	56,00	58,30
Magnesia	1,22	0,95	1,10	1,48	1,29	1,10	0,72	0,90	0,50	0,86	0,70	0,97	2,01	0,65	1,60	0,86	1,15
Schwefelsäure	0,34	0,35	0,88	0,99	0,79	0,90	0,48	0,45	0,52	0,44	0,79	1,07	0,69	0,50	0,50	1,61	0,58
Kohlensäure	8,42	2,49	2,56	6,86	7,69	3,68	5,80	5,80	6,60	6,26	4,62	1,60	1,00	2,48	2,48	2,59	2,92
Gesamt-Wasser	5,48	9,86	12,04	8,74	3,76	8,97	11,61	9,55	6,25	5,54	5,43	7,45	7,00	6,37	6,17	3,11	6,58
Verluste	0,64	9,86	0,28	0,28	0,97	0,75	0,80	0,55	0,73	0,30	0,26	0,61	0,50	0,45	0,20	3,11	0,6
Scheinbarer Index	0,28	0,32	0,25	0,27	0,30	0,35	0,21	0,34	0,48	0,28	0,37	0,38	0,34	0,36	0,36	0,56	0,47
Wirklicher Index	0,27	0,31	0,22	0,23	0,26	0,33	0,18	0,32	0,39	0,27	0,34	0,34	0,32	0,34	0,34	0,44	0,43
In 10prozent. Zuckerlösung löslicher Kalk	17,32	18,63	31,73	25,64	14,51	18,34	29,58	17,22	7,86	19,65	12,54	16,94	18,72	17,03	16,47	5,62	7,25
Lösl. Kalk + Kalk in Form des Karbonates	24,29	21,79	34,98	34,36	21,28	23,02	36,91	24,55	16,24	27,61	18,41	18,97	19,99	20,18	19,62	12,73	10,96
Hydraulisch wirksamer Kalk	39,57	42,77	29,70	27,84	38,57	37,20	28,25	35,49	39,40	38,48	44,84	43,08	44,63	44,57	44,56	42,84	46,93
Hydr. wirks. Bestandt. ($CaO + SiO_2 + Al_2O_2$)	57,28	63,02	44,48	42,56	59,52	57,75	41,35	55,04	62,47	56,50	66,77	65,34	66,17	66,73	66,87	67,77	72,65
$\frac{\text{Gesamtkalk — an Schwefels. geb. Kalk}}{\text{Kieselsäure}} =$	4,39	3,93	5,31	5,21	3,97	4,16	6,48	4,20	3,74	4,11	3,40	3,29	3,40	3,36	3,33	2,69	2,87
$\frac{\text{Gesamtkalk — an Schwefels. geb. Kalk}}{\text{Kieselsäure + Tonerde}} =$	4,07	3,46	4,93	4,78	3,38	3,49	5,74	3,87	2,96	4,41	3,21	3,10	3,29	3,22	3,18	2,51	2,58
$\frac{\text{Basen}}{\text{Säuren}} = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3} =$	4,25	3,70	5,10	5,00	3,52	3,62	5,90	3,97	3,20	4,22	3,13	3,25	3,46	3,28	3,31	2,69	2,61
$\frac{\text{Hydraulisch wirksamer Kalk}}{\text{löslicher Kalk}} =$	2,28	2,29	0,93	1,08	3,35	2,02	0,95	2,06	5,02	2,62	3,57	2,54	2,38	2,61	2,70	7,65	6,47
$\frac{\text{Hydraulisch wirksamer Kalk}}{\text{lösl. Kalk + Kalk in Form des Karbon.}} =$	1,92	1,96	0,85	0,80	1,81	1,61	0,76	1,44	2,42	1,39	2,43	2,24	2,23	2,30	2,26	3,36	4,27
$\frac{\text{Hydraulisch wirksamer Kalk}}{\text{Kieselsäure}} =$	2,72	2,60	2,43	2,33	2,56	2,57	2,80	2,48	2,64	2,57	2,41	2,28	2,33	2,31	2.31	2,07	2,33
$\frac{\text{Hydraulisch wirksamer Kalk}}{\text{Kieselsäure + Tonerde}} =$	2,51	2,39	2,26	2,14	2,17	2,15	2,48	2,28	2,10	2,39	2,27	2,15	2,27	2,21	2,21	1,93	2,09

	Mit Zuckerlösung behandelter Kalk Nr. 22	Mit Zuckerlösung behandelter Krebszement
An Kohlensäure gebundener Kalk	2,03	0,69
An Schwefelsäure gebundener Kalk	0,50	0,61
	2,53	1,30
Hydraul. wirksamer Kalk	58,57	57,60
$\frac{\text{Hydraul. wirksamer Kalk}}{\text{Kieselerde + Tonerde}}$	2,32	2,20

Die beiden Analysen zeigen eine auffällige Übereinstimmung. Der hydraulisch wirksame Teil der nach der Behandlung des Kalkes Nr. 22 mit Zuckerlösung übriggeblieben ist, hat dieselbe Zusammensetzung wie der Krebszement desselben Kalkwerkes. Alle diese Tatsachen und ganz besonders diese auffällige Übereinstimmung der beiden letzten Analysen zeigen, dass die durch Brennen eines gleichmässig zusammengesetzten silikathaltigen Kalksteines erzeugten hydraulischen Kalke nichts weiteres sind, als äusserst innige Mischungen mit oft äusserst feinem Korn aus Fettkalk und Krebszement. Stellt man alle möglichen Kalke in einer Reihe so auf, dass die Fettkalke die unterste Stufe einnehmen, so gruppieren sich zwischen beiden die hydraulischen Kalke nach ihrem Gehalt an hydraulisch wirksamen Bestandteilen. Je reicher oder ärmer sie daran sind, um so näher stehen sie entweder dem Zement oder dem Fettkalk."

Diese Ausführungen Leduc's sind äusserst bemerkenswert. Nach ihnen wären also die Krebse der einzig wirksame Bestandteil der hydraulischen Kalke. Natürlich sind darunter nur die Krebse zu verstehen, welche überbrannt sind, nicht aber das Ungare, was in manchen Teilen Deutschlands auch mit dem Namen Krebse bezeichnet wird.

„Auch der Wassergehalt der hydraulischen Kalke steht im engen Zusammenhang mit ihrer sonstigen chemischen Zusammensetzung. Je mehr löschbarer Kalk in den Brennergebnissen vorhanden war, um so mehr Hydratwasser enthält selbstverständlich das Löschergebnis. So enthält der Kalk Nr. 3 der Zusammenstellung I 16,9 v. H. Wasser. In gewisser Beziehung kann also auch der Hydratwassergehalt eines Kalkes einen Anhaltspunkt für seinen Wert geben. Die Kohlensäure, welche in hydraulischen Kalken gefunden wird, rührt mehr von einer späteren Wiederaufnahme her, als von ursprünglich vorhanden gewesenen ungaren Stücken."

„Die übrigen Bestandteile der hydraulischen Kalke sind meistens in so geringer Menge vorhanden, dass sie unberücksichtigt bleiben können. Der äusserst einfache

Versuch mit der Zuckerlösung kann übrigens auch zur Ermittlung fehlerhafter Herstellung von Krebszement dienen. Gibt z. B. ein angeblich aus reinen Krebsen hergestellter Krebszement an die Zuckerlösung 7,95 v. H. Kalk ab, während die Krebse desselben Werkes nur 3,08 v. H. abgeben, so ist damit festgestellt, dass die Krebse nicht weitgehend genug von dem ihnen anhaftenden Kalkhydrat befreit worden waren."

Leduc hat auch versucht, auf Grund der Löslichkeit des Kalkes in Zuckerlösung ein Verfahren auszubilden, mit dessen Hilfe es möglich ist, rasch und einfach Fettkalk von Zement oder hydraulischem Kalke zu unterscheiden. Bekanntlich gehen beträchtliche Mengen von hydraulischem Kalk und Zement in buntem Durcheinander über die Grenze, und man kann auf diese Erzeugnisse weder die Zollsätze für hydraulischen Kalk noch jene für Zement anwenden, weil, wie man sagt, dazu Festigkeitsbestimmungen notwendig wären, welche mindestens eine Woche beanspruchen; solange kann man aber natürlich nicht die Reise der Bahnwagen oder Schiffe aufhalten. Mit Hilfe der Zuckerlösung kann man in wenigen Augenblicken die Frage nach dem richtigen Zollsatz lösen.

Leduc führt zum Beweise dieser Behauptung eine ganze Reihe von Bestimmungen mit hydraulischen Kalken, natürlichen und künstlichen und Portlandzementen, Krebs-, Roman- und Schlackenzementen an. Bei den hydraulischen Kalken fand er als Mittel aus 49 untersuchten Handelswaren 18,1 v. H. zuckerlöslichen Kalk. Der höchste Wert, den er fand, war 36,7 v. H., der kleinste Wert 4,1 v. H. Bei 15 untersuchten künstlichen Portlandzementen war der kleinste Wert 1,6 v. H., der grösste Wert 5,7 v. H., als Mittel ergab sich 2,9 v. H. Von 9 natürlichen Zementen erhielt Leduc als Mittel 4,1 v. H. zuckerlöslichen Kalk. Als Höchstwert hatte sich 6 v. H. ergeben, als kleinster Wert 2,5 v. H. 3 Krebszemente ergaben 4,0 v. H., 5,3 v. H. und 7,6 v. H., 2 Schlackenzemente 6,7 v. H. und von 5 Romanzementen hat einer als Höchstzahl 2,8 v. H. Kalk an die Zuckerlösung abgegeben und ein anderer als Mindestzahl 1,0 v. H.

„In manchen Fällen ist es von Interesse, zu erfahren, in welchen Verhältnissen die Kieselsäure in einem Wasserkalk sich auf die verschiedene Korngrösse des Pulvers verteilt. So wurden 8 verschiedene Kalke auf dem 2000-Maschen-Siebe in Siebfeines und Siebgrobes getrennt. Der Silikatgehalt des ursprünglichen Erzeugnisses bewegte sich zwischen 19,24 v. H. und 23,90 v. H., in allen Fällen hatte sich für das Siebgrobe eine beträchtliche Anreicherung an Kieselsäure ergeben. Sie betrug im geringsten Falle 1,9 v. H., blieb in allen anderen Fällen nicht unter 5 v. H., sondern erreichte im Gegenteil bis zu 11 v. H. Von grossem Einfluss auf die Ergebnisse derartiger Versuche ist die Anwesenheit von Sand, Schlacken, Schamotteteilen und Kohlen in den fertigen Erzeugnissen."

Soweit die Ausführung Ledues über die chemischen Eigenschaften der hydraulischen Kalke und Krebszemente. Man sieht daraus, dass auf diesem Gebiet noch sehr viel Arbeit getan werden muss, und dass den hydraulischen Kalken überhaupt noch viel zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt wird. Besonders scheint es äusserst notwendig zu sein, das Verhältnis des hydraulisch wirksamen Kalkes zu dem Hydratkalke technisch begrenzbar zu machen. Dann kann aus den hydraulischen Kalken noch viel herausgeholt werden, und es können gerade diejenigen Kalkwerke wirtschaftlich gehoben werden, die noch mit leicht verständlichem Unbehagen die silikatreichen Schichten ihrer Kalkbrüche betrachten und auf die Halde werfen.

Ich habe die Ausführungen Leduc's und die Bemerkungen der Tonindustrie-Zeitung zu denselben unverkürzt gebracht und glaube dadurch manchem Chemiker oder anderen Fachleuten einen Dienst erwiesen zu haben.

Es wird jetzt noch nötig sein, andere Autoritäten über den Begriff und die Einteilung der hydraulischen Kalke zu hören.

Nach Heusinger von Waldegg enthalten sehr gute hydraulische Kalke gewöhnlich 24—30% Ton, „ziemlich gute" mehr oder weniger Ton, und zwar beiläufig 30—45% oder 20—25% Ton. Der weniger als 20% (bis 14%) Ton

enthaltende Kalk soll nur wenig hydraulisch sein. Enthält der Kalk dagegen 50—60% Ton, so ist er zu mager.

Michaëlis, welcher die Wassermörtel in Puzzolanmörtel, hydraulische Kalke und Portlandzemente einteilt, nennt

„hydraulische Kalke alle natürlichen und künstlichen Kalkarten, welche unter Wasser mehr oder weniger erhärten, welche nicht so stark gebrannt sind, dass Sinterung eingetreten ist, und welche im gebrannten Zustande noch freien Kalk in grösserer Menge enthalten. Hierher zählen also die sämtlichen sogenannten Romanzemente".

und schreibt mir freundlicher Weise weiter:

„Die ursprüngliche Einteilung von Vicat ist eine ganz willkürliche; ihm war es entgangen, dass selten ja ein natürlicher Kalkmergel eine homogene Mischung von kohlensaurem Kalk und Tonerde-Silikat ist, sondern in der Regel eine ausserordentlich inhomogene Mischung; also nach der chemischen Analyse lässt sich gar keine zutreffende Einteilung durchführen. Nun hat man praktisch leichte und schwere Kalke unterschieden. Die ersteren löschen sich leicht mit Wasser zu feinstem Pulver; die letzteren recht unvollkommen und bedürfen einer Nachbehandlung, Ablagern in Silos und zwar möglichst grossen, um die Löschwärme zusammenzuhalten."

Hauenschild unterscheidet 1. „Wasserkalke oder magere Kalke", 2. „Romanzemente, in Deutschland und besonders in Österreich hydraulische Kalke, in Frankreich Ciment romain oder einfach Ciment naturel gennant", 3. „Portlandzemente" und 4. „Puzzolanmörtel oder Mörtel mit hydraulischen Zuschlägen" und sagt hinsichtlich der Wasserkalke:

„Jene Wassermörtel, welche aus solchen natürlichen Steinen gewonnen werden, die nach Brennen mit Wasser sich noch zu Pulver löschen, im Wasser aber nach kürzerer Zeit erstarren, heissen Wasserkalke oder magere Kalke, in Frankreich chaux hydraulique oder hydraulischer Kalk. Der Typus hierfür ist in Frankreich der Chaux du Theil, in Deutschland z. B. der Beckumer, der Trierische Wasserkalk, in Österreich die mageren Kalke der Umgebung von Prag oder der Teplitzer Kalk. Diese haben unter den Wassermörteln den geringsten Silikatgehalt, sind die leichtesten und für sich selbst am wenigsten festen, im Verhältnis zu ihrer Selbstfestigkeit jedoch die bindekräftigsten. Sie erstarren und erhärten unter Wasser am langsamsten und widerstehen demselben erst nach einiger Zeit, aber dann anhaltend."

Nach den „Beschlüssen der internationalen Konferenzen zu München, Dresden, Berlin usw." sind

„hydraulische Kalke Erzeugnisse, welche durch Brennen von mehr oder weniger ton- (oder kieselsäure-)haltigen Kalken gewonnen werden und, mit Wasser gemengt, sich ganz oder teilweise zu Pulver löschen. Nach örtlichen Verhältnissen werden sie in Stückform oder hydratisiert in Mehlform in den Handel gebracht."

Prof. Dr. Carl Schoch in „Die moderne Aufbreitung der Mörtelmaterialien" teilt die bekannten hydraulischen Kalke ausserdem ein in

a) eigentliche hydraulische Kalke [richtiger Kalksteine] (mit über 70% $CaCO_3$, bzw. 18—25% Ton),

b) die Romanzemente (mit 50—70% $CaCO_3$, bzw. wechselndem Gehalt an Kieselsäure und Tonerde),

c) in die dolomitischen oder Magnesiazemente.

Für Zug- und Druckfestigkeit verlangt er mittlere Zahlen.

E. Leduc*) sagt in seiner „Revue des matériaux de construction et de travaux publics“ Nr. 16 — 1906 —:

„Der Grad der Verwendungsfähigkeit der hydraulischen Kalke, ihr Widerstand gegen die verschiedenen Beanspruchungen und Zerstörungsursachen stehen im engsten Zusammenhang mit ihrer chemischen Zusammensetzung und dem mehr oder weniger grossen Gehalte an jenen Stoffen, welche die Wassererhärtung verursachen. Man begnügt sich bei der Beurteilung eines hydraulischen Kalkes nicht damit, die Erhärtungsfortschritte einer in ein mit Wasser gefülltes Gefäss gelegten Kugel aus dem betreffenden Mörtel mit dem Fingernagel zu verfolgen. Vielmehr erfordert die sachgemässe Prüfung dieser Kalke grosse Kenntnis und Sorgfalt, sowie ein entsprechend eingerichtetes Laboratorium.“

„Von den Zementen (Romanzement, Schlackenzement, Portlandzement) unterscheiden sich die hydraulischen Kalke dadurch, dass sie einen mehr oder weniger grossen Gehalt an freiem Ätzkalk enthalten, dessen Aufgabe zunächst darin besteht, beim Löschen unter Raumvermehrung in Kalkhydrat überzugehen und dadurch ein Zerfallen des hydraulischen Stückkalkes in ein mehlförmiges Pulver zu bewirken. Andererseits trennt sie von dem Begriffe Fettkalk ein mehr oder weniger grosser Gehalt an die Wassererhärtung verursachenden Bestandteilen.“

Leduc sieht wie von Tetmajer — wie schon früher bemerkt — von bestimmten Analysenziffern ab.

Ebenso will Klehe-Berlin**) in der Jahresversammlung der Sektion Kalk des Deutschen Vereins für Ton-, Zement- und Kalkindustrie — 17. Februar 1906 — (Tonindustrie-Zeitung Nr. 41, Seite 583) für die chemische Zusammensetzung der hydraulischen Kalke und Kalkzemente keine festlegenden Zahlen aufgestellt wissen, indem er vorschlägt:

„Hydraulische Kalke sind solche Kalke, welche nach dem Eintauchen in Wasser noch zum Ablöschen unter Bildung eines staubfeinen Pulvers veranlasst werden, und die, mit Wasser angemacht, nach entsprechend langer Lufterhärtung unter Wasser eine Zunahme ihrer Festigkeit erfahren.

„In Bezug auf ihre Verarbeitungsweise unterscheidet man stark hydraulische Kalke, die zwei Tage nach dem Anmachen unter Wasser gebracht werden können, mittelhydraulische, die bis zu 5 Tagen an der Luft erhärten müssen, und schwachhydraulische, die erst nach 7 Tagen Lufterhärtung unter Wasser eine Festigkeitszunahme aufweisen.

„Romanzemente sind Kalke, welche nach dem Brennen unterhalb der Sinterung nicht mehr mit Wasser unter Zerfall zu staubförmigem Mehl ablöschen, gemahlen aber, mit Wasser angemacht, zementartig erhärten und nach dem Abbinden unter Wasser gebracht, eine Festigkeitszunahme aufweisen.

„Diese Erklärungen enthalten die Haupteigenschaften der hydraulischen Kalke und bestimmen gleichzeitig ihren Wert, wenn wir sie durch das Mass

*) Siehe auch an anderer Stelle.

**) Siehe auch Seite 332 und 333 in Kiepenheuer's „Kalk und Mörtel“.

der zunehmenden Erhärtung noch ergänzen. Wir messen diesen Wert durch die Höhe, welche die Druckfestigkeit nach bestimmten Zeiträumen und unter Anwendung bestimmter Mengen von Normensand erreicht."

Klehe legt also nicht allein einen Wert auf die Erhärtung unter Wasser, sondern auf eine Zunahme der Festigkeit, sowohl der hydraulischen Kalke als der Romanzemente.

Ferner betont er eine vorhergehende, dem Charakter der ersteren entsprechend lange Lufterhärtung und schlägt anregenderweise dem Prüfungsausschuss — ohne die jetzt wiederholten folgenden Zahlen als endgültig hinstellen zu wollen — folgende Klassifizierung der hydraulischen Kalke vor:

Die schwachhydraulischen Kalke, die einer Vorerhärtung von 5—7 Tagen bedürfen,

die mittelhydraulischen Kalke, die nach 3—5 Tagen unter Wasser gebracht werden können und endlich

die starkhydraulischen Kalke, die bereits nach 48 stündiger Erhärtung der Einwirkung des Wassers dauernden Widerstand zu leisten vermögen.

Die Vorschläge Klehes sind praktisch, wohl überlegt und tragen unseren deutschen hydraulischen Kalken in gerechter Weise Rechnung.

Dr. Kosmann, Kupferberg i. Schl., befürwortete in derselben Hauptversammlung (Tonindustrie-Zeitung 1906, Nr. 41, Seite 584)*) aus der Unmenge der hydraulischen Kalke das Herausschälen bestimmter Typen unter Zuhilfenahme der chemischen Analyse, und dies soll die Arbeit des Prüfungsausschusses sein. Wäre dieses erreicht, hätte man also „typische Beispiele für die Hydraulizität der Kalke" gefunden, so könnte die Analyse wieder wegfallen.

Wie bekannt, bestehen in Deutschland keine Vorschriften für eine einheitliche Prüfung von Kalk. Auch die anderen Länder, ausser der Schweiz, haben keine Normen; nur in den Vereinigten Staaten verlangt man von den Probekörper 1 : 3 nach 28 Tagen 5,25 kg Zugfestigkeit.

Die Schweizer Normen**) beschränken sich auf die Abbindeverhältnisse (Erhärtungsbeginn und Bindezeit), die Volumbeständigkeit (Kalt- und Warmwasserprobe), die Feinheit der Mahlung (auf dem 900 = Maschensieb sollen hydraulische Kalke nicht mehr wie 15% Rückstand hinterlassen), die Festigkeitsverhältnisse (die Normalprobekörper sollen nach 28 Tagen Wasserlagerung mindestens 6 kg Zug- und 40 kg Druckfestigkeit pro qcm erreichen).

Manchem der Leser wird schon ein „Prüfungszeugnis des Königlichen Materialprüfungsamts Grosslichterfelde", unterzeichnet von Prof. Gary — vielfach im Druck in Garz oder sogar in Farz verwandelt — zu Gesicht gekommen sein.

Die Untersuchung dieser Anstalt erstreckt sich auf die Ermittelung folgender Eigenschaften†):

1. Ablöschen und Löschergiebigkeit.

Der Stückwasserkalk wird nach dem schon auf S. 48 beschriebenen

*) Siehe auch Abdruck des Vortrags in Kiepenheuer's „Kalk und Mörtel" Seite 334—337.

**) Siehe Abdruck derselben in des Verfasssers „Kalk und Mörtel", S. 303—314.

†) Siehe die Tabellen Seite 148—171.

Verfahren mittelst engmaschiger Drahtkörbe abgelöscht. Bestimmt werden ausser der Höhe des Wasserverbrauchs, Beginn des Löschens, Löschdauer, Gehalt an steinigen Rückständen, Litergewicht und die Menge des gewonnenen Kalkpulvers (Löschergiebigkeit).

Die Pulverkalke werden mit Wasser zu einem kellegerechten Brei angemacht und die Menge des gewonnenen Kalkbreies nach 24stündigem Lagern ausgemessen.

2. Gewicht.

a) Spezifisches Gewicht. Dasselbe wird entweder im lufttrockenen Zustande oder nach dem Trocknen bei + 98° C bestimmt.

b) Das Raumgewicht wird durch Einlaufen und Einrütteln in das Litergefäss ermittelt.

3. Der Glühverlust wird durch Glühen der Substanz festgestellt.

4. Die Mahlfeinheit bzw. Korngrösse wird durch Absieben des Pulvers auf Sieben mit 5000, 2500, 900, 600, 324, 240, 120 und 60 Maschen pro 1 qcm mit der Hand festgestellt.

5. Abbindezeit, Erhärtungsanfang und -ende.

Im eigentlichen Sinne des Worts kann von diesen bei denjenigen hydraulischen Kalken, welche noch gelöscht werden müssen, nicht die Rede sein, da sie, mit Wasser behandelt, aufquellen. Bei weiterer Zugabe von Wasser tritt das Abbinden, d. h. der Übergang von Brei in feste Masse, nur infolge Eintrocknens bei gleichzeitig beginnendem Erhärtungsprozess ein.

Nur solche Kalke können auf Abbindezeit geprüft werden, die, ohne einer Ablöschung zu bedürfen, feinst gemahlen werden und ohne weiteres verarbeitsfähig sind, wie z. B. die besseren Zementkalke.

Über das Verfahren ist das Nötige in des Verfassers „Kalk und Mörtel“ auf den Seiten 292 (dort ist statt 1 „qcm“ Querschnittsfläche der Vicatschen Nadel 1 „qmm“ zu setzen!) und 308 gesagt worden.

Bei den gewöhnlichen hydraulischen Kalken ist übrigens die Ermittelung der Abbindezeit überflüssig. Tetmajer sagt: „Für den täglichen Bedarf des Baugewerbes ist die Kenntnis des Zeitpunktes des Erhärtungsendes weniger belangreich, als derjenige Moment, wo der Erhärtungsprozess so weit vorgerückt ist, dass gewisse äussere mechanische Einwirkung, wie beispielsweise diejenige des Wassers, bei der Gruppe der vornehmsten Vertreter der hydraulischen Bindemittel, wohl auch diejenige mässiger Fröste, auf das Material mehr oder weniger schadlos sind.“

6. Raumbeständigkeit.

Sie wird an den reinen Kalken so wie an den Mörteln geprüft, beide in plastischer Steife. Kuchen von 1—$1^1/_2$ cm Dicke in der Mitte und nach dem Rande dünn auslaufend, werden auf Glasplatten ausgebreitet und nach ein- oder mehrtägiger Lagerung an der Luft in Wasser von 15—18° C gelegt. Sie müssen dann bis zu einem Alter von 28 Tagen eben und rissfrei bleiben. Weiteres ist auf den Seiten 309—310 in des Verf. „Kalk und Mörtel“ nachzulesen.

7. Mörtelergiebigkeit.

H. Burchartz sagt: „Für die Prüfung auf Mörtelergiebigkeit werden die Mörtel mauergerecht nach den vorgeschriebenen Mischungsverhältnissen an-

gemacht. Die Menge des aus der Mischung 1 Raumteil Kalkpulver auf n Raumteile Sand zu gewinnenden Mörtels ergibt sich, wenn bezeichnet

r_k das Raumgewicht des Kalkpulvers,

r_s das Raumgewicht des Mauersandes,

w_n das Gewicht des Wassers, das nötig ist, um die trockene Mischung 1 : n in mauergerechten Mörtel zu verwandeln:

r_m das Raumgewicht dieses mauergerechten und $G = r_k + nr_s + w_n$ das Gewicht der angemachten Mörtelmenge aus $\frac{G}{r_m} = M$ Liter Mörtel.

Da 1 + n Liter trocknes Material M Liter mauergerechten Mörtel ergeben, so ist die Ergiebigkeit von Mörtel aus der Mischung 1 : n $E = \frac{M}{1+n}$.

Nachstehend sei die Art der Ergiebigkeitsbestimmungen an zwei Beispielen erörtert.

Mörtelmischung	Raumgewicht des Kalkpulvers r_k *)	Raumgewicht des Mauersandes r_s *)	Wasserzusatz für mauergerechten Mörtel: Gewicht w_n	Wasserzusatz für mauergerechten Mörtel: % **)	Gewicht der angemachten Mörtelmenge $r_k + r_s + w_n = G$ kg	Raumgewicht des Mörtels r_m	Rauminhalt des erzielten Mörtels $M = \frac{r_k + r_s + w_n}{r_m}$ Liter	Ergiebigkeit $E = \frac{M}{1+n}$
				Fein gemahlener Kalk.				
1 : 0	0,746	—	0,450	60,3	1,196	1,513	0,790	0,790
1 : 1	0,746	1,668	0,580	24,0	2,994	1,909	1,568	0,784
1 : 2	0,746	3,336	0,751	18,4	4,883	1,979	2,442	0,814
1 : 3	0,746	5,004	1,058	18,4	6,808	1,971	3,454	0,864
1 : 5	0,746	8,340	1,772	19,5	10,858	1,956	5,551	0,925
				Zementkalk in Pulverform.				
1 : 0	0,810	—	0,600	74,1	1,410	1,565	0,901	0,576
1 : 1	0,810	1,644	0,659	28,3	3,149	1,928	1,633	0,817
1 : 2	0,810	3,688	1,021	22,7	5,519	1,988	2,776	0,925
1 : 3	0,810	4,932	1,269	22,1	7,011	1,980	3,541	0,885
1 : 5	0,810	8,220	2,023	22,4	11,053	1,959	5,642	0,940

8. Zug- und Druckfestigkeit.

Der zu den Probekörpern verwendete Mörtel ist in der Regel 1 : 3. Dass aber auch andere Mischungen genommen werden, geht aus den früheren Tabellen hervor. Die der Wasserlagerung voraufgehende Luftlagerung beträgt ein Tag bis sogar mehrere Wochen, der Eigenart der Kalke entsprechend. Die Mischung nach Gewichtsteilen empfiehlt sich übrigens nicht, wenn man berücksichtigt, wie stark die Litergewichte schwanken.

Wie sehr die Mischungen der verschiedenen Kalke, wenn man den Raumteilen Gewichtsverhältnisse zugrunde legt, voneinander abweichen, zeigen die

*) Als Raumgewicht wird das arithmetische Mittel aus den Litergewichten für den eingelaufenen und eingerüttelten Zustand zugrunde gelegt, weil dieses Mass besser den in der Praxis gewonnenen (gemessenen) Raumteilen der Mörtelbestandteile entspricht, als das Litergewicht für einen der beiden Zustände.

**) Bezogen auf das Gewicht des trocknen Materials.

in den Tabellen in Gewichtsteile umgerechneten Mischungsverhältnisse der nach Raumteilen zusammengesetzten Mörtelmischungen.

In den Versuchsanstalten wird seit längerer Zeit den Mörtelmischungen nach Raumteilen das arithmetische Mittel aus den Litergewichten der Kalke und des Sandes für den eingelaufenen und eingerüttelten Zustand zugrunde gelegt. H. Burchartz macht mit Recht darauf aufmerksam, dass, falls später Normen für die einheitliche Prüfung der hydraulischen Kalke aufgestellt werden, bei Festsetzung einer bestimmten Mörtelmischung für die Festigkeitsversuche auf die grosse Verschiedenheit der Gewichte der Kalke Rücksicht genommen werden muss.

Die übliche Erhärtungsdauer ist 28 Tage. Jedoch ist es zweckmässig, bei der geringen Erhärtungsenergie mancher Wasserkalkmörtel, und da, wo die Kenntnis des Erhärtungsfortschrittes von Wert ist, die Prüfungen auch auf höhere Altersklassen auszudehnen.

Über die Ausführung der Festigkeitsuntersuchungen ist das Nötige schon in des Verfassers „Kalk und Mörtel" auf den Seiten 292—295 und 310—314 (Schweizer Normen) gesagt.

9. Haftvermögen am Stein.

Je zwei Ziegelsteine werden mit dem zu prüfenden Mörtel kreuzweise aufeinander gemauert und 24 Stunden lang mit je 5 kg belastet, um eine Verdichtung der Mörtelfuge — 1 cm dick, wie in der Praxis üblich — zu erzielen. Nach der vorgeschriebenen Erhärtungsdauer werden die Versuchsstücke senkrecht zur Fugenfläche voneinander gerissen, wobei darauf geachtet wird, dass Biegungsspannungen nach Möglichkeit vermieden werden. Die Schubfestigkeit wird ermittelt, indem zwei mit dem Probemörtel aneinander gemauerte Ziegelsteine bei dem vorgeschriebenen Alter der Mörtelfuge, parallel zur Ebene ihrer Lagerflächen, verschoben werden.

10. Frostbeständigkeit.

Die Proben werden bei dem vorgeschriebenen Alter dem Froste bei — 10 bis —15° C ausgesetzt und nach 4 stündiger Frostbeanspruchung, 4 Stunden lang aufgetaut. Dieses Verfahren wird so oft als gewünscht wiederholt.

11. Prüfung auf chemische Zusammensetzung.

Die chemische Analyse ist schon auf Seite 40—43 skizziert worden.

Der Verfasser unterbreitet nun schliesslich seine Vorschläge für die einheitliche Prüfung der hydraulischen Kalke.

Für die Wertbestimmung derselben kommen vorzugsweise in Betracht die chemische Analyse, die Lösch- bezw. Mörtelergiebigkeit, die Abbindezeit und die Festigkeiten in Zug und Druck.

a) Die Analyse jedoch — falls man den Rohstein untersucht — bildet, wie dies verschiedentlich erörtert wurde, keine absolut sichere Unterlage zwecks Feststellung, inwieweit ein hydraulischer Kalk mehr oder weniger gut und verwendbar ist. Den Wert eines solchen bedingen noch eine ganze Reihe anderer Faktoren, wie Lagerungsverhältnisse, Grad der Gleichartigkeit (Homogenität), Gefügeaufbau, Dichtigkeit, Korn des Rohsteins, Art des Brennverfahrens, Grad und Frische des Brandes und die Art der weiteren Aufbereitung (Löschen,

Mahlen, Sieben). Namentlich der Grad der Homogenität bzw. Inhomogenität der Mischung von Tonsubstanz und Kalkstein im Kalkmergel oder Mergel spielt eine führende Rolle*). So gibt es Romanzemente, deren Rohmaterial weniger Hydraulefaktoren hat, als andere weniger rasch und gut erhärtende Wasserkalke. Ihre besondere Güte rührt eben von der Gleichartigkeit der Mischung her.

Dann wird vielfach — falls der Kalk analysiert worden ist — die nach dem Brennen gebildete wirksame, aktionsfähige Kieselsäure mit der quarzartigen, sandigen oder den unzersetzt gebliebenen Silikaten in einen Topf geworfen unter dem Sammelnamen „Kieselsäure". Solche Analysen täuschen. Nur verbindungsfähige SiO_2, $Al_2O_3+Fe_2O_3$ hydraulisieren, also Kiesel-, Ton- und eisenige Säure!!!

Auf dieses Moment ist besonders zu achten, wenn man als Wertmesser die chemische Analyse wählt. Aber auch dann stellen sich dieselben Schwierigkeiten ein und unsichere Schlussfolgerungen, wie sie soeben bei der Untersuchung des Rohsteins erörtert worden sind.

Immerhin wird man zur Einordnung der Wasserkalke in verschiedene Gruppen — von dieser soll jedoch erst später gesprochen werden — die Analyse nicht entbehren können (H. Burchartz). Der Gang einer solchen ist, wie schon erwähnt, auf Seite 40—43 und eine abgekürzte chemische Untersuchung in des Verfassers „Kalk und Mörtel" auf Seite 349 und 350 beschrieben worden.

b) Die Löschergiebigkeit hängt ab von dem Gehalt an freiem Ätzkalk, also von der Frische, sowie von der Dichte des gebrannten Kalkes. Aber je mehr Mass, desto weniger Hydraulizität.

Das Renommieren mit Schlagwörtern wie: „Mein Wasserkalk gibt pro Doppelwagen so und soviel Kubikmeter Pulver", ist das Verschweigen der Tatsache, dass er dementsprechend an hydraulischem Charakter anderen weniger ergiebigen nachsteht. Es ist ja erklärlich, wenn die Werke im Wettbewerb auf die verschiedene Ergiebigkeit der Kalke hinweisen; ein verlässlicher Wertmesser kann die Ergiebigkeit jedoch nie sein.

Die Mörtelergiebigkeit ist zwar auf den Preis des Mörtels von Einfluss, hat aber mit der Frage nach der Bewertung der Kalke in mörteltechnischer Hinsicht direkt nichts zu tun.

Dass die ungedämpften Marken mehr Sand aufnehmen können (meistern), als die vorher gedämpften gemahlenen Kalke, soll noch — als eigentlich selbstverständlich — hinzugefügt werden. So lässt z. B. nach dem Bericht des „Zentralblatt der Bauverwaltung Berlin"**) — 1906 —, Seite 76, der ungedämpfte, gemahlene Wasserkalk von Förderstedt (Schenk & Vogel, Magdeburg) auf 1 Teil Kalkpulver 6 Teile Sand, selbst im Verputz zu. Andere Marken, wie Meteor, Germania, Gloria, Monopol, Tekelia-Extra usw., verhalten sich ähnlich.

c) Dagegen lassen die Abbindezeit, Erhärtungsanfang und -ende einen Rückschluss auf den Grad der Hydraulizität eines Kalkes zu***). Je rascher ein Kalk abbindet und erhärtet, desto hydraulischer ist er. Das Abbinden an

*) Siehe auch Seite 10 und 178/179.

**) In Kiepenheuers „Kalk und Mörtel", Seite 342: Bericht von Stadtbaurat Schmalz (†), Charlottenburg.

***) Siehe die Tabellen auf den Seiten 148—169.

der Luft, welches der Wasserlagerung im allgemeinen voraufgehen muss, erfordert einige Stunden bis zu mehreren Wochen, je nach der Natur der Kalke, wie dies schon gesagt wurde.

d) Endlich die Druck- und Zugfestigkeit. Diese werden, in Verbindung mit der Abbindezeit, ausschlaggebend für die Beurteilung eines Wasserkalks sein.

Wie schon erörtert, an Hand der Tabellen des Kgl. Materialprüfungsamts Grosslichterfelde, erlauben sie nur dann einen sicheren Schluss, wenn die Probekörper in jeder Beziehung gleichartig hergestellt und behandelt werden. Selbstverständlich dienen die ermittelten Zug- und Druckfestigkeitszahlen nur einem Vergleich zwischen den verschiedenen Kalken und entsprechen den Festigkeiten des im Mauerwerk verarbeiteten Mörtels in keiner Weise. Erstens sind die der Ermittelung der Druckfestigkeit dienenden Probewürfel 7 cm kantenlang, während die Fugen des Mauerwerks 1 bis höchstens 1,6 cm Stärke aufweisen. Ferner ist der Wasserzusatz der Probemörtel etwa 8—12%, während der auf der Baustelle angemachte Mörtel bedeutend mehr Wasser verlangt. Auch das starke Einschlagen der Körper mit dem Hammerapparat entspricht nicht dem Druck, dem der Mörtel im Mauerwerk ausgesetzt ist. Endlich verbietet sich die Verwendung des Normalsandes auf der Baustelle, des Kostenpunktes wegen*).

Erfordert ein Bauwerk schnelle Erhärtung, d. h. hohe Druck- und Zugfestigkeit des Mörtels in kurzer Zeit, so ist natürlich der hochhydraulische, wenn auch weniger ergiebig, natürlich höher zu bewerten, wie ein schwachhydraulischer Kalk. Ist dagegen dem Abbinden ein weiterer Spielraum gelassen, so ist bei der Wertbemessung der ergiebigere schwachhydraulische überlegen. Die schwachhydraulischen westfälischen Kalke erreichen bei entsprechend längerer Abbindezeit fast dieselben Festigkeiten wie die hochhydraulischen, ebenso der Sötenicher.

Und nun zu des Verfassers Vorschlägen zur Bewertung und Klassifizierung der Wasserkalke**).

A. Allgemeine Leitsätze.

1. Die Normen sollen den Interessen sowohl des Lieferers als auch des Abnehmers Rechnung tragen; sie sollen zudem einfach, wenig zeitraubend und in Anbetracht kleinerer Kalkwerke billig sein. Die an die Prüfungsnormen für Portlandzement sich anlehnenden Schweizer Normen***) sind im grossen und ganzen als wertvolle Unterlage für die Begriffserklärung, Klassifikation und Prüfungsnormen der Wasserkalke zu betrachten.

2. Für die Gewinnung eines weiten Überblicks für den Prüfungsausschuss ist die chemische Analyse — und zwar ausschliesslich der gebrauchsfertigen Ware, und diese aus dem Bestande des Händlers — angezeigt. Die Analyse soll ebenfalls eine einheitliche Sprache führen, dem deutschen Ausdruck die chemische Formel beifügen, ferner einfach, jedoch zuverlässig sein und könnte sich auf Ermittelung der wesentlichen Bestandteile beschränken. Besonders ist die

*) Siehe auch „Baumaterialien-Markt“ Nr. 14 (Jahrgang 1908), Seite 261—262.
**) Die Benennung der Wasserkalke wurde auf Seite 170 und 171 schon erörtert.
***) Siehe Kiepenheuers „Kalk und Mörtel“, Seite 303—314.

hydraulisch wirkende, aufgeschlossene Kieselsäure von der toten, nicht wirksamen Kieselsäure, dem Sande, Ton usw., also dem „Unlöslichen“ scharf zu trennen.

3. Begriff der Hydraulizität. Über den hydraulischen Wert eines Kalkes spricht sich Leduc, der französische Forscher, wie folgt aus:

„Kalke sind hydraulisch, wenn sie als Mörtel nach genügender Lufterhärtung, d. h. nach genügend erfolgtem Abbinden, unter Wasser gebracht, nicht allein an der vorher erreichten Festigkeit keine Einbusse erleiden, sondern eine Zunahme in derselben erfahren. Die Zeit der genügenden Vorerhärtung an der Luft hat sich nach der Natur des Kalkes zu richten.“

4. Zur Ermittelung des Löschergebnisses sollen nur gargebrannte Stückkalke genommen werden; Stücke mit ungebranntem Kern bilden die Ausnahme. Im übrigen ist es von nicht wesentlicher Bedeutung, zu wissen, wie viel Pulver ein Stück Wasserkalk nach dem Löschen gibt; die Hauptsache bleibt die Frage, wie viel Mörtel ein gewisses Quantum Stückkalk ergibt.

5. Die Prüfung der althergebrachten „Mischung“ ein Gewichtsteil Kalk + drei Gewichtsteile Normalsand*) gibt nur relative Zug- und Druckfestigkeitszahlen an. Auch weitere aufzustellende typische Mischungsverhältnisse, je nach Eigenart des Kalkes und dem Verwendungszweck, können nur die einzelnen Kalke in ihrer Beziehung zum Normalsand vergleichen. Übrigens ist zu erwägen, ob nicht von der Mischung nach Gewichtsteilen, wegen der Verschiedenheit der zu prüfenden Kalke (teils unabgelöschtes, d. h. nur gemahlenes, teils abgelöschtes Pulver, teils Teig) grundsätzlich Abstand zu nehmen ist. Die Unterschiede der Mischungen bei sonst gleichem Mischungsverhältnis sind so erheblich — z. B. die Litergewichte der aus Stückkalk gelöschten Pulver schwanken zwischen etwa 0,65 und 0,85 kg, diejenigen der Sackkalke zwischen etwa 1,00—1,50 kg, — dass die Mischung nach Raumteilen vorzuschlagen ist. Allerdings unter Berücksichtigung der grossen Verschiedenheit im Gewichte der Kalke.

Den Mörtelmischungen nach Raumteilen könnte nach dem Vorgang der Königlich technischen Prüfungsanstalten Berlin das arithmetische Mittel aus den Litergewichten der Mörtelbestandteile für den eingelaufenen und eingerüttelten Zustand zugrunde gelegt werden.

Da in der Baupraxis nun die verschiedenen Sande zur Verwendung gelangen, hinsichtlich Form des Korns (krystallinisch, blättrig usw.), der Korngrösse (Dichtigkeitsgrad), der Oberflächenbeschaffenheit (rauh, glatt, kantig), der chemischen Zusammensetzung (gewöhnlicher Quarzsand oder hydraulischer Zuschlag) und der Verunreinigungen mit Ton und Lehm, so ist für grosse Bauausführungen, namentlich mit stark beanspruchtem Mauerwerk, eine Prüfung zweckentsprechender rationeller Mischungen mit dem jeweilig zur Verwendung in Aussicht genommenen Sande angezeigt.

Auch die Vergleichung der Festigkeitswerte des erdfeuchten Laboratoriummörtels der Versuchsanstalten mit einem mauergerecht angemachten Mörtel gleicher Zusammensetzung ist anzustreben, um einen Berichtigungskoeffizienten zu gewinnnen. Denn der letztere Mörtel wird hinsichtlich des grösseren

---

*) Die Herstellung des Normalsandes siehe in des Verfassers „Kalk und Mörtel“, Seite 293 und 346/347).

Wasserzusatzes und wegen seiner bedeutend geringeren Dichte, wesentlich niedrigere Zahlen ergeben.

Bei Betonausführungen spielt die Dichte eine besonders wichtige Rolle. Grundgesetz ist, dass ein dichter Mörtel verwandt wird, dass die Mörtelmenge die Hohlräume im Kies oder Schotter ausfüllt. Der beste Betonkies ist derjenige, welcher alle Korngrössen enthält, weil dann die Zwischenräume am kleinsten werden. Nach dieser Richtung hin wären rationelle Mischungen von Kies und Sand zu Beton zu normieren.

Es ist selbstverständlich, dass bei der Bereitung der Mörtel hinsichtlich des Wasserzusatzes, Stärke des Mischens der Mörtel und der Art des Einschlagens der Körper, ein durchaus einheitliches Verfahren einzuhalten ist.

6. Da Zugspannungen, wie bei einigen Zementbetonarbeiten, bei Kalkmörteln nicht vorkommen, so ist der Ermittelung der Druckfestigkeit der Vorzug zu geben.

7. Die schon vorher beschriebene Prüfung des Haftvermögens am Stein wäre nach H. Buchartz zu ersetzen durch das Abscheerverfahren, indem man zwei aneinandergemauerte Ziegelsteine bei dem vorgeschriebenen Alter der Mörtelfuge, parallel zur Ebene ihrer Lagerflächen, verschiebt. Es wird nämlich durch die Abreissversuche, bei denen das Mörtelband senkrecht zur Zugrichtung steht, die wirkliche Haftfestigkeit des Mörtels am Stein nicht bestimmt, sondern entweder die Zugfestigkeit des Mörtels in der Fuge oder die des Steins überwunden werden, oder es muss der Mörtel vom Stein reissen, je nach der Grösse des ersteren oder der Adhäsion des Mörtels am Stein.

8. Zusätzlich ist noch zu bemerken, dass die Beigabe der „hydraulischen" Kohlenasche in den Sackkalken oder ein Zusatz von Ziegelsteinmehl vom mörteltechnischen Standpunkt aus nicht beanstandet werden sollte.

B. Spezielle Leitsätze.

1. Die chemische Analyse, als Unterlage zur Bewertung der hydraulischen Kalke, ist abzulehnen.

2. Die Bestimmung der Lösch- und Mörtelergiebigkeit liesse sich ersetzen durch die Ermittelung, wieviel Mörtel ein Gewichtsteil Stückwasserkalk oder Sackkalk, dem Verwendungszweck entsprechend, ergibt. Diese Ermittelung bestimmt ja eigentlich nicht den mörteltechnischen Charakter eines Kalks, aber die Preisfrage spielt doch immerhin eine wesentliche Rolle.

3. Das eigentliche Klassifizierungsmoment der Wasserkalke sind die Abbindezeit und die Festigkeiten.

Beim Abbinden eines hydraulischen Kalkes ermittelt man den Erstarrungsbeginn des Breies, d. h. den Zeitpunkt, wo der Brei die ersten Anzeichen eines Übergangs vom breiigen in den starren Zustand äusserlich erkennen lässt.

Zur Bestimmung des Erstarrungsbeginns bedient man sich der Ritter'schen Vorrichtung. Auf eine Eisenplatte mit einem angefeuchteten Papier darüber legt man die Ritter'sche Form, einen nach unten konisch verlaufenden Rahmen von einigen Centimetern Höhe. In diese Form bringt man gelöschten Kalk von sirupartiger Beschaffenheit. Zu prüfen ist der richtige Wasserzusatz durch ein Eisenstäbchen, mit welchem man durch den Brei fährt; dieser muss nach

einer Minute wieder zusammengelaufen sein. Von Zeit zu Zeit fährt man mit einem der Eisenstäbchen in der Querrichtung der Form durch den Brei und beobachtet den Zeitpunkt, wo der Brei nicht mehr zusammenfliesst, bzw. wo die Ränder des Weges des Stäbchens deutlich sichtbar stehen bleiben. Der Zeitraum zwischen dem Einbringen des Breies in die Form und dem Stehenbleiben der Ränder entspricht dem Erstarrungsbeginn des Kalkbreies*).

Der Verfasser erlaubt sich nun folgenden Vorschlag: Kalke sind hydraulisch, wenn sie als Mörtel nach verhältnismässig rascher Lufterhärtung im Feuchten (Abbinden) unter Wasser gebracht, nicht allein an der vorher erreichten Festigkeit keine Einbusse erleiden, sondern eine Zunahme in derselben erfahren. So würde man unter Festlegung einer Mindestziffer für Zug- und Druckfestigkeit die Wasserkalke in folgende Gruppen einordnen können: Stark- oder schwerhydraulische, mittelhydraulische und schwachhydraulische Kalke. Alle drei sind solche, deren Mörtel im Verhältnis 1 : 3**) normenmässig eingeschlagen, nach 1-, bzw. 3-, bzw. 5—7-tägiger Lagerung in feuchter Luft unter Wasser gebracht, nach 7 oder 28 oder 90 Tagen eine Mindestzug- und Druckfestigkeit von so und soviel kg pro qcm aufweisen. Als zu verlangende Minimalzugfestigkeit bzw. Druckfestigkeit der letzten Klasse schlage ich 4 kg, bzw. 30 kg nach 28 Tagen vor, im Gegensatz zu den Schweizer Normen, welche — allerdings in Anbetracht der besonders guten Sande dieses Landes — mit 6 bzw. 40 kg beginnen. Für die schwer hydraulischen Kalke, die man vielleicht Zementkalke, Grenzkalke oder — ein Vorschlag von mir — Hartkalke nennen dürfte, wären 16 bzw. 160 kg, die früher für den Portlandzement, der allerdings in den letzten Jahren dank einer vorzüglichen Aufbereitung wesentlich höhere Festigkeitszahlen aufweist, geltend waren, festzulegen. Oder statt 160 kg Druckfestigkeit nur eine siebenfache der Zugfestigkeit, etwa 110 kg. Diese Zahlen entsprechen den bisher gefundenen Festigkeiten der besseren „Zementkalke".

4. Für wirklich homogene Brennprodukte könnte nach dem Modul $\frac{CaO^{***)}}{SiO_2+R_2O_3}$, also dem Verhältnis des Ätzkalks zu der Kieselsäure + „Tonsäure" + „eisenige Säure" übereinkunftmässig eine Teilung in ebenfalls schwach-, mittel- und starkhydraulische Kalke vorgenommen werden.

5. Mischungsverhältnis der Probekörper. Die Probekörper wären nicht allein in dem Verhältnis 1 : 3, sondern auch 1 : 4 und 1 : 5 anzufertigen und zu prüfen.

6. Mahl- und Siebfeine. Ein gut gemahlener Kalk soll auf dem 900-Maschensieb nicht mehr wie 10% Rückstand hinterlassen.

7. Die Volumbeständigkeit ist selbstverständlich unerlässliche Bedingung. Sie ist übrigens Sache einer guten Aufbereitung. Die einfache Probe auf Raumbeständigkeit kann auch mit den aus der Ritter'schen Form gewonnenen Platten gemacht werden****).

---

*) Aus: „Leitsätze für Kalk" von dem Verein deutscher Kalkwerke (Entwurf).

**) Tonindustrie-Zeitung Nr. 9 (1907).

***) Beste Romanzemente haben den Modul 1,1—1,2. Die event. Magnesia soll, weil sie nach der Ansicht von Michaëlis nur MgH_2O_2 bildet, nicht dem Ätzkalk CaO zugerechnet werden. R_2O_3 heisst $Al_2O_3 + Fe_2O_3$.

****) Es ist unbedingt nötig, daß die Kuchen nach dem Anmachen in einem feuchten

Der Verfasser schliesst mit den Worten auf Seite 318 seines „Kalk und Mörtel“:

Der Wert solcher Prüfungsnormen nach der wirtschaftlichen, technischen und wissenschaftlichen Richtung hin, liegt klar zutage. Und darum sollte jeder Berufene sein Scherflein mit zu der Vervollkommnung derselben nach Kräften beitragen. Er wird des Dankes des vorbereitenden Ausschusses, sowie aller an der Angelegenheit Interessierten wohl mehr wie sicher sein dürfen. Und hierbei dürfte oft eine Kleinigkeit von wesentlicher Bedeutung sein, und allmählich aus einer harmlosen Anregung zu einem leitenden Grundsatz auswachsen. Das „andere Leute denken und arbeiten lassen“, ein traditionelles beharrliches Schweigen bis dahin, dass alles fertig ist, und dann womöglich die Nase rümpfen, straft sich, wie man dies früher bei dem Erlass von manchen unpraktischen Polizeiverordnungen königlicher Regierungen zur Genüge am eigenen Leibe erfahren hat.

Und jetzt wünsche ich dem Ausschuss zur Wahrung der Interessen von Weisskalk und Wasserkalk, d. i. von Weichkalk und Hartkalk, entsprechenden Erfolg!

VI.

Der Luftkalk, der Romanzement, der Portlandzement und der Trass.

Wenn diese vier Mörtelbildner, obgleich sie auch nicht, mit Ausnahme des ersteren, Kalke sind, jetzt besprochen werden, so soll durch eine allerdings möglichst kurze Charakterisierung derselben der Wasserkalk noch einmal sich aus diesem Hintergrunde abheben.

A. Der Luftkalk.

Wie der Name andeutet, erhärtet er an der Luft, dagegen nicht im Wasser, welcher seinen Mörtel auswäscht und den Kalk allmählich löst. Alle Weisskalke, welche 100 bis zu 90 % herunter Ätzkalk enthalten, sind als Luftkalke, eventuell als Übergänge zum Wasserkalk, anzusprechen. Die Nebenbestandteile, in der Regel Kieselsäure, Ton- und eisenige Säure, welche unrichtigerweise „Unreinigkeiten“ genannt werden, beschleunigen selbstverständlich das Abbinden und erhöhen die Festigkeit. Der Vorgang der Erhärtung beruht in der Lösung von Kalkhydrat in Wasser und der darauf folgenden Aufnahme von Kohlensäure, indem sich kohlensaurer Kalk bildet. Der Wasserkalkmörtel

---

Kasten, vor Zugluft geschützt, bis zum Abbinden lagern, denn sehr häufig erklärt der Nichtfachmann Schwindrisse für Treiberscheinungen.

macht nach dem Anziehen oder Abbinden, und zwar so lange, wie er der Luft ausgesetzt ist, denselben Prozess durch. Der letztere ist sogar notwendig, damit der frische Mörtel durch das Wasser nicht zum Zerfall gebracht wird.

Das Raumgewicht (Litergewicht) des gelöschten Weissfettkalkpulvers im abgesiebten Zustande ist eingelaufen im Mittel 0,403 kg (0,380—0,485), eingerüttelt im Mittel 0,704 kg (0,681—0,771); das spezifische Gewicht des Stückkalks ist 2,6—2,8.

10000 Kilo gebrannter Kalk enthalten 12—13 Kbm; 1 Kbm wiegt also 750—850 kg.

Im Gegensatz zu Wasserkalk wird er fast ausschliesslich in der Pfanne oder im Rührbottich maschinell gelöscht und eingesumpft. Das Kalkhydrat, zu Pulver trocken gelöschter Weisskalk: $Ca(OH)_2$, enthält theoretisch 24,32 % Wasser.

Ein Raumteil frisch gebrannter Kalk einschliesslich der Hohlräume gibt, je nach der Güte desselben, bei Handarbeit 1,8—2, bei maschinellem Löschen im Rührbottich 2—2,2 Teile gelöschten Kalk. Höhere Ergiebigkeitszahlen sind unwahr!

Sumpfkalk enthält 45—55 % Wasser.

1 Kbm Sumpfkalk wiegt 1250—1400 kg. Das Raumgewicht, theoretisch berechnet und nach Laboratoriumsversuchen, ist 1,203—1,363 kg*).

Zu Mauermörtel kann er 3—5 Teile, zu Verputz 2—3 Teile Sand vertragen.

Seine Festigkeiten im Probekörper 1 : 3 sind äusserst mässig. Nach 28 Tagen Luftlagerung schwankt die Zugfestigkeit zwischen 1,2 und 4,3 kg/qcm, die Druckfestigkeit zwischen 2,8 und 24,6*).

Bei höherem Alter steigen beide Festigkeiten, wenn auch nicht wesentlich. Werden die „Achter“ und „Druckwürfel“ ab und zu angenässt, so erhält man bessere Zahlen**). So ergab ein Weisskalk aus Mähren mit rund 97 % CaO:

	Zugfestigkeit nach			Druckfestigkeit nach			
	28 Tagen	3 Mon.	6 Mon.	28 Tagen	3 Mon.	6 Mon.	
1 Raumteil + 3 Raumteile Normalsand	1,3	2,2	1,8	6,7	9,1	9,9	An der Luft erhärtet.
	2,7	5,1	5,3	8,4	15,2	17,8	Auch an der Luft erhärtet, jedoch alle 8 Tage angenässt.

Dieses abwechselnde Anfeuchten und Trocknen macht auch die Graukalk- und Wasserkalkmörtel bedeutend besser.

Der kieselsäurearme Dolomitkalk gehört ebenfalls zu den Luftkalken, und zwar zu den besten. Er erhärtet im Mörtel mit der Zeit zu einer steinharten Masse. So ergab der Normaldolomitkalk von Kalkwerk Bärenstein bei

*) H. Burchartz, Luftkalk und Luftkalkmörtel. Berlin 1908.

**) Kiepenheuer, „Kalk und Mörtel“ Seite 324, sowie in diesem Werke Seite 57 (Eifeler Römerkanal).

Stolberg (Rheinland) 1 : 3 an der Luft nach 28 bezw. 90 Tagen eine Zugfestigkeit von 7,05 bezw. 10,45 kg/qcm, und eine Druckfestigkeit von 30,2 bezw. 52,0 kg.

Das Sandmeisterungsvermögen des Normaldolomitkalks ist besonders hoch.

Tetmajer in seinen Schweizer Normen definiert:

„Luftkalke (Chaux grasse) sind Erzeugnisse, gewonnen durch Brennen von Kalksteinen. Nach örtlichen Verhältnissen werden die Luftkalke in Stückform oder hydratisiert (in Pulverform), in den Handel gebracht.

Bemerkungen.

Alle gargebrannten, kristallinisch körnigen oder dichten Kalksteine, die beim Löschen unter erheblicher Wärmeentwicklung und Raumvergrösserung (Gedeihen) in ein mehlig weiches Pulver (Kalkhydrat) zerfallen, liefern Luftkalk.

Beim Löschen geht der Ätzkalk zunächst in pulverförmiges Kalkhydrat (Trockenlöschverfahren), bei weiterer Wasserzufuhr in einen Brei über (Nasslöschverfahren). Durch noch weitere Wasserzufuhr wird Kalkmilch erzeugt.

Vor der Verwendung ist Kalkbrei einzusumpfen, damit unaufgeschlossene Teilchen sich nachträglich löschen und zerfallen können.

Der Kalkbrei wird dadurch gleichmässiger, dichter, geschmeidiger und vor allem zuverlässiger; eingesumpfter Luftkalkbrei verliert die Tendenz sich nachträglich zu löschen und treibrissig zu werden.

Durch das Trockenlöschverfahren wird Kalkhydrat in Pulverform erzeugt. Auch als Nebenprodukt bei der Fabrikation des hydraulischen Kalkes nach dem Separationsverfahren wird ein mehr oder weniger magerer pulverförmiger Luftkalk gewonnen. Die nach örtlichen Verhältnissen in wechselnden Mengen vorhandenen hydraulischen Bestandteile steigern die an sich vorteilhafte Verwendung des pulverförmigen Luftkalkes im Hochbauwesen.

Der Luftmörtel erhärtet in feuchtem Zustande durch Aufnahme von Kohlensäure der Luft allmählich fortschreitend von aussen nach innen. Im Wasser löst sich der Luftkalk auf.“

Weisskalk verdiente eigentlich den Namen „Weichkalk“.

B. Der Romanzement.

Der Romanzement, aus besonders homogenen Mergeln von hohem Kieselsäure-Tonerdegehalt gebrannt, ist ein Raschbinder. Er enthält noch freien Ätzkalk, ist aber nicht mehr ablöschungsfähig. Schoch*) sagt:

„Auch der Romanzement bildet ein natürliches Vorkommen; er hat unter den hydraulischen Kalken den höchsten Silikatgehalt gegenüber einem solchen von nur 50—70 % kohlensaurem Kalk. Immerhin aber enthält auch der Romanzement noch einen gewissen Prozentsatz an freiem Ätzkalk, was ihn, ausser anderen Erkennungsmerkmalen, als charakteristisch vom Portlandzement unterscheidet.

Die Temperatur, bei welcher Romanzement gebrannt wird, darf ebenfalls nicht so hoch gesteigert werden, dass dabei, wie beim Portlandzement, eine Sinterung stattfindet. Während aber der eigentliche hydraulische Kalk sich mit Wasser noch ablöscht, muss der Romanzement, wie auch der Portlandzement, künstlich bis zur Mehlfeinheit zerkleinert werden.

Der gebrannte und gemahlene Romanzement ist ein meist lichtgelb gefärbtes Pulver vom spezifischen Gewicht 2,7. Die Abbindezeit ist wechselnd;

---

*) Schoch, Die moderne Aufbereitung der Mörtelmaterialien 1904, Seite 144 bis 145

meist erfolgt aber das Erstarren ziemlich prompt. Beim Anmachen mit Wasser soll er sich nicht besonders stark erwärmen.

Die Eigenfestigkeit ist eine mittlere; im Mörtel mit 3 Gewichtsteilen Sand betragen die Durchschnittsfestigkeiten:

nach	7	28	365	Tagen
für Zug	10	15	25	kg
für Druck	75	120	225	kg

Diese Festigkeiten sind also erheblich grösser als beim gewöhnlichen hydraulischen Kalk, dagegen entsprechend der geringeren Dichte niedriger als beim Portlandzement.

Romanzement muss sehr gut gelagert werden, da er ausserordentlich begierig Wasser und Kohlensäure aufnimmt und dadurch mehr oder weniger zersetzt wird. Aus diesem Grunde ist er auch nicht zum überseeischen Export geeignet: an Haltbarkeit ist ihm der Portlandzement weitaus überlegen."

Der Romanzement verträgt sehr viel Sandzusatz; im Mauermörtel ist das Mischungsverhältnis 1 : 7, im Verputzmörtel 1 : 3—5.

Giesszement bindet in 3—4 Minuten, Raschbinder in 10—20 Minuten, Normalbinder in 9—12 Stunden ab.

Die „Schweizer Normen" definieren:

„Romanzemente (Ciment romain) sind Erzeugnisse, welche aus tonreichen Kalkmergeln durch Brennen unterhalb der Sintergrenze und darauffolgender Zerkleinerung auf Mehlfeinheit gewonnen werden.

Bemerkungen.

Vor eintretender Sinterung, bezw. vor eintretender Verschlackung gargebrannte Kalkmergel bestimmter chemisch-physikalischer Beschaffenheit geben Romanzemente. Der Einwirkung der Atmosphärilien ausgesetzt oder mit Wasser benetzt, zerfällt das gebrannte Material nicht, oder doch nur teilweise, muss daher stets auf geeigneten Mahlvorrichtungen zerkleinert werden. Das Mahlgut ist erdig-körnig; die Farbe gelblich, mit Abstufungen ins Rötlichbraune. Angemacht erwärmt sich der Romanzement je nach Beschaffenheit des Rohmaterials, Behandlung der gebrannten Steine, Dauer der Lagerung u. dergl. mehr verschieden. Ebenso variieren seine Abbindeverhältnisse! meist beginnt die Erhärtung der Romanzemente schon nach wenigen Minuten.

Romanzemente müssen an der Luft, wie unter Wasser raumbeständig sein. Das spezifische Gewicht der Romanzemente variiert und steigt nur ausnahmsweise über 3,0, der Glühverlust selten über 5 %.

Romanzemente können zu rasch fortschreitenden Luft- und Wasserbauten, insbesondere dort, wo es sich um Dichten, Trockenlegen und rasche Formgebung, in zweiter Linie um Festigkeit handelt, Verwendung finden."

C. Der Portlandzement.

Über die Eigenschaften von Portlandzement berichtet ein im Baumaterialien-Markt, Nr. 9 — Jahrgang 1910 — abgedruckter Aufsatz von H. Burchartz*): (Heft I der Mitteilungen des Kgl. Materialprüfungsamts Gross-Lichterfelde, 1910.)

Um einen Überblick über die Eigenschaften von im Betriebsjahr 1907/08 geprüften 100 deutschen Portlandzementen zu gewinnen, sind die Ergebnisse der mit diesen ausgeführten Prüfungen, soweit sie vollständig nach den preussischen Normen vorgenommen wurden, in einer Tabelle zusammengefasst, und

zwar als Mittelwerte aus je 3 Einzelversuchen für die Eigenschaften: Gewicht, spez. Gewicht, Glühverlust, Mahlfeinheit, Raumbeständigkeit und Abbindezeit, sowie aus je 10 Einzelversuchen für die Festigkeitseigenschaften.

Die Zemente sind nach steigender Druckfestigkeit des 28 Tage alten Normenmörtels geordnet. Bei einigen Zementen sind auch Festigkeitsprüfungen mit reinem Zement (Bestimmung der Eigenfestigkeit) vorgenommen.

Sämtliche geprüften Zemente entsprachen den Normen hinsichtlich der Mahlfeinheit. Alle Zemente bestanden die Raumbeständigkeitsprobe nach den Normen (Kaltwasserprobe und Luftprobe) und die Darrprobe. 28 % bestanden nicht die Kochprobe. Sämtliche Zemente erfüllten die Anforderungen der Normen bezüglich der Zugfestigkeit; 3 % erreichten nicht die verlangte Druckfestigkeit.

Die schnellbindenden Zemente standen durchschnittlich den langsambindenden an Festigkeit nicht nach. Ein Raschbinder von 7 Minuten Abbindezeit hatte sogar 29,1 kg/qcm Zugfestigkeit und 342 kg/qcm Druckfestigkeit.

Aus den Tabellen ergibt sich im übrigen:

1. Raumgewicht.

Das Raumgewicht des eingelaufenen Zementes schwankt in der Mehrzahl der Fälle (28 %) zwischen 1,10 und 1,15 kg/l. Die übrigen Fälle gliedern sich eng an das Mittel an. Etwas ungleichmässiger sind die Werte für das Raumgewicht des eingerüttelten Zementes. Es liegt im wesentlichen in den Stufen zwischen 1,75 und 2,05 kg/l.

2. Spezifisches Gewicht.

Das spezifische Gewicht des lufttrockenen Zementes liegt in der Mehrzahl der Fälle (67 %) zwischen 3,05 und 3,15. Unter 3,05 liegen nur 10 %, über 3,15 nur 4 %. Das spezifische Gewicht des geglühten Zementes liegt in der Mehrzahl der Fälle (61 %) zwischen 3,20 und 3,25. Die übrigen Fälle schliessen sich eng an das Mittel an.

3. Glühverlust.

Der Glühverlust liegt in der Mehrheit der Fälle in den Grenzen zwischen 1 und 2 % (27 %), 2 und 3 % (30 %) und 3 und 4 % (17 %). Über 4 % Glühverlust haben 21 % Zemente.

4. Wasseranspruch für Normalsteife.

Die Mehrzahl der Fälle (38 %) liegt zwischen 25 und 27 %. 17 % Zemente verlangen zwischen 23 und 25 %, 28 % zwischen 27 und 29 % und 11 % zwischen 29 und 31 % Wasserzusatz.

5. Mahlfeinheit.

Für den Rückstand auf dem 900-Maschensiebe liegt die Mehrzahl der Fälle (49 %) zwischen 0 und 1 %; 36 % liegen zwischen 1 und 2 %; die darüber liegenden gruppieren sich eng an das Mittel an. Im Vorjahre waren die Zemente durchschnittlich feiner. 69 % lagen zwischen 0 und 1 % und nur 31 % über 1 %. Für den Rückstand auf dem 5000-Maschensiebe schwankt die Mehrzahl der Fälle (36 %) zwischen 15 und 20 %. Die übrigen verteilen sich gleichmässig nach unten bis 3,4 % und nach oben auf die anderen Grenzstufen. Im Vorjahre war die Mehrzahl der Fälle zwischen 15 und 22 % höher, sie betrug 45 %.

6. Zugfestigkeit (28-Tagesfestigkeit des Normenmörtels).

Für die Mehrzahl der Fälle (53 %) schwankt die Zugfestigkeit zwischen 20 und 25 kg/qcm. Die übrigen Fälle gruppieren sich eng an das Mittel. Im Vorjahre betrug die Mehrzahl der Fälle für die Grenze 20 bis 25 kg/qcm nur 46 %.

7. Druckfestigkeit (28-Tagesfestigkeit des Normenmörtels).

Die Mehrzahl der Fälle (43 %) liegt zwischen 200 und 250 kg/qcm. Die übrigen Fälle gliedern sich ziemlich eng an das Mittel an.

8. Verhältnis von Druck: Zug (28-Tagesproben).

Die Mehrzahl der Fälle (44 %) schwankt zwischen den Verhältnissen 8 und 10 Die übrigen Fälle gruppieren sich eng um das Mittel.

Auf chemische Zusammensetzung ist nur eine geringe Anzahl von Zementen geprüft worden. Aus den vorliegenden Analysenwerten ist jedoch ersichtlich, dass die Zusammensetzung innerhalb der gleichen Grenzen liegt, wie sie im Vorjahre gefunden wurden. — Vgl. „Baumaterialien-Markt" 1907, S. 745.

Nach den von dem Leiter des Laboratoriums des Vereins Deutscher Portland-Zement-Fabrikanten zu Karlshorst, Herrn Dr. Framm, freundlichst zur Verfügung gestellten Angaben sind die bei der Analyse von 82 Portlandzementen gefundenen Grenz- und Mittelwerte der Einzelbestandteile folgende:

	Kleinstwert	Höchstwert	Mittel
In Salzsäure unlöslich	0,25 %	6,78 %	1,40 %
Kieselsäure (SiO_2)	17,75 „	24,86 „	20,87 „
Tonerde (Al_2O_3)	4,08 „	9,25 „	7,63 „
Eisen (Fe_2O_3)	0,75 „	4,33 „	2,98 „
Kalk (CaO)	56,88 „	68,12 „	62,99 „
Magnesia (MgO)	0,67 „	3,79 „	1,55 „
Schwefelsäure (SO_3)	0,86 „	2,86 „	1,85 „
Sulfid. Schwefel	0,00 „	0,52 „	0,10 „

In einer Tabelle sind die Abweichungen der Einzelwerte vom Mittel für die 28-Tages-Zug- und Druckfestigkeit des Normenmörtels von allen 100 Zementen zusammengefasst und in einer Abbildung zum Schaubilde aufgetragen. Der Verlauf der Schaulinien zeigt, dass die Abweichungen der Druckfestigkeitswerte etwas geringer sind, als die der Zugfestigkeitswerte, dass also, wie früher schon Martens auf Grund eines umfangreichen Zahlenmaterials nachgewiesen hat, der Druckversuch zuversichtlicher ist, als der Zugversuch. —

Um die Beziehungen der Mörtelfestigkeit der Zemente zu deren Eigenfestigkeit zur Anschauung zu bringen, sind die ermittelten Zug- und Druckfestigkeitswerte des reinen Zementes von 22 Zementen mit den bezüglichen mittleren Normen-Mörtelfestigkeiten in einer Tabelle nach steigender 28-Tages-Druckfestigkeit des reinen Zementes geordnet und in einer Abbildung zeichnerisch aufgetragen. In einer andern Tabelle sind ferner die Verhältniszahlen, die das Verhältnis der Eigenfestigkeit (=100) zur bezüglichen Mörtelfestigkeit darstellen, verrechnet.

Die Mörtelfestigkeit der Zemente steigt mit zunehmender Eigenfestigkeit gesetzmässig; das Verhältnis ist jedoch bei den weniger festen Zementen im allgemeinen günstiger, als bei den festeren.

Die „Schweizer Normen“ definieren:

„Portlandzemente (Ciment Portland) sind Erzeugnisse, welche aus Kalkmergeln oder künstlichen Mischungen ton- und kalkhaltiger Materialien durch Sinterung im Feuer und darauffolgende Zerkleinerung auf Mehlfeinheit gewonnen werden.

Zur Regulierung technisch wichtiger Eigenschaften der Portlandzemente ist ein Zusatz fremder Stoffe bis zu 2 % des Gewichtes ohne Änderung des Namens zulässig.

Bemerkungen.

Bei durchgreifender Sinterung gargebannte Kalkmergel oder künstliche Mischungen ton- und kalkhaltiger Materialien bestimmter Zusammensetzung geben Portlandzement.

Zemente dieser Kategorie, welche ohne weitere Aufbereitung des Rohmaterials, also direkt durch Brennen geeigneter Kalkmergel erzeugt werden, nennt man natürliche Portlandzemente. Sie unterscheiden sich nur insoferne von den sog. künstlichen Portlandzementen, als bei diesen die Rohmaterialkomponenten in entsprechend zerkleinertem Zustande einem künstlichen Mischprozesse unterworfen werden.

Unter Einwirkung der Atmosphärilien oder direkt mit Wasser benetzt, zerfällt das Ofengut (der Klinker) normaler Zusammensetzung nicht; dasselbe muss daher stets auf geeigneten Mahlvorrichtungen zerkleinert werden. Das Mahlgut ist ausgesprochen scharfkörnig, grau mit Übergängen ins Grünlich-Gelbliche. Angemacht erwärmt sich der Portlandzement meist nur unbedeutend, bindet nach Umständen rasch oder langsam ab und soll bei hervorragender, mit der Zeit wachsender Selbst- und Sandfestigkeit an der Luft, wie unter Wasser dauernd raumbeständig sein.

Das spezifische Gewicht des scharf gesinterten Portlandzements beträgt in der Regel mehr als 3,10, sein Glühverlust liegt meist unter 2 %. Portlandzemente von schwachem Garbrand, gemahlen aus längerer Zeit gelagerten oder hydratisierten Klinkern, besitzen bei einem bis 4 % steigenden Glühverlust ein spezifisches Gewicht von unter 3,10.

Portlandzement sind zu allen Bauten unter Wasser oder an der Luft, insbesondere aber bei solchen Konstruktionen zu verwenden, die eine möglichst hohe Anfangsenergie, Frost- und Wetterbeständigkeit in der ersten Phase der Erhärtung, oder die ein besonderes Mass von Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Abnützung fordern. Bei Wasserbauten ist wo immer möglich dafür zu sorgen, dass der Portlandzement abgebunden sei, bevor derselbe der Einwirkung des Wassers ausgesetzt wird. Umgekehrt ist bei Luftbauten ein gleichmässiges Feuchthalten der Konstruktion in der ersten Periode der Erhärtung des Portlandzementes unerlässlich, soll die Kraftentfaltung des Zementes keinen Abbruch erleiden.“

Die Begriffserklärung von Portlandzement nach dem Erlass des Königl. Preussischen Ministeriums für öffentliche Arbeiten vom 28. Juli 1887 lautet:

Portlandzement ist ein Produkt, entstanden durch Brennung einer innigen Mischung von kalk- und tonhaltigen Materialien als wesentlichsten Bestandteilen bis zur Sinterung und darauffolgender Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit.

Die „Deutschen Normen“ siehe in des Verfassers „Kalk und Mörtel“, Seite 296—302. Diese sind jedoch mehrfach umgeändert worden. Die neuesten sind: Deutsche Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement und von Eisen-Portlandzement, Runderlass des Ministers der öffentlichen Arbeiten vom 16. März 1910. (Berlin, Wilh. Ernst und Sohn.)

Aus diesen soll wenigstens die Begriffserklärung, soweit es den hydraulischen Modul anbetrifft, mitgeteilt werden:

„Portlandzement ist ein hydraulisches Bindemittel mit nicht weniger als 1,7 Gewichtsteilen Kalk (CaO) auf 1 Gewichtsteil Kieselsäure (SiO_2) + Tonerde (Al_2O_3) + Eisenoxyd (Fe_2O_3).“

Die Begriffserklärung von Eisen-Portlandzement wird ebendaselbst, wie folgt, normiert:

„Eisen-Portlandzement ist ein hydraulisches Bindemittel, das aus mindestens 70 v. H. Portlandzement und höchstens 30 v. H. gekörnter Hochofenschlacke besteht. Der Portlandzement wird gemäss der Begriffserklärung der Normen des Vereins Deutscher Portlandzementfabrikanten hergestellt. Die Hochofenschlacken sind Kalk-Tonerde-Silikate, die beim Eisen-Hochofenbetrieb gewonnen werden. Sie sollen auf 1 Gewichtsteil lösliche Kieselsäure (SiO_2) + Tonerde (Al_2O_3) mindestens 1 Gewichtsteil Kalk und Magnesia enthalten. Der Portlandzement und die Hochofenschlacke müssen fein vermahlen, im Fabrikbetriebe regelrecht und innig miteinander vermischt werden. Zusätze zu besonderen Zwecken, namentlich zur Regelung der Bindezeit, sind nicht zu entbehren, jedoch in Höhe von 3 v. H. der Gesamtmasse begrenzt, um die Möglichkeit von Zusätzen lediglich zur Gewichtsvermehrung auszuschliessen.

Begründung und Erläuterung.

Durch langjährige, staatlich ausgeführte Versuche ist festgestellt worden, dass, wenn geeignete, gekörnte Hochofenschlacke bis zu 30 v. H. mit Portlandzementklinker fabrikmässig innig gemischt wird, der so erhaltene Zement „Eisen-Portlandzement“ dem Portlandzement als gleichwertig zu erachten ist und nach dessen Normen beurteilt werden kann.

Der Eisen-Portlandzement steht unter der regelmässigen Kontrolle des Vereins Deutscher Eisen-Portlandzementwerke, dessen Mitglieder sich gegenseitig verpflichtet haben, den Eisen-Portlandzement genau nach der vorstehenden Begriffserklärung herzustellen.“

Über den Eisen-Portlandzement ist vieles schon in des Verfassers „Kalk u. Mörtel“ gesagt worden. Ebenso über den „natürlichen“ Portlandzement.

D. Der Trass.

Der Trass ist überhaupt kein Kalk. Er soll aber aus dem Grunde aufgeführt werden, weil manche ihn für einen solchen oder für eine Art Zement halten. Trass ist ein aus natürlichem vulkanischem Tuff durch Mahlen und Sieben hergestelltes Zuschlagmittel, welches ohne Kalk nicht erhärtet.

In des Verfassers „Kalk und Mörtel“ ist dieses vorzügliche Mörtelmaterial auf Seiten 120—147, sowie Seiten 355—361 eingehend gewürdigt worden. Ferner empfehle ich die Lektüre der sehr lesenswerten, übrigens schon vorher erwähnten Schriften von Anton Hambloch, Andernach:

„Der rheinische Trass als hydraulischer Zuschlag in seiner Bedeutung für das Baugewerbe“ 1903.

„Trass und seine praktische Verwendung im Baugewerbe“ 1908.

„Die Monographie des Trasses“ 1908.

„Die rheinische Puzzolane: Der Trass“ (Erklärung der Erhärtungsvorgänge des Trassmörtels) 1908.

„Der Trass, seine Entstehung, Gewinnung und Bedeutung im Dienste der Technik“ 1909; usw.

Auch haben D. Zervas Söhne, G. m. b. H., Köln eine stattliche Reihe äusserst interessanter Abhandlungen über Trass und die Mischungsverhältnisse des Kalktrassmörtels veröffentlicht.

Hier genügt es, die Begriffserklärung und Prüfung von Trass, aus welchen die Eigenschaften des Trasses*) zur Genüge hervorgehen, zu erörtern. Der Verfasser tut es an Hand einer im „Baumaterialien-Markt“ Nr. 18 und 19 — Jahrgang 1910 — wiedergegebenen Abhandlung von Prof. M. Gary**):

„Der Deutsche Verband für die Materialprüfungen der Technik hat in seiner Hauptversammlung vom 18. September 1908 in Darmstadt auf Antrag des Ausschusses VI beschlossen, die Beschlüsse der Hauptversammlung in Rüdesheim***) vom 29. Sept. 1900 über die Prüfung von Trass in folgenden Punkten abzuändern:

1. Die Vorschrift bei Bestimmung des Glühverlustes soll fortab lauten:

„Guter Trass soll mindestens 7% Glühverlust (Hydratwasser, d. i. chemisch gebundenes Wasser) ergeben.“

Die in den früheren Vorschriften dann folgenden Sätze, von dem Wort „ergeben“ an, sollen fortfallen.

2. Bei Bestimmung der Zug- und Druckfestigkeit soll das Mischungsverhältnis für Kalkbrei Anwendung finden, so dass als Normenmischung ein Trassmörtel gilt in der Zusammensetzung von 1 Raumteil Trass, 1 Raumteil Normenkalkbrei, 1 Raumteil Normensand zuzüglich des etwa noch erforderlichen oder abzüglich des etwa zuviel vorhandenen Wassers, derart, dass der Mörtel feuchter Erde ähnlich wird und sich ballen lässt, ohne jedoch plastisch zu sein, und dass er sich mit 150 Schlägen mit dem Böhme'schen Hammerapparat einschlagen lässt.

An Stelle des für die Mischung dieses Mörtels bisher benutzten sogenannten Steinbrück-Schmelzer'schen Normalmischers soll ein kleiner Kollergang, welcher der Eigenart des Trassmörtels hinsichtlich besseren Durcheinanderarbeitens der einzelnen Stoffe mehr Rechnung trägt, verwendet werden. (Vgl. hierzu „Baumaterialien-Markt“ 1910, S. 153.)

Ausserdem werden in bezug auf Mahlfeinheit, Dauer des Mischens, Zahl der Umdrehungen und der Art der Ablöschung von Kalk in Breiform einige Änderungen der Vorschriften für notwendig erachtet, so dass diese unter Berücksichtigung der sich ergebenden redaktionellen Änderungen nunmehr die nachstehend abgedruckte Form annehmen. Der Mitteilung des Vorschriftentextes ist die Begründung für die beschlossenen Änderungen angereiht:

---

*) Es soll noch besonders betont werden, dass der Trass des Ries (bei Nördlingen, Baiern) dem Nettetaler Trass an Wirkung bedeutend nachsteht. Der betreffende Rohtuff ist abgesehen von seiner ganz anderen geologischen Entstehung, von einer durchaus ungleichen, sehr schwankenden Zusammensetzung und zu Vertrauensbauten unbrauchbar. Sehr interessantes und vieles hierüber bringt die schon mehrfach angezogene Schrift von Anton Hambloch, „Die Monographie des Trasses“.

**) Heft 2 und 3, 1910, Mitt.

***) Mitteilungen aus dem Kgl. Materialprüfungsamt 1901, S. 8.

Vorschlag zu Vorschriften für die Prüfung von Trass.

1. Begriffserklärung.

Trass ist gemahlener Tuffstein, der, aus vulkanischen Auswurfmassen gebildet, in Deutschland vorwiegend im Zuge des Nettetales in der Nähe der Dörfer Plaidt, Kretz und Kruft bei Andernach gefunden wird.

Bei der Gewinnung des Tuffsteines unterscheidet man im Nettetal gelbe, graue und dunkelgraue (blaue) Steine. Der gelbe Tuffstein liegt nahe der Grundwasserlinie, die dunkleren Arten, zugleich die härteren und besseren, liegen darunter. Das Gestein, welches zur Vermahlung kommt und den Trass bildet, besteht etwa zur Hälfte aus gelben, zu je einem Viertel aus grauen und blauen Steinen.

2. Verpackung und Gewicht.

Trass wird als fester Stein oder in Pulverform geliefert, in letzterem Falle in Säcken oder lose verladen. Das Gewicht des Trasses in Säcken soll 51 bzw. 76,5 kg brutto betragen.

3. Gehalt an hygroskopischem Wasser und Hydratwasser. Glühverlust.

Trass soll mindestens 7% Hydratwasser (chemisch gebundenes Wasser) enthalten. Guter Tuffstein enthält meist mehr als 7% Hydratwasser; die Prüfung auf Hydratwassergehalt gibt deshalb Anhalt dafür, ob der Trass aus guten (hydraulischen) Tuffsteinen hergestellt ist.

a) Vorbereitung der Proben für die Glühverlustbestimmung.

Von dem zu untersuchenden gemahlenen Trass wird eine Durchschnittsprobe von etwa 20 g entnommen und in einer Reibschale soweit zerkleinert, dass alles durch ein Sieb von 900 Maschen auf 1 qcm geht.

Wird der zu untersuchende Trass aus angelieferten ungemahlenen Tuffsteinen hergestellt, so ist darauf zu achten, dass die aus den letzteren entnommene Probe eine möglichst richtige Durchschnittsprobe von etwa 10 kg aus der Lieferung darstellt, und dass die entnommenen Steine genügend durcheinander gemischt werden.

Die 10 kg, faustgrossen Stücke sind im Mörser zu zerstossen, bis auf dem Sieb mit 1 Masche auf 1 qcm kein Rückstand verbleibt. Von dem Siebgut ist nach gründlichem Durchmischen 1 kg zu entnehmen, welches so weit zerkleinert wird, dass auf dem 60-Maschen-Sieb kein Rückstand verbleibt. Von diesem Siebgut sind 100 g fein zu reiben, bis auf dem 900-Maschen-Sieb kein Rückstand verbleibt.

b) Ermittelung des Trockenverlustes.

Um die Menge des hygroskopischen (mechanisch festgehaltenen) Wassers zu bestimmen, werden von der nach der Vorschrift unter a vorbereiteten Trassmenge 10 g in ein Wiegegläschen mit eingeschliffenem Stopfen und einer Bodenfläche von mindestens 4 cm Durchmesser gefüllt. Das Gläschen wird offen mit geneigt auf die Öffnung gelegtem Stopfen in einen Trockenschrank mit Wasserumspülung und Lufterneuerung gebracht und während 3 Stunden gleichmässig auf annähernd 98° C erhitzt. Zu beachten ist, dass die Flamme nicht unter dem Boden des Schrankes hervorschlägt und die Tür erhitzt, wodurch der Trockenraum stärker erwärmt wird, als es das kochende Wasser

bedingt. Es ist ferner darauf zu achten, dass sich keine Wasserdämpfe im Innern des Schrankes niederschlagen können.

Alsdann wird das Gefäss, mit dem warmen Stopfen verschlossen, herausgenommen und zum Abkühlen in einen Exsikkator gebracht. Die dann festgestellte Gewichtsabnahme wird als der Gehalt des Trasses an hygroskopischem Wasser angesehen.

Für die genaue Ermittelung des mechanisch gebundenen Wassers ist es notwendig, die Trocknung bei ungefähr 98° C bis zu gleichbleibendem Gewicht fortzusetzen; für die Praxis werden aber meistens 3 Stunden Trockenzeit genügen, da nach dieser Zeit die Gewichtsabnahme nur noch Zehntel-Prozente zu betragen pflegt, um welche sich der Glühverlust alsdann höher stellt.

c) Ermittelung des Glühverlustes.

Um den Glühverlust zu bestimmen, werden von der nach der Vorschrift unter a vorbereiteten Trassprobe 10 g (die zweite Hälfte der vorbereiteten Menge) in einem Platin- oder Porzellantiegel entweder 30 Minuten über dem Gasgebläse oder im Hempelschen Glühofen mindestens 40 Minuten bis zur Rotglut erhitzt. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Anfangserwärmung des Trasses, der ausser Wasser auch Luft enthält, nur langsam gesteigert wird, so dass erst in 5 bis 10 Minuten Rotglut eintritt; bei zu schneller Erhitzung reissen das heftig austretende Wasser sowie die eingeschlossene Luft feine Teile des Trasses mit sich, wodurch Stoffverlust entsteht, der sich fälschlich als Glühverlust geltend machen würde.

Nach Ablauf der Glühzeit ist der Tiegel mit einer angewärmten Zange sofort zum Erkalten in einen Exsikkator zu bringen.

Nach dem Erkalten wird die Gewichtsabnahme festgestellt.

Bei Berechnung des Glühverlustes (Hydratwassers) muss von dem Gewichtsverlust des geglühten Trasses der Gewichtsverlust des gleichzeitig getrocknetes Trasses (das hygroskopische Wasser) in Abzug gebracht werden. Der dann noch verbleibende Gewichtsverlust des geglühten Trasses muss auf die Gewichtsmenge des vorgetrockneten Trasses, also Trass ohne hygroskopisches Wasser, in Prozenten berechnet werden.

4. Mahlfeinheit.

Trass soll auf einem Sieb von 900 Maschen auf 1 qcm nicht mehr als 20% Rückstand aufweisen. Die Maschenweite des Siebes soll 0,222 mm betragen. Da indessen genaue Siebe im Handel nicht zu haben sind, so sollen Schwankungen in der Maschenweite zwischen 0,215 bis 0,240 mm zulässig sein.

Für die Siebung sollen je 100 g bei 98 bis 100° C getrocknetes Pulver verwendet werden.

Aus der Feinheit der Mahlung allein lässt sich nicht auf die Güte des Trasses schliessen.

5. Festigkeitsproben.

Trass soll in Mischung mit Kalk und Sand nach einheitlichem Verfahren auf Festigkeit geprüft werden, und zwar in Form von Zugprobekörpern mit 5 qcm Zerreissquerschnitt und von Würfeln mit 50 qcm Fläche.

Um die erforderliche Einheitlichkeit bei den Prüfungen zu wahren, wird empfohlen, derartige Apparate und Geräte zu benutzen, wie sie beim Königl.

Materialprüfungsamt in Gross-Lichterfelde in Gebrauch sind. Dieses Amt führt auf Antrag die Prüfung und den Vergleich aller Geräte und Vorrichtungen zur Materialprüfung aus.

6. Zug- und Druckfestigkeit.

Mörtelkörper aus 1 Raumteil Trass, 1 Raumteil Kalkteig (Normenkalk) und 1 Raumteil Sand (Normensand) sollen nach 28 Tagen Erhärtung — 3 Tage in feuchter Luft von 15 bis 20° C, 25 Tage in Wasser von gleicher Wärme — mindestens 14 kg/qcm Zugfestigkeit und 70 kg/qcm Druckfestigkeit aufweisen.

Begründung.

Um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, muss an allen Versuchsstellen Kalk von gleicher Beschaffenheit und Zusammensetzung (Normenkalk) sowie Sand von gleicher Korngrösse und Beschaffenheit (Normensand) benutzt werden.

Normenkalk wird aus den reinsten Kalksteinen des Bruches Christinenklippe zu Rübeland der Vereinigten Harzer Kalkindustrie zu Elbingerode unter Aufsicht des Kgl. Materialprüfungsamtes Gross-Lichterfelde erzeugt. Grosse, möglichst reine Stücke dieses Kalksteines werden im Ringofen im Grossbetriebe gebrannt. Von den gebrannten Stücken werden wiederum die reinsten ausgesucht, von allen etwa anhaftenden Verunreinigungen, Krebsen, Schlacken usw. befreit und abgelöscht. Beim Löschen wird Sorge getragen, dass das Löschwasser über dem Kalk einige Zeit steht, und dass von der Kalkmilch nur die obersten $^3/_4$ in die Grube abgelassen werden, so dass die schwerlöschenden Teile in der Pfanne zurückbleiben. Die Kalkmilch wird in eine zweiteilig gemauerte Grube abgelassen, von der die eine Hälfte stets gefüllt und verschlossen gehalten wird, während aus der anderen Hälfte der Normenkalk in luftdicht verschlossenen Gefässen unter der Plombe des Materialprüfungsamtes in den Handel kommt.

Der deutsche Normensand wird aus einem tertiären Quarzitlager der Braunkohlenformation in der Nähe von Freienwalde a. O. gewonnen. Der fast weisse Rohsand wird in einer Waschmaschine gewaschen und künstlich getrocknet. Die Absiebung des trockenen Sandes geschieht auf Schwingsieben, die pendelnd aufgehängt sind. Auf dem einen Siebe wird erst das Grobe abgesiebt und dann auf dem anderen das Feine. Von jeder Tagesfertigung wird eine Probe auf Korngrösse und Reinheit im Kgl. Materialprüfungsamt kontrolliert. Zur Kontrolle der Korngrösse dienen Siebe von 0,25 mm dickem Messingblech mit kreisrunden Löchern von 1,350 und 0,775 mm Durchmesser. Die Kontrollsiebe fertigt das Kgl. Materialprüfungsamt. Der nach verschiedenen Kontrollproben für gut befundene Normensand wird gesackt, und jeder Sack wird mit der Plombe des Kgl. Materialprüfungsamtes verschlossen.

7. Herstellung der Probekörper*) zur Ermittelung der Zug- und Druckfestigkeit.

a) Mischen des Mörtels.

Der Trassnormen-Mörtel aus 1 Raumteil (= 1 Gewichtsteil) Trass, 1 Raumteil (= 1,4 Gewichtsteil) Normenkalk und 1 Raumteil (= 1,5 Gewichtsteil) Normensand soll in dem Trassnormen-Kollergang (vgl. die Mitteilung im Eingang) wie folgt gemischt werden:

1 kg des Trasses im Anlieferungszustande und 1,4 kg des vorher in einem starken porösen Tuch bis auf etwa 43—46% Wassergehalt abgepressten Normenkalkteiges werden in einer Schüssel mit einem Löffel 3 Minuten lang gemischt. Dann werden sie im Trassnormen-Kollergang gleichmässig verteilt und durch 50 Tellerumdrehungen bearbeitet. Diesem Gemisch wird der Normensand in

*) Um bei der Prüfung des Trasses an verschiedenen Stellen übereinstimmende Werte zu erhalten, ist es notwendig, auf die genaue Einhaltung der nachstehend gegebenen Vorschriften besonders zu achten.

dem vorgeschriebenen Anteil unter gleichmässiger Verteilung im Kollergang unter Anwendung von 25 Tellerumdrehungen durchgearbeitet. Der Mörtel wird dann, wenn nötig, auf Gipsplatten so lange abgesaugt, bis er erdfeucht ist, d. h. sich in der Hand eben noch ballen lässt.

b) Formarbeit.

Aus dem formgerecht bereiteten Mörtel sollen Zug- und Druckproben in den für die Zementprüfungen üblichen Formen und Grössen gefertigt werden.

210 g des Mörtels werden in die Normenzugformen und 860 g in die Normendruckformen eingefüllt und mit 150 Schlägen des Normenhammerapparates (Bauart Böhme mit Festhaltung Martens) gleichmässig eingerammt.

Die Oberfläche der so hergestellten Probekörper wird mit einem Messer abgestrichen, geglättet und gezeichnet. Die Körper werden mit der Form auf nicht absaugende Unterlagen (Glasplatten) in feucht gehaltene, bedeckte Kästen gebracht, und die Zugproben nach etwa einer halben Stunde, die Druckproben nach etwa 2 Stunden entformt.

Drei Tage nach Herstellung werden die Körper unter Wasser von 15—20° C gelagert. Das Wasser wird während der Lagerzeit nicht erneuert. Soweit es verdunstet, wird es durch Wasser gleicher Wärme ersetzt.

c) Prüfung.

Die Körper werden unmittelbar vor der Prüfung dem Wasser entnommen.

Der Druck soll stets auf 2 Seitenflächen des Würfels, nicht aber auf die Bodenfläche und die bearbeitete obere Fläche des Würfels ausgeübt werden.

Um zuverlässige Durchschnittswerte zu erhalten, ist es erforderlich, von jeder Mischung mindestens 10 Zugproben und 5 Druckproben zu prüfen.

Begründung.

Zu a: Die sehr grosse Gleichmässigkeit, die die verschiedenen Trasssorten im Gewicht aufweisen, lässt es unbedenklich erscheinen, für die zu prüfende Normenmischung 1 Raumteil Trass = 1 Gewichtsteil zu setzen. Die Raumgewichte des Normenkalkes und des Normensandes sind als Mittelwerte aus zahlreichen Versuchen in die Mischung eingesetzt.

Der in Vorschlag gebrachte Kollergang ist durch viele Versuche erprobt und für den beabsichtigten Zweck für geeignet befunden worden. Die Vereinbarung eines bestimmten Mischapparates war notwendig, um die unvermeidlichen Ungleichmässigkeiten der Versuchsergebnisse auf ein Mindestmass einzuschränken. Der früher in Vorschlag gebrachte, für die Zementnormenprüfung benutzte Mörtelmischer — Bauart Steinbrück-Schmelzer — hat sich für die Trasskalkmischung als ungeeignet erwiesen, weil es mit seiner Hilfe nicht möglich ist, Trass und Kalk in innige Berührung miteinander zu bringen und damit das Bindemittel des Mörtels so zu homogenisieren, wie es im Interesse einheitlicher Prüfung erforderlich erscheint*).

Auch die Zahl der Tellerumdrehungen ist durch praktische Versuche erprobt. In der angegebenen Weise entsteht ein gleichmässiger, aber nicht übermässig gekneteter Mörtel.

Die Verwendung plastischer Mörtel ist erwogen, aber fallen gelassen worden, weil die Erfahrung gelehrt hat, dass mit plastischen Mörteln nur sehr schwer gleichmässige Körper, die übereinstimmende Werte liefern, erzeugt werden können und weil es im Interesse der Baustellen wünschenswert erschien, nach Möglichkeit diejenigen Apparate und Verfahren beizubehalten, die für die Zementprüfung Verwendung finden.

Zu b: Die Behandlung der Probekörper ist der Eigenart des Materials ange-

*) Vergl. Mitteilungen aus dem Kgl. Materialprüfungsamt 1909, Seite 38—45 (oder „B.-M.“ 1910, S. 86).

passt. Besonders muss auf die Innehaltung der vorgeschriebenen Wasserwärme Wert gelegt werden, weil die Trasskalkmörtel im Anfange der Erhärtung gegen Kälteeinflüsse empfindlicher sind als andere Mörtel und weil auf vergleichbare Werte nur zu rechnen ist, wenn die Körper unter tunlichst gleichbleibenden Bedingungen erhärten.

Zu c: Die Prüfung schliesst sich dem Verfahren bei Prüfung der Zementnormenkörper eng an. An der vorgeschriebenen Zahl der Einzelversuche musste mit Rücksicht auf die den Prüfungsverfahren allgemein anhaftenden Unsicherheiten festgehalten werden.

In den letzten Jahren tritt der Trass auch in anderer Gestalt auf den Markt. In des Verfassers „Kalk und Mörtel" wurde schon auf die Verwendung des Brohler Bergtrasses zur Fabrikation des Glases hingewiesen. Etwas Neues ist seine Einführung in die Landwirtschaft.

Trass ist geologisch nach Anton Hambloch „ein Produkt vulkanischen Schlammes, der sich in den Talniederungen abgelagert hat" mit durchschnittlich 25 bis 35 % verbindungsfähiger Kieselsäure und 10 % Kalinatron.

Besonders die Tuffasche, weil im Gegensatz zum festen Tuffstein durch die permanente Grundwassereinwirkung nicht ausgewaschen, enthält weit mehr vollständig lösliches Kali. Dieses wird im vollen Umfange von dem Boden bezw. den Kulturgewächsen aufgenommen. Aber der Kalk fehlt. Die Firma Gerhard Herfeldt-Andernach stellt nun aus den lockeren Tuffsteinvarietäten durch Zusatz von Kalk und unter Einwirkung gespannten Dampfes ein neues Düngemittel mit aufgeschlossenen Silikaten her (D. R. P. 195133): „Kalihaltiger Zeolithdünger". Prof. Dr. Th. Remy-Bonn möchte es kalihaltigen Kalktrassdünger nennen.

Zwei Analysen sollen diesen Dünger kennzeichnen:

a) Gesamtanalyse des kalihaltigen Zeolithdüngers, von Anton Hambloch, Andernach.

(Die Ziffern stellen den Durchschnitt aus drei Kontrollanalysen dar.)

SiO_2	48,19 %
TiO_2	0,70 „
Al_2O_3	14,65 „
Fe_2O_3	3,32 „
MnO	0,03 „
CaO	12,64 „
MgO	1,02 „
K_2O	4,64 „
Na_2O	4,80 %
Glühverlust	10,98 „
	100,97 %

b) Teilanalyse von Professor Dr. Tacke, Vorsteher der Moor-Versuchs-Station in Bremen.

K_2O	4,77 %
davon in Salzsäure löslich	2,90 %
davon in Wasser löslich	0,45 „
CaO	12,30 „
davon an Kohlensäure gebunden	1,35 „

Zeolithe, d. s. wasserhaltige Silikatmineralien, besitzen die seltene Eigenschaft, sich mit allen anderen künstlichen Dünge-Nährsalzen (Kalisalzen,

Phosphaten, Nitraten usw.) auf die vorteilhafteste Weise zu verbinden. Es findet also gewissermassen eine Aufspeicherung oder eine Konzentration aller wirksamen Bestandteile der Düngestoffe durch die zeolithischen Wirkungen dieses neuen Produktes statt. Die Silikate treten als Säuren sofort in einen Austausch mit den Kalk- und Nährsalzen als Basen, und resultieren aus diesem geradezu idealen Wechselprozesse die glänzendsten Wirkungen. Dadurch werden die bekannten enormen Verluste bei Kunstdüngern, infolge vorzeitiger Auswaschung und wirkungsloser Abführung in die tieferen Bodenschichten durch starke Regenmassen völlig verhindert. Ebenso werden die gefürchteten und kostspieligen Stickstoffentweichungen beim früheren Ausstreuen des Düngers vermieden. Die Verbindungen, welche die Zeolithe mit den anderen Nährsalzen des Bodens eingehen, sind leicht lösliche und werden von allen Bodengattungen daher zur höchstmöglichen Ausnützung gebracht. Es liegt darin auch die Gewissheit, dass durch diese günstigen Verbindungen der Zeolithe eine lang anhaltende Wirkung auf den Boden selbst auf Jahre hinaus ausgeübt wird.

Gebrauchsanweisung für den Kalihaltigen Zeolithdünger.

Der günstigste Zeitpunkt für die Verabreichung des Düngers ist beim Weinbau derjenige nach der Lese, und in allen anderen Fällen, beziehungsweise beim Ackerbau, im Winter und Frühjahr. Um eine möglichst schnelle und vorteilhafte Wirkung des Düngers zu erzielen, ist derselbe vorwiegend als Kopfdünger anzuwenden, d. h. der Dünger ist nur ganz wenig mit den obersten Schichten des Erdreiches zu vermengen. Nur in den Fällen, zum Beispiel bei Rüben, wo die Wurzeln in grösserer Tiefe liegen, ist eine gründlichere Umarbeitung mit dem Erdreich zweckmässig.

Für die einzelnen Verwendungsfälle dienen folgende Angaben bezüglich der erforderlichen Mengen an Zeolithdünger. Demselben sind dann in gleichem Verhältnis, wie an früherer Stelle erwähnt, das Thomasschlackenmehl und der Chilisalpeter hinzuzufügen, beziehungsweise auf je 100 kg des Zeolithdüngers 6 kg Thomasschlackenmehl, oder $2^1/_2$ kg Superphosphat und 3 kg Chilisalpeter zuzusetzen.

a) pro Hektar = 100 Ar.

1. bei Wiesen	750 kg	($7^1/_2$	Doppelzentner)
2. „ Sommergetreide	600 „	(6	„)
3. „ Wintergetreide u. Leguminosen	750 „	($7^1/_2$	„)
4. „ Kartoffeln bezw. Hackfrüchten .	800 „	(8	„)

b) pro Ar = 100 qm.

1. bei Wein, Tabak und Hopfen	20 kg
2. „ Obstbäumen und Obststräuchern .	20 „
3. „ Gemüsen	30 „

Aus einem meiner Zeitungsartikel „Die treuesten Helfer der Landwirte“ bringe ich folgenden Auszug:

Fehlen diese Zeolithe — und dies ist leider noch in vielen Ackerböden der Fall — so können darin die Pflanzennährstoffe nicht festgehalten werden. Am schlimmsten erweisen sich sandige und ungünstige Lehmböden, und mag solchen noch soviel an Nährsalzen zugeführt werden. Es ist in der Landwirtschaft nur zu bekannt, dass man einem Sandboden keine Ausnutzung einer

Düngung von 100 kg Chilisalpeter zumuten kann, weil die Zeolithe fehlen, die nach und nach dieser Dünger an die Pflanze abgeben würde.

Will daher der Landwirt seinen Boden verbessern und die Ausnutzung aller Ackerdünger erhöhen, so verwende er kalihaltigen Zeolithdünger, Deutsches Reichspatent Nr. 195133, womit sich augenblicklich die Gelehrtenwelt zwecks näherer wissenschaftlicher Erforschung für seine vorzüglichen Wirkungen noch befasst. Erst dann wird es möglich sein, auf Böden von fünf Klassen abwärts Ernten zu machen, wie auf besseren Böden.

Ferner hat der kalihaltige Zeolithdünger nach dem Pohlschen Verfahren, von Gerhard Herfeldt in Andernach, für Mark 2.50 pro 100 kg, loco Fabrikstelle, ausschliesslich Sack, in den Handel gebracht, auch hervorragende Wirkungen für den Pflanzenschutz. Winzer, welche den Dünger verwendeten, brauchten ihre Weinberge nicht mehr zu spritzen, und es blieben die gefürchteten Krankheiten, wie namentlich die Blattfallkrankheit (Peronospora viticola) aus. Ebenso verhielt es sich beim Kartoffelbau, und konnte auch dort durch die erheblich verstärkte Epidermis ein Zurückgehen der ebenso gefährlichen Blattrollkrankheit (Phytophthora infestans) beobachtet werden.

Gleiche Feststellungen machte Herr Professor Dr. Pfeiffer in Breslau bei Rübsamen, Kartoffeln und Zuckerrüben. Es zeigte sich da, dass diese Pflanzen alle von Blattläusen und Pilzen verschont blieben, weil eben hier die lösliche Kieselsäure des neuen Düngmittels, welche in demselben in hohem Masse vorhanden ist, die kräftige Entwickelung der Oberhaut der Pflanzen (Epidermis) hervorrief und andrängende Pilzmyzels den Pflanzen nichts mehr anhaben konnten.

Ausserdem verweise ich auf folgende Abhandlungen:

Anton Hambloch (Sonderabdruck aus „Der Steinbruch“, Berlin, Heft 17 — 1908 —): „Der rheinische Trass und seine Eignung als künstliches Düngemittel.“

Prof. Dr. Th. Remy, Bonn („Illustrierte Landwirtschaftliche Zeitung“, Berlin SW. 11; Nr. 6 und 7 — 1910 — Seite 39—42 bezw. 48—50): „Beitrag zur Beurteilung der neuen kalihaltigen Silikatdünger“.

Gutsbesitzer K. Brömme, Asendorf („Landwirtschaftliche Umschau“ Nr. 22 — 1910 — Seite 549—551): „Über Phonolith und andere Silikatdünger“.

Ich selbst habe im hiesigen Kreise Schleiden zu Versuchszwecken diesen Dünger in Mengen von 1—20 Säcken verteilen lassen. Der Erfolg war zu meiner aufrichtigen Freude geradezu überraschend. Mein eigener Garten sieht wie neubelebt aus. Der sonst bedächtige und langsam berechnende Eifeler Bauer wird dieses billige Düngemittel, wie die Aufträge beweisen, in grösseren Mengen fortlaufend von Jahr zu Jahr beziehen.

Das Allerneueuste ist die Verwendung von Trass, in der Mischung mit Kalk, zur Herstellung von Strassenpflaster. Es ist die Verbesserung des Teerschotterverfahrens durch Einführung eines neuen Binde- und Dichtungsmittels „Pyknoton“ (von seinen Erfindern, Kgl. Baurat J. Henning zu Oberlahnstein und Direktor A. Hambloch zu Andernach so genannt)*).

*) Vgl. Heft 9 von „Armierter Beton“ Berlin 1910, sowie „Der Strassenbau“, Zeitschrift für Tiefbau in Staats- und Gemeindewesen, Jahrgang 1910, Nr. 5.

Nachträge.

Seite 5, 8. Absatz, Nr. 5 und 6, und Seite 6: Von anderer geschätzter Seite wird folgende Fassung vorgeschlagen: 5 und 6 sind als Übergänge zum Mergelkalk als schwachhydraulische Kalke anzusprechen, wie sie z. B. in Lengerich und den Teutoburger-Wald-Stationen Brackwede, Steinhagen, Künsebeck, Halle und Dissen-Rothenfelde vorkommen. Sie erhärten rascher, wie die unter 1—4 aufgeführten Luftkalke und werden zweckmässig, um einem vorzeitigen Festwerden in der Grube vorzubeugen, ebenso wie mittel- oder starkhydraulische Kalke „trocken gelöscht" verarbeitet.

7. 8. 9. 10. 11. 12. sind mittelhydraulische Kalke, die als Stückkalk oder gemahlener Kalk (Sackkalk) unter den verschiedensten Bezeichnungen gehandelt werden.

13. und 14. ergeben starkhydraulischen Kalk, können auch als Naturzement bezeichnet werden. Das Löschen dieser Kalke ist in der kälteren Jahreszeit wegen des geringen Gehaltes an Ätzkalk meist mit Schwierigkeiten verbunden und kommen diese Marken auch meist gemahlen in den Handel.

Seite 36, 4. Zeile von oben u. ff.: In Westfalen ist der Sackkalk noch nicht so auf der Höhe, wie im Rheinland und in andern Gegenden. Die westfälischen Werke versenden jährlich etwa 60000 Doppelwagen Stückkalk und nur 15—20000 Doppelwagen „gemahlenen".

Seite 40—43: An die „Chemische Untersuchung der Wasserkalke" möchte der Verfasser noch die analytische Prüfung eines Mörtels knüpfen, soweit der Sandzusatz in Frage steht. Bei Einstürzen von Mauern, Beanstandungen des Mörtels handelt es sich ausser um die Qualität des Kalkes und Sandes um deren Mischungsverhältnis. Dieses festzustellen, ist Sache des Chemikers. Er ermittelt, wieviel Gewichtsteile Kalk und wieviel Gewichtsteile Sand in dem Mörtel sind. Aber es führt zu Missverständnissen, wenn er nicht die Gewichte auf Mass umrechnet, denn auf der Baustelle mischt man nicht nach Kilo oder Zentnern, sondern nach Schubkarren, Hektolitern usw. Ein solcher Fehler wird manchmal gemacht. Hat der Untersuchende z. B. in dem betreffenden Mörtel 10 % CaH_2O_2 gefunden, neben unwesentlichen Mengen von Kieselsäure, Tonerde, Eisenoxyd usw., so blieben 90 % für den Sand übrig. Das Gewichtsverhältnis ist also 1 : 9, während tatsächlich auf der Baustelle auf 1 Karre gelöschten Kalk 4 Karren Sand genommen wurden, also das Mischungsverhältnis war 1 : 4. Der Unterschied liegt selbstverständlich an den verschiedenen Gewichten von Kalk und Sand. Ein weiterer Fehler ist, den gefundenen Gesamt-Wassergehalt allein auf den Sand zu schlagen.

Um nun von Gewicht auf Mass umzurechnen, hat man nur die für Kalk und Sand gefundenen Gewichte durch die entsprechenden Raumgewichte zu dividieren. Dasjenige des trockenen Kalkpulvers — CaH_2O_2 — sei zu 0,63, dasjenige des Sandes zu 1,46 angenommen; ferner sei das gefundene Gewichtsverhältnis CaH_2O_2 : Sand = 1 : 10. Nach der Gleichung $\frac{1}{0{,}63} : \frac{10}{1{,}46} = 1 : x$ gibt x 4,3. Die Mischung nach Raumteilen wäre also 1 CaH_2O_2 : 4,3 Sand gewesen. Das Wasser kann ausser acht gelassen werden, denn 1 hl Kalkteig, der etwa 140 Kilo wiegen soll, enthält 63 Kilo trockenes CaH_2O_2. Die Raumgewichte von Kalkpulver und von Sand sind selbstverständlich von Fall zu Fall festzustellen.

Seite 43: Wie auch in der Fussnote der Seite 109 berichtigend nachgetragen wurde, ist der Beckumer Wasserkalk als ein mittelhydraulischer Kalk anzusehen, während der Sötenicher schwächer ist. Die alten Festigkeitszahlen in Nr. 2 der Tabellen auf Seite 148 sind allerdings mässig; jedenfalls ist zur Prüfung ein zufällig weniger hydraulisches Stück genommen worden. Einwandfreie Festigkeiten neueren Datums sind die auf Seite 107 aufgeführten.

Die Analyse Nr. 4 des Sötenicher auf Seite 43 ist zwar derjenigen des Beckumer Nr. 5 sozusagen gleich; diese entspricht aber nicht der verhältnismässig hohen Löschergiebigkeit bzw. dem Raumgewicht desselben und den Festigkeitszahlen.

Auch ist die Analyse Nr. 3 von Geseke nicht typisch; der Geseker Mergel hat im allgemeinen mehr Tonsubstanz.

Seite 48: Ein gemahlener Kalk aus der Eifel (als Wasserkalk empfohlen!?) enthält nach meinen Untersuchungen:

Wasser	20,98 %
Kohlensäure CO_2	0,28 „
Kalk, Gesamtmenge	71,45 „

Daraus berechnet sich:

Kalk CaO	5,89 %
Gelöschter Kalk CaO_2H_2	86,18 „
Kohlensaurer Kalk $CaCO_3$	0,64 „
Das Litergewicht beträgt eingelaufen	443 gr
„ „ „ eingerüttelt	580 „

In 1 Liter Kalkpulver sind enthalten	eingelaufen	eingerüttelt (Sackverpackung)
CaO	26,1 gr	34,2 gr
CaO_2H_2	381,8 „	500,0 „

Der Stückkalk und der Sackkalk aus derselben Gegend besitzt nach der pyknometrischen Bestimmung in Terpentinöl das spezifische Gewicht:

Stückkalk 3,14, Sackkalk 2,60.

Beim Ablöschen des Stückkalkes mit $12^1/_2$ % Wasser liefern ca. 550 gr Stückkalk 1 Liter abgelöschten Kalk eingelaufen.

Beim vollständigen Ablöschen liefern ca. 400 gr Stückkalk 1 Liter abgelöschten Kalk.

Man ersieht hieraus, wie verschieden die Wasserkalke, was ihre chemische Zusammensetzung und ihre sonstigen Eigenschaften anbetrifft, sind. Das betreffende Gebirge ist also nicht einheitlich und jedenfalls ist viel Weisskalk mitverarbeitet worden.

Seite 50: Betreffs der Löschergiebigkeit eines Lengericher, Beckumer und Geseker Kalks: es scheinen hier Zufallsergebnisse vorzuliegen. Jedenfalls muss allgemein gesagt werden, dass der schwachhydraulische Lengericher Wasserkalk die grösste Löschergiebigkeit aufweist, dann folgt naturgemäss der mittelhydraulische Beckumer und dann der hochhydraulische Geseker. So soll ein Doppelwagen des ersteren etwa 23—26 cbm, des zweiten etwa 20—22 cbm, des letzteren etwa 17—19 cbm loses Kalkpulver ergeben.

Seite 51, 89 und 90: ad Mörtelergiebigkeit: Der Verfasser macht hier noch einmal auf die lehrreiche Abhandlung des verstorbenen Stadtbaurats Prof. Schmalz-Charlottenburg auf den Seiten 339 und ff. seines „Kalk und Mörtel“ aufmerksam.

Seite 78: Entstaubungsanlagen liefern ausser den dort genannten Fabriken: Akt.-Ges. Seck, Dresden. Amme, Giesecke & Konegen, A.-G., Braunschweig. W. F. L. Beth, Maschinenfabrik, Lübeck. Gebr. Bühler, Maschinenfabrik, Uzwil (Schweiz). Eisenwerk (vormals Nagel & Kaemp), A.-G., Hamburg 39. C. von Grueber, Berlin-Charlottenburg 5, Windscheidstr. 31. Friedrich Haas, G. m. b. H., Maschinenfabrik, Lennep (Rheinland). Ed. Hochheim, G. m. b. H., M.-Gladbach, Reyerhütte. A. Linnenbrügge, Sondershausen, Güntherstr. 32. G. Luther, Akt.-Ges., Braunschweig u. Darmstadt. Maschinenfabrik H. R. Gläser, Wien, Quellenstr. 149. Gebr. Pfeiffer, Maschinenfabrik, Kaiserslautern.

Seite 89, 1. Absatz, 3 letzte Zeilen: Die Ausdrücke „ungedämpft = treibend“

und „gelöscht = nichttreibend“ sind nicht glücklich gewählt. Neuerdings lese ich denn auch in Inseraten „ungelöscht d. h. beim Löschen das Volumen stark vermehrend“ und „gelöscht d. h. frei von nachlöschenden Bestandteilen“.

Seite 90: Über die Mörtelergiebigkeit ihrer Kalke hat die Meteor, A.-G., Geseke, neuerdings folgende Angaben gemacht:

1. Meteorkalk. Man nehme zu gewöhnlichem Mauermörtel das Verhältnis 1:6–8, zu verbessertem Mauermörtel, an Stelle von sogenanntem verlängerten Zementmörtel 1:2–5, zu Innenputz 1:4–6, zu Aussenputz

a) Auftrag in einer Lage: an Wetterseiten 1:2,
„ „ „ „ bei normalen Verhältnissen 1:3–5;
b) „ „ zwei Lagen: an Wetterseiten 1,5–2 cm, Unterputz 1:4,
0,5–1 „ Deckputz 1:2,
„ „ „ „ bei normalen Verhältnissen 1,5–2 cm, Unterputz 1:5,
0,5–1 „ Deckputz 1:3.

2. Meteor-Extra. Das Mischungsverhältnis sei für gewöhnlichen Mauermörtel 1:7–10, als Ersatz für sogenannten verlängerten Zementmörtel 1:4–7, für besten Mauermörtel, an Stelle von Zementmörtel 1:4, für Innenputz 1:5–7, für gewöhnlichen Fassadenputz 1:4–5, für besten Fassadenputz 1:3–4, für besten Verputz bei wasserdichten Arbeiten 1:1–$2^1/_2$.

Seite 93: ad „Kostenberechnung“ der beiden Mörtel aus Stückwasserkalk und „gemahlenem“: Die eingesetzten 1908er Kölner Preise sind selbstverständlich heute nicht mehr massgebend und sind durch die jezeitigen Preise zu ersetzen. Immerhin möchte ich bei der Gegenüberstellung der beiden Mörtel noch die Einschränkung machen, dass bei grösserer Ergiebigkeit des Stückkalks bzw. bei geringerem Ausmass des Sackkalks sich der Vergleich zugunsten des ersteren etwas verschieben kann. Meine Berechnung ist ja nur schematisch.

Seite 99 u. ff.: ad „Französisches Verfahren“: Ich mache noch auf die sehr interessante, soeben erschienene Abhandlung Dr. Fiebelkorn's in der Tonindustrie-Zeitung Berlin, Nr. 140, 1910, Seite 1614 u. ff. sowie Nr. 143, 1910, Seite 1654 u. ff.: „Kalk- und Zementherstellung in Südfrankreich“ aufmerksam.

Seite 102: Zu „Seemuschelkalk“. Siehe auch Tonindustrie-Zeitung Nr. 140/1910, Seite 1619.

Seite 195: ad 3. Begriff der Hydraulizität: Wie ein guter Wasserkalk, der nach Leduc mit der Zeit immer fester werden soll, diese Bedingung erfüllt, zeigen z. B. die von „Meteor“ A.-G. Geseke, mitgeteilten „Ergebnisse von Festigkeits-Untersuchungen des ‚Meteorkalks‘ in amtlichen Versuchsanstalten.“

Die Königlich Sächsische Mechanisch-Technische Versuchsanstalt an der Technischen Hochschule zu Dresden fand laut Zeugnis vom 4. September 1909:

Mittelwerke pro qcm 1:3 nach Zementnormen	nach 7 Tagen	13,3 Zug,	94 Druck
	„ 28 „	31,4 „	200 „
	„ 90 „	33,8 „	280 „

Beachtenswert ist die ständige Zunahme der Festigkeiten, wie solche in 1905 seitens des Tiefbauamtes der Stadt Köln ermittelt ist.

(1:3 nach Zementnormen geprüft)	nach 7 Tagen	9,88 pro qcm
	„ 14 „	12,40 „ „
	„ 28 „	16,50 „ „
	„ 3 Monaten	28,40 „ „
	„ 6 „	35,10 „ „
	„ 12 „	36,70 „ „

und ferner in 1908 seitens des Tiefbauamtes der Stadt Barmen festgestellt wurde; die Resultate sind nicht nach den Zementnormen, wo nach Gewichtsteilen mit Normalsand gemischt wird, sondern nach Raumteilen mit gewöhnlichem Sande ermittelt:

1:3 Raumteile Meteorkalk ergaben nach:	21	28	90	180	Tagen
	12	18	25	30	kg Zug
1:4 „ „ „ „	8	11	16	22	„ „
1:6 „ „ „ „	8	10	13	16	„ „

☞ Bitte beachten! ☜

Bücherleser wissen oft nicht, irgendein wünschenswertes Werk leihweise zu erhalten. Der einfachste und sicherste Weg ist, sich an das Auskunftsbureau der deutschen Bibliotheken, Berlin W 64, Behrenstrasse 70, gegen Einlage einer 10 Pf.-Marke schriftlich zu wenden. Diese Stelle gibt flott an, in welcher Bibliothek sich das betreffende Buch möglicherweise befindet.

Ferner für kleinere Unternehmer:

Soeben meldet die „Steinbruchs-Berufsgenossenschaft Charlottenburg“: Vom 15. Januar 1911 ab erscheint unsere Zeitung monatlich zweimal und erfolgt die Zustellung nunmehr im Postzeitungswege.

Zwecks genauer Adressenangabe bitten wir Sie um sofortige Beantwortung beiliegender Postkarte. Geht eine Antwort nicht rechtzeitig ein, so werden wir die weitere Zusendung der Zeitschrift an die alte Adresse bewirken.

Kosten werden den Empfängern durch den Bezug im Postzeitungswege nach wie vor nicht entstehen.

Druckfehler.

Zu lesen auf Seite 5, 6. Absatz, 1. Zeile: statt „Tongehalt der Steine“ „Tongehalt des Steins“.

Auf Seite 27, 19. Zeile von oben: statt „über ein Generatorsystem“ „über das vorerwähnte Generatorsystem“.

Auf Seite 46 und 47: statt „Tetmayer“ „Tetmajer“.

Auf Seite 50, 13. Zeile von oben: hinter „oder“ (einzufügen) 10000 Kilo.

Auf Seite 59, 30. Zeile von oben: statt „belehrender Aufschluss“ „belehrenden Aufschluss“.

BIBLIOTEKA KRAKÓW Politechniczna

Stichwörter-Verzeichnis.

Abbinden des hydraulischen Mörtels 136. bis 147.
Abbindezeit 190.
Analysen: ausländische Wasserkalke 44 60. 61.
— Austernschalen, engl. 102.
— Chaux du Theil 44.
— Dolomitkalke 45. 98.
— Eifeler Römerkanal, Mörtel 53—58.
— Eifeler Römerkanal, Sinter 58.
— französ. hydr. Kalke 44. 184. 185.
— franz. natürl. Portlandzement 102.
— Gang einer Analyse 40-43.
— gedämpfte gemahl. Wasserkalke 87. 174. 175.
— Muschelschalen, holl. 102.
— Rohkalk „Germania" 89.
— Stückwasserkalke 43. 172. 174.
— Ungedämpfte gemahl. hydr. Kalke 88.
Anziehen des hydraulischen Mörtels 136 bis 147.
Aufschliessen: Begriff 34.
Ausbeutetabelle 110.
— Meteor 90.
Austernschalen, engl.: Analyse 102.
Begriffserklärung von Wasserkalk 179 bis 189.
Blutmörtel 118. 119.
Brennprozess: Chemischer Vorgang 33. 34—40.
Brenntemperaturen von Kalkstein 33.
— von Kalkmergel 33.
— von Mergel 33.
— von Romanzement 33.
— von Portlandzement 33.
Chaux du Theil: Analyse 44.
Daiber's automatische doppelte Sackkalkwage 81.
Diabasit 129. 130.
Dolomit: Analysen 7.
Dolomitkalk: Analysen 45.
— Zug und Druck 46.
Dolomitmergel 5.
— Analysen 7.
Drehrohrofen 19—27.
— für Kalk, Dolomit usw. von Ferd. M. Meyer 24—27.
Druckfestigkeit 51.
— von hydr. Dolomitkalken 46.
— von Wasserkalken 148—169.
— von westfäl. Wasserkalk unter Dampfspannung 52.
Eifeler Römerkanal 53—58.
Einheitliche Benennung der Wasserkalke 170—171.
— Einordnung der Wasserkalke 171.
Eisen-Portlandzement 205.
Entstaubungsanlagen 78—81 u. Nachträge.
Erhärtungsvorgang 190.
Erhärtungsende 190.
Erhärten des hydraul. Mörtels 136—147.
Fassadenputz 123—130.
Felsitporphyr 129.
Festigkeiten von Wasserkalkmörteln 148—169. 173. 191.
Frostbeständigkeit: Prüfung auf 192.
Gemahlener hydraul. Kalk: Analysen 87. 88.
Analysen: Französ. Wasserkalke: Festigkeiten 60.
Französ. Fabrikationsmethode 100.
Frühere französ. Fabrikationsmethode 103.
Gattiren 60. 61.
gedämpfter 58.
Löschen 62.
Löschmethoden, ungedämpfter 63.
Verarbeitung zu Mörtel 87.
Verwendungszwecke 91.
Vorzüge 95.
Haftvermögen am Stein, Prüfung des 191. 192.
Hambloch: Eifeler Römerkanal 56.
— Eifeler Römerkanal, Dünnschliff 56. 57.
— Fassadenputz 130.
— Pyknoton 213.
— Werke 205. 206.
Heliolith 130. 131.
Hydraulefaktoren: Begriff 35—39.
Hydraulischer Index oder Modul 180. 186.
Hydraulische Mörtel: Anziehen, Abbinden und Erhärten 136—147.
Kalkmergel 4.
Kalkringöfen: Inhalte 17.
— Preise 17.
Kalkschachtöfen: Inhalte 18.
Kalkspat 4.
Kalkstein: Analysen 6.
Kies 111.
Kieselkalke 5.
— Analysen 16.
Kostenberechnung von Wasserkalkmörtel 93. 94.
Lithin 127.
Lithofluat 122.

Löschen 47. 48.
— chemischer Vorgang 48. 49.
— von Sackkalk 62—65.
Löscheinrichtungen 62—65.
Löschapparat, Dr. W. Schulthess 62.
Löschergiebigkeit 50. 51.
— von Stückwasserkalk 172.
Lottes'scher Gewebesack mit Papiereinlage 85—86.
Luftkalk 198—200.
Magnesiazement 121. 122.
— Analysen 6. 7.
Mergel, chemisch 4—9.
— geologisch 1—4.
— geschichtlich 11—14.
— physikalisch 9—11.
Mergelerde: Analyse 17. 18.
— Brennen der 18—27.
Mergelkalk 4.
Milchkalkmörtel 115—118.
Mörtel aus Blut 118—119.
— zum Auskitten 119.
— zum Aussenputz 120.
— zum Deckenputz 121.
— zum Estrich 121.
— zum Grundmauerwerk 119, 120.
— zum Innenputz 121.
— zum Obergeschoss 120.
— zum Versetzen von Naturgestein 115—118.
— von Milchkalk 115—118.
— von Trass 123.
— von Wasserkalk und Trass 114.
— von Weisskalk 99.
Mörteldichte 113.
Mörtelergiebigkeit 51. 89. 90. 170. 190. 191.
— Begriff 112.
Mörtel, wasserabweisende 131—136.
Morgangenerator 25. 27—29.
Muschelkalk: Analyse 102.
Muschelkalkstein: Analyse 102.
Orionmühle 68.
Papiersäcke 82. 85. 86.
Perfektionsstaubsammler der Prinz u. Rau Mfg. Co. 80—81.
Porphyr 129.
Portlandzement 201—204.
Pyknoton (Henning-Hambloch) 213.
Raumbeständigkeit 190.
Raumgewichte von Wasserkalkpulver 172.
Romanzement 200—201.
Rohkalk „Germania" Lehrte: Analyse 89. 174.
Sackkalkanalysen 73—78.
Sackzentralen 82—85.
Sand, grober 3.
— Streu- 3.
— Staub- 4.
— Schluff- 4.
Sauggeneratoren 29.
— für Brennkohlenbriketts 31. 32.
Sauggeneratoren für Feinkohlen 32.
Schachtofen mit eingebautem Rost (Wilh. Eckardt-Ernst Hotop) 17.
Selektor von Gebr. Pfeiffer 65.
Simon, Bühler und Baumann: Entstaubungsanlage 80.
Spez. Gewicht 148—169.
Staubabscheider, Pat. Winkelmüller 78. 79.
Terranova 123—126.
Terrasit 127—129.
Tonsubstanz 3.
Topasit 130.
Trass 123. 205—213.
Trassmörtel 123.
Trockenmörtel 123—130.
Ungedämpfter gem. hydr. Kalk: Analysen 88.
Unlösliches: Begriff 34.
Verband-Windseparator der Alpinen Maschinenfabrik-Gesellschaft m. b. H. 71.
Verwendungszwecke des „gemahlenen" 91.
— von Stückwasserkalk 51. 52.
Volumbeständigkeit: Prüfung auf 96.
Vorschläge zur Bewertung und Einordnung der Wasserkalke 194—198.
Wandputz: innerer (Heliolith) 120—131.
Wasserabweisende Mörtel 131—136.
Wasserglas 122.
Wasserkalk: Brennen 14.
— Chemische Untersuchung 40.
Analyse: Beckumer 107.
— Lengericher 107. 108.
— Brackweder 108. 109.
— Sötenicher 43.
— von Stückwasserkalken 44. 172. 174.
— Abbindezeit, Erhärtungsanfang- und ende 190.
— Begriff 179—189.
— Einheitl. Benennung 170. 171.
— Einheitl. Einordnung 171.
— Festigkeiten 173.
— Frostbeständigkeit 192.
— Geschichte 103.
— Haftvermögen am Stein 191. 192.
— Hydraul. Modul (Index) 180—186.
— Kostenberechnung 93. 94.
— Löschergiebigkeit 172.
— Mörtelergiebigkeit 190. 191.
— Raumbeständigkeit 190,
— Raumgewicht 172.
— Süddeutscher 109—110.
— Verwendungszwecke 51. 52.
Vorschläge zu den Normen 194—198.
— Westfälischer 105—109.
Weisskalkmörtel 99.
Wiegen 81.
Windseparator 65.
Zeolithdünger 212.
Zug und Druck 46. 90. 91. 148—169.

S. 61

J - 96

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW
BIBLIOTEKA GŁÓWNA
II
L. inw. 5355

Biblioteka Politechniki Krakowskiej
100000294768