

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Kalk, Gyps, Cementkalk und Portland-Cement in Oesterreich-Ungarn

Tarnawski, Anton

Wien, 1887

III. Kalk

III.

K a l k.

Untersuchung der Kalksteine.

Der Grundstoff des Kalkes ist das Calcium (Ca), ein hellgelbes mehr weisses, stark glänzendes Metall von 1,58 specifischem Gewichte, das sich an trockener Luft gut hält, in feuchter Luft jedoch rasch oxydirt; in Wasser gebracht, zersetzt es dasselbe sehr rasch und unter mächtiger Wasserstoffentwicklung. 71,91 Theile Calcium und 28,09 Theile Sauerstoff verbinden sich zu Calciumoxyd (CaO), Kalk, Kalkerde, die dem chemischen Verhalten nach eine starke Base ist und zu den alkalischen Erden gehört. Die Kalkerde in Verbindung mit Kohlensäure bildet den kohlensauren Kalk, (CaO + CO₂) der in der Natur in den mannigfachsten Verbindungen mit anderen Stoffen als Kalkstein auftritt. Der reinste natürliche kohlensaure Kalk ist der weisse Marmor.

Reiner kohlensaurer Kalk besteht aus 43·7% Kohlensäure und 56·3% Kalkerde. Er ist in kohlensäurefreiem Wasser schwer, in kohlensäurehaltigem leichter löslich. Solche Lösungen von kohlensaurem Kalk finden sich im Quell- und Brunnenwasser etc., und entstehen durch dieselben Kalksinter und Kalktuff. Aus dem Wasser wie aus dem Boden übergehen die Kalkverbindungen in den pflanzlichen und in den thierischen Organismus. So bilden sich grösstentheils aus kohlensaurem Kalk die Korallen, Eier- Austern-Schalen, Muscheln, Schneckengehäuse, die Panzer der Krebse etc. und aus phosphorsaurem Kalk: die Knochen etc.

Aus jedem in der Natur vorkommenden Kalkstein, der bis circa 10% fremde Beimengungen: Kieselerde, Thon, Magnesia, Eisenoxyd etc. enthält, kann ohne jedes Bedenken, Aetzkalk (auch Weisskalk, Baukalk genannt) zur Bereitung von Luftmörtel erbrannt werden. Selbst Kalksteine, welche bis 15% kohlensaure Magnesia enthalten, geben noch brauchbaren Aetzkalk.

Der bis zur angegebenen Grenze verunreinigte Kalk lässt sich, wenn auch im geringeren Grade als dies bei reinerem Kalk der Fall ist, noch immer gut löschen und vermehrt dabei sein Volumen. Für andere technische Zwecke, z. B. in der Zuckerfabrikation zur Scheidung und Saturation des Zuckersaftes, zur Papierfabrikation etc. eignen sich nur sehr reine Kalke. Mit dem steigenden Gehalte an Magnesia (Bittererde) geht der kohlen saure Kalk in Dolomit über, und nimmt gebrannt in demselben Grade ein anderes Verhalten an, wovon an anderer Stelle die Rede sein wird; ebenso von dem Verhalten bei zunehmendem Gehalt an Kieselerde und Thon. Eine chemische Analyse der Kalksteine für Luftmörtel ist meistens überflüssig, da jede Gegend sich an den durch die Erfahrung bereits erprobten Kalk hält, der ihr in nächster Nähe zu Gebote steht; bei neuerschlossenen Kalksteinbrüchen genügen praktische Brenn- und Löschversuche, um den Kalkstein auf seine Tauglichkeit zu prüfen.

Vollständig genaue chemische Untersuchungen sind Sache des Chemikers; die Anleitung zu einer annähernd richtigen auch von Laien durchführbaren Analyse soll jedoch hier nicht übergangen werden.

5 Gramm des gestossenen, fein durchgeseihten und durch Trocknen bei 100° C vom hygroskopischen Wasser befreiten Kalksteines werden in einem Becherglase oder einer Porzellanschale mit etwas Wasser übergossen, und nach und nach tropfenweise so viel Salzsäure zugesetzt, bis kein Aufbrausen mehr erfolgt. Sodann setzt man einige Tropfen Salpetersäure hinzu und lässt das Gefäss an einer warmen Stelle einige Zeit — 12 Stunden — stehen.

Man filtrirt dann die Lösung von dem Rückstande ab, trocknet diesen, glüht und wägt ihn. Dieser Rückstand besteht zumeist aus Kieselsäure, Thonerde oder Sand und wird als in Salzsäure Unlösliches in Rechnung gebracht.

Bleiben z. B. von 5 Gramm des Kalksteines 0.2 Gramm ungelöst, so beträgt der Gehalt an Thon, Kieselsäure oder Sand $\frac{0.2 \times 100}{5} = 4\%$.

Das Filtrat macht man mit Ammoniakflüssigkeit alkalisch, löst den entstandenen Niederschlag durch Zusatz von Salzsäure wieder auf und macht die Flüssigkeit abermals durch Ammoniakflüssigkeit alkalisch. Der nun entstandene bei Weisskalk sehr geringe Niederschlag ist Thonerde- und Eisenoxydhydrat, gewöhnlich etwas kieselsäurehaltig. Da das Thonerdehydrat weiss und das Eisenoxydhydrat rothbraun ist, so lässt die Farbe des Niederschlages ein beiläufiges Urtheil über das Verhältnis beider Bestandtheile zu. Die Mengen dieser Bestandtheile sind im Weisskalke stets sehr gering, sollten sie jedoch in grösseren Mengen vorkommen und wollte auch deren Gewichts-

verhältnis bestimmt werden, so bringt man den Niederschlag auf ein Filter, wäscht ihn mit verdünnter Ammoniakflüssigkeit aus, glüht und wägt ihn. Er wird als in Säuren lösliche Thonerde und Eisenoxyd aufgeführt.

Wäre z. B. das Gewicht dieses Niederschlages mit 0·05 Gramm ermittelt, so ergäbe sich dessen Percentsatz $\frac{0\cdot05 \times 100}{5} = 1\%$.

Nun wird aus dem Filtrat der Kalk vollständig durch oxalsaures Kali (Kleesalz) als oxalsaurer Kalk gefällt, letzterer abfiltrirt, ausgewaschen, getrocknet und geglüht. Der Glührückstand ist kohlen-saurer Kalk.

Wurden auf diese Weise aus 5 Gramm des Kalksteines 4·6 Gramm kohlen-saurer Kalk ausgeschieden, so ist der Gehalt des Steines an kohlen-saurem Kalk $\frac{4\cdot6 \times 100}{5} = 92\%$.

Will man Kalksteine auch auf den Gehalt von kohlen-saurer Magnesia prüfen, so kann folgendes Verfahren eingeschlagen werden:

Man setzt der vom oxalsauren Kalke abfiltrirten Flüssigkeit phosphorsaures Natron und noch reichlich Ammoniakflüssigkeit sowie eine sehr geringe Menge von Chlorammonium (Salmiaksalz) zu. Je nachdem hiedurch sogleich oder erst nach einiger Zeit eine Trübung sich einstellt, und ein stärkerer oder schwächerer (gewöhnlich krystal-linischer) Niederschlag entsteht, so enthält der Kalkstein nur Spuren, beziehungsweise kleinere oder grössere Mengen von kohlen-saurer Magnesia.

Nach längerem Stehen sammelt man den Niederschlag auf ein Filter, wäscht ihn mit verdünnter Ammoniakflüssigkeit aus, trocknet, glüht und wägt ihn. Der Glührückstand ist paraphosphorsaure Magnesia; 100 Theile derselben entsprechen 75·6 Theilen kohlen-saurer Magnesia. Wiegt daher im vorliegenden Beispiele der Glührückstand 0·15 Gramm, so ist der Gehalt des Kalksteines an kohlen-saurer Magnesia:

$$\frac{75\cdot6 \times 0\cdot15}{5} = \frac{11\cdot340}{5} = 2\cdot268\%$$

Fast alle Kalksteine enthalten etwas Feuchtigkeit (hygroskopisches Wasser), etwa $\frac{1}{2}$, oft auch bis 2%. Will man solche ermitteln, so wird eine gewogene Menge des fein pulverisirten Kalksteines bei 100° C getrocknet, das getrocknete Pulver wieder gewogen, und aus dem Gewichtsunterschiede die Menge des hygroskopischen Wassers bestimmt.

Manche Kalksteine sind dunkel gefärbt und enthalten zumeist organische Substanzen (Bitumin). Erhitzt man ein Stückchen derselben

in einer Glasröhre, so entweicht brenzlich riechender Dampf, wobei das Probestückchen schwarz wird.

Kleine Mengen von Bitumin schaden dem Baukalk gar nicht.

Einige chemische Analysen diverser zur Erzeugung von Baukalk geeigneter inländischer Kalksteine mögen hier zur Charakterisirung der Mischungsverhältnisse Platz finden :

Fundort	In Salzsäure unlösliches Silicat	Kohlensaurer Kalk	Kohlensaure Magnesia	Eisenoxyd und Thonerde	Kohlensaures Strontian	Eisenoxydhydrat	Wasser	Analytiker	
									Prozent
Niederreith	Ober- und Nied.-Oesterreich nördlich der Donau	4,60	93,00	Spur	1,00	.	.	.	C. v. Hauer
Schwallenbach		0,59	87,26	3,17	6,62	.	.	.	Pollak
Heufurth		12,00	77,00	7,00	2,98	.	.	.	Pollak
Neulengbach, Nied.-Oest.		12,83	83,25	1,00	2,35	.	.	.	—
Kaltenleutgeben b. Wien		0,65	96,65	2,05	0,65	.	.	.	—
Zogelsdorf, Nied.-Oest.		3,80	96,20	.	.	.	.	.	John
dto. dto.		12,40	87,60	.	.	.	.	.	John
Gmunden, Ob.-Oest.		8,80	81,63	3,84	5,73	.	.	.	John
Raspenau bei Friedland		0,62	69,60	12,84	4,08	.	.	.	Foullon
Judendorf bei Graz		1,10	97,14	1,76	Spur	.	.	.	—
Möttinig in Krain		8,70	86,40	3,70	1,20	.	.	.	John
Brody, Galizien (Kreidekalk)		2,85	94,34	1,81	1,50	.	.	.	—
Resinar bei Hermannstadt u. Zalatna b. Karlsburg in Siebenbürg. (Aragonit)		.	98,00	.	.	1,01	0,14	0,21	—

Das Brennen des Kalkes.

Das Kalkbrennen (Calcination) ist eine sehr einfache Operation und besteht darin, dass der Kalkstein einer entsprechenden Hitze so lange ausgesetzt wird, bis er seine Kohlensäure verliert.

Bei dieser Procedur, gleichviel in welchem Ofensysteme gebrannt wird, sind gewisse allgemeine Regeln nicht ausser Acht zu lassen. Die Kalksteine dürfen im Kalkofen nur langsam angewärmt, geschmaucht werden, um zuerst das in ihnen enthaltene Wasser zu entfernen. Bei Feld- oder periodischen Schachtöfen dauert dieser Vorgang gewöhnlich 6—12 Stunden. Hat der Kalkstein seinen Wassergehalt verloren, so wird die Hitze bis zur Rothglut, also bis 550° C gesteigert. Bei diesem Hitzegrade beginnt die Kohlensäure zu entweichen und von

diesem Zeitpunkte an muss die Temperatur allmählig gesteigert werden und zwar in der Weise, dass der zum Garbrennen erforderliche Hitzegrad von 1200—1400° C, also Weissglühhitze, während eines Zeitraumes von 36—60 Stunden je nach der Menge des zu er-brennenden Kalksteines erreicht wird.

Obwohl der Kalkstein schon bei 550° C seine Kohlensäure ent-lässt, d. h. in Kalk und Kohlensäure zerlegt wird, so genügt dieser Hitzegrad doch noch nicht, um auch aus dem Inneren des Kalksteines vollständig die Kohlensäure auszutreiben; dieses kann eben nur durch eine grössere Intensität des Feuers erreicht werden.

Bei continuirlichen Oefen, wie z. B. bei Schachtöfen mit Gattirung des Brennstoffes und Kalksteines in abwechselnden Lagen, Ringöfen und Flammöfen, erfolgt das Schmauchen durch die abziehende Wärme von der Brennzone des Ofens, worin auch der Vorthail der voll-ständigeren Ausnützung der Wärme, also Ersparnis an Brennstoff und Zeit, liegt.

Nicht jeder Kalkstein erfordert eine gleiche Brenndauer und gleichen Hitzegrad. Poröse Kalksteine, wie Kreidekalk, Kalksinter zersetzen sich in Kalk und Kohlensäure bei bedeutend weniger Hitze-graden und in viel kürzerer Brennzeit, als kerniger, dichter Kalk-stein: Urkalk, Marmor, Muschelkalk etc., ausserdem hängt auch noch die Brenndauer von der Grösse des zum Brennen vorgerichteten Kalk-steines ab.

Sehr reiner Kalk kann noch so stark geblüht werden, ohne dass ein Zusammensintern oder Schmelzen zu befürchten wäre. Das Vor-handensein von geringen Mengen Magnesia hat darauf keinen Einfluss. Ist aber der Kalk durch Thon und Kieselerde verunreinigt, so darf selbst in der letzten Periode des Garbrennens die Temperatur nicht zu hoch gesteigert werden, da der Hitzegrad, bei welchem die Kohlen-säure ausgeschieden wird, der Temperatur, in der sich die Kieselerde mit der Kalkerde verbindet, so nahe liegt, dass die Bildung von kiesel-saurem Kalk kaum vollständig vermieden werden kann. Noch leichter findet bei hoher Temperatur ein Zusammensintern statt, wenn Doppelverbindungen von Kalk und Kieselerde mit Thonerde vor-handen sind. Näheres über das Verhalten der Thon- und Kieselerde-beimengungen beim Brennen kommt im Abschnitte über hydraulische Kalke vor.

Unter dem gebrannten Kalke finden sich nicht selten Stücke, die sich unvollständig oder gar nicht löschen lassen, sogenannte „Kre bse“. Sie entstehen theils durch ungleichmässige Hitze im Ofen, wodurch Steine an einzelnen Stellen ungebrannt bleiben, theils durch zu grosse jähe, der Zusammensetzung des Materials nicht gemässe

Feuerung, wodurch, wie oben bemerkt, das Zusammensintern, Todtbrennen, veranlasst wird. Die schmelzbaren Verbindungen überziehen nämlich den Kalk mit einer Rinde, durch welche die Entweichung der Kohlensäure verhindert wird. Ein solcher todtgebrannter Kalk taugt nicht mehr zu Luftmörtel, enthält aber unter Umständen die Bedingungen zu einem guten Wassermörtel, was im Abschnitte V besprochen wird.

In Feld- und periodischen Oefen wird aus den grössten, möglichst flachen Kalksteinen das Feuergewölbe, wie in der nachfolgenden Fig. 1 ersichtlich, eingebaut, über dem Gewölbe, wo das Feuer am kräftigsten wirkt, kommen grössere etwa 10—20 kg schwere, und nach der Gicht, beziehungsweise Plattform zu, immer kleinere Steinstücke. Die zuletzt eingesetzte Steinschicht muss sich 15—25 cm über die Plattform erheben, und diese Schicht erhält durch Einlegung der grösseren Steine in die Mitte, der kleineren nach der Seite hin, eine sanft gewölbte Form, worauf dieselbe mit grossen Decksteinen oder Platten, gewöhnlich aber noch mit einer durchbrochenen Lehmschicht, jedoch erst nach erfolgter Schmauchung, überdeckt wird. Diese Abdeckung dient dazu, das Ausströmen der Glut in der letzten Periode des Brennens (bei dem sogenannten Vollfeuer, Garbrennen) zu verhindern und das Feuer im Ofen wirksamer zu machen.

Nachdem der Ofen in dieser Art beschickt worden ist, kann mit dem Brande in der bereits geschilderten Weise begonnen werden.

Zur Messung hoher Temperaturen dienen zwar Pyrometer, Feuermesser, Vorrichtungen, die auf der durch die Wärme bewirkten Ausdehnung von Körpern — Thon, Platin, Luft etc. — beruhen; dieselben werden jedoch in der Praxis selten angewendet, da das Hantiren mit denselben zu umständlich ist.

Für industrielle Zwecke wäre daher ein einfaches und zuverlässiges Pyrometer höchst wünschenswert, da die Bestimmung des Wärmegrades in vielen Fällen von grosser Wichtigkeit ist, um darnach die Intensität des Feuers reguliren zu können, so in der Cenmentfabrikation. Aber gerade in dieser Beziehung befindet sich die Pyrometrie noch in ihrer Kindheit, und man ist beim Kalkbrennen meistens darauf angewiesen, die Temperaturgrade aus den Farbennuancen, welche der Kalk während des Glühens successive annimmt, abzuschätzen, was jedoch bei einiger Uebung mit ziemlicher Genauigkeit gelingt.

Der Kalk glüht bei	500° C	dunkelroth
„ „ „ „	750°	„ dunkelkirschroth
„ „ „ „	950°	„ hellkirschroth
„ „ „ „	1100°	„ dunkelorange
„ „ „ „	1200°	„ hellorange

Der Kalk glüht bei 1300⁰ C weissorange
 " " " " 1400⁰ " weiss
 " " " " 1500⁰ " und darüber blendend weiss.

Das Garbrennen des Baukalkes lässt sich theils an der weissen Flamme, theils dem Weissglühen der Steine, theils an der Raumverminderung derselben erkennen. In diesem Stadium erscheint der Kalk als weiss leuchtende, gleichsam lockere wollige durchsichtige Masse.

An diese Kriterien wird sich der Brenner mit umso grösserer Zuverlässigkeit halten können, je mehr Erfahrungen er darüber durch das öftere Brennen der ihm zu Gebote stehenden Steinarten gemacht hat.

Die Dauer eines Brandes ist sehr verschieden; bei Oefen gewöhnlicher Grösse dauert das Brennen 3—4 Tage.

Ist die Gare der Steine erreicht, so wird das Feuer eingestellt und der Ofen 12—18 Stunden der Abkühlung überlassen.

Das gewöhnliche Feuerungsmaterial ist Holz, da ja die meisten Kalkstein-, respective Baukalk-Brennereien Oesterreich-Ungarns sich in waldreichen Gegenden befinden. Dass dazu möglichst ausgetrocknetes Holz verwendet werden soll, ist bereits an anderer Stelle erwähnt.

Es ist selbstverständlich, dass während des Brandes die Asche, wenn die Oefen keine Roste besitzen, was bei den gewöhnlichen Feldöfen der Fall ist, öfter aus dem Brennraume entfernt werden muss, um den Luftzutritt nicht zu behindern, ferner ist, damit die Verbrennung und Entwicklung der Hitze umso rationeller erfolge, darauf zu sehen, dass in dem Feuerherde kleinere Scheiter mit möglichst viel Zwischenräumen über einander eingelegt werden, weil dadurch der Zutritt der Verbrennungsluft und die Entwicklung starker Flamme sehr befördert wird.

Liegt die Leitung des Brandes in den Händen unwissender, an den alten Schlendrian gewohnter Tagelöhner, was leider oft genug der Fall ist, so ist an einen richtigen ökonomischen Verbrauch des Brennstoffes nicht zu denken. Es empfiehlt sich daher zu Brennern intelligentere und aufmerksamere Arbeiter zu wählen, und sie durch systematische Belehrung über etwaige Uebelstände zu verlässlichen Aufsehern heranzubilden.

Da die grösseren in fabrikmässigem Betriebe stehenden Kalkbrennereien zumeist dieselben Ofensysteme, wie solche zur Cementfabrikation hierlands üblich sind, benützen, so werden wir auf die Beschreibung dieser Brennvorrichtungen ebenfalls bei der Abhandlung über die Cementfabrikation zurückkommen. Hingegen sollen den für

einen zeitweisen und kleinen Betrieb im Gebrauche stehenden Kalköfen an dieser Stelle einige Worte gewidmet werden.

Der einfachste, wohl älteste, aber auch roheste Ofen ist der in untenstehender Figur dargestellte.



Fig. 1.

Mit solchen Oefen behelfen sich meistens jene Landwirte, welche das Kalkbrennen als Nebengeschäft oder in der Absicht betreiben, eine bessere Verwertung ihres Holzes (womit in vielen Gegenden unsere Landwirte noch sehr reichlich gesegnet sind) zu erzielen.

Das Brennen in diesen Oefen, abgesehen von der meist unökonomischen Gebarung,

fordert fast den doppelten Aufwand an Brennstoff, als bei zweckmässigerer Ofenanlage benöthigt wird.

Vor nicht langer Zeit hatte ich Gelegenheit, in einer Gebirgsgegend Nieder-Oesterreichs einen solchen Brand zu beobachten, wo der Kalkbrenner für ein ausgebranntes Quantum Kalk von $6 \text{ m}^3 = 5400 \text{ kg}$ 20 Raummeter lufttrockenes Fichtenholz ($= 6 \text{ Wr. Klfr.}$) im beiläufigen Gewichte von 273 kg per Raummeter, nebst einigen Raummetern Astholz verbraucht hatte.

Das Brechen des unmittelbar beim Ofen befindlichen Kalksteines, das Einsetzen und Brennen berechnete sich der Kalkbrenner mit fl. 10.—
 die 20 Raummeter Holz und Astholz mit fl. 30.—
 somit kamen die 5400 kg Kalk auf fl. 40.—
 zu stehen, um welchen Preis er auch den ganzen Brand verkaufte; von einem Reingewinne kann sonach keine Rede sein. Dem Kalkbrenner, welcher in der glücklichen Lage sich befand, Wald und Kalkstein sein eigen noch zu nennen, war darum zu thun, sein Holz im Walde zu verwerthen.

Solche Brände werden jährlich fast von jedem waldbesitzenden Bauer so oft wiederholt, solange das im Winter gefällte Holzquantum ausreicht und soweit sich der Bedarf an gebranntem Kalk in seiner nächsten Umgebung herausstellt.

Diese Art von Kalkbrennen ist wohl ein grosser Vortheil für die Consumenten der betreffenden Gegend, weil sie einen sehr billigen Kalk erhalten, im obigen Falle stellt sich nämlich der Kalk per einen Hectoliter nur auf 67 Kreuzer ö. W. oder per 100 kg auf circa 74 Kreuzer ö. W., andererseits aber eine enorme Holzverschwendung und eine grosse Concurrenz für die im fabrikmässigen Betriebe stehenden Kalkbrennereien.

Wird der absolute Heizeffect von weichem Holz mit 2600 Calorien, die specifische Wärme der Kalkerde und der Kohlensäure auf $\frac{1}{3}$ des Wassers, (das heisst: Kalk und Kohlensäure bedürfen eine dreimal geringere Wärmemenge, um eine gleiche Temperaturerhöhung wie das Wasser zu erfahren) und die Temperatur, bei welcher die Zersetzung des kohlen-sauren Kalkes in Kohlensäure und Calciumoxyd erfolgt, auf 800° C angenommen, so ergibt sich, dass 1 kg Holz $3 \times 26 = 78$ kg Kalk bis 100° C folglich auch $\frac{78}{8} = 9.75$ kg Kalkstein bis 800° C zu erhitzen vermag, oder es ist, mit anderen Worten, der Theorie nach an Holz in runder Zahl nur $\frac{1}{10}$ vom Gewichte des Kalksteines nöthig.

Man braucht aber in der Praxis bedeutend mehr, weil der Kalkstein seine Kohlensäure, wenn er die richtige Temperatur erreicht hat, nicht mit einem Schlage verliert, wie bei obiger Berechnung stillschweigend vorausgesetzt ist, sondern erst allmählig, da es sich nicht bloss darum handelt, die Beschickung des Ofens für einen Augenblick auf die erforderliche Temperatur zu bringen, sondern auch eine Zeit lang darin zu erhalten. Deshalb wird das zweifache des theoretischen Brennstoff-Quantums zum Garbrennen des Kalksteines veranschlagt.

Demzufolge würde man zu 100 kg kohlen-saurem Kalk $\frac{2 \times 100}{9.75} = 20.5$ kg Holz benöthigen und da sich der Heizwert einer guten Steinkohle (mit circa 6000 Calorien und mit beiläufig 80% brennbarer Substanz) zu dem des Holzes wie $60 : 26 = 2.3$ verhält, so entfallen theoretisch auf 100 kg reinen Kalkstein 8.91 kg Steinkohle.

Die Ausbeute an gebranntem Kalk wird durchschnittlich auf 50% des Kalksteingewichtes geschätzt, wornach für 100 kg gebrannten Kalkes 17.82 kg Steinkohle oder 41 kg Holz erforderlich wäre.

In der Praxis habe ich gefunden, dass man beim Brennen im Ringofen auf 100 kg gebrannten Kalk 18 kg Kohlengries einer guten Steinkohle benöthiget, während z. B. bei Anwendung der Schram-

bacher- (Nieder-Oesterreich) Kohle (mit 6655 Calorien) zum Kalkbrennen in continuirlichen Schachtöfen 10—12% des erbrannten Kalkes hinreichen. Leider hat diese Kohle den Nachtheil, dass sie durch rasch entwickelte intensive Hitze den Kalk und mehr noch den Cement verschlackt.

Für den vorerwähnten Kalkbrand im Feldofen sind auf 100 kg gebrannten Kalkes $\frac{273 \times 20}{54} = 101$ kg Holz, ungerechnet das Astholz, aufgewendet worden, was sich gegenüber dem theoretisch ermittelten Brennstoffverbrauche als eine Verschwendung von 60 kg Holz auf 100 kg gebrannten Kalk herausstellt.

Das Gewicht des in den Ofen eingebrachten Kalksteins wird im Mittel gewöhnlich mit 1800 kg und die Ausbeute an gebrannten Kalk mit 1000 kg per Raummeter; der Aufwand an Brennholz mit $\frac{2}{5}$ — $\frac{3}{4}$, an Steinkohlen mit $\frac{1}{4}$ — $\frac{1}{5}$ des Gewichtes des rohen Beschickungsmaterials angegeben. Diese Angaben können wohl als Anhaltspunkte zu Ueberschlägen im Groben dienen, doch nicht als Massstab für concrete Productionsverhältnisse, die genauere Ermittlungen zulassen und im Interesse des Producenten solche auch bedingen. Was den Brennmaterialaufwand betrifft, beziehen sich obige Angaben auf das Brennen in Feldöfen, bei welchen eine ökonomische Gebarung mit Brennmaterial von vorneherein ausgeschlossen ist.

Es braucht wohl nicht hervorgehoben zu werden, dass der Mehr- oder Minderaufwand an Brennstoff, namentlich der fossilen Kohlen, nicht nur von der Qualität derselben, sondern auch von der Brennvorrichtung und der sorgfältigen Wartung des Brandes abhängt. Ausführlicheres über die Feuerung mit fossilen Kohlen folgt im Abschnitte über hydraulische Kalke.

Eigenschaften des gebrannten Kalkes und Löschen desselben.

Der trockene reine kohlen-saure Kalk verliert beim Brennen 43·7 Gewichtstheile Kohlensäure und liefert 56·3 Gewichtstheile Aetzkalk (Ca O). In der Praxis ist die Ausbeute dem Gewichte nach geringer, wenn der Kalkstein sehr feucht war; oftmal grösser, wenn er thonige Theile enthielt. Im Allgemeinen lassen sich für die Ausbeute beiläufig 50% veranschlagen, d. i. aus 100 kg Kalkstein 50 kg Kalk, wobei sich die Abnahme des Volumens auf 10—15% beläuft.

Der reine gebrannte Kalk ist weiss, durch Verunreinigungen mit Eisenoxyd, Thon, Alkalien etc. weissgrau, schmutzig weiss, graugelblich, gelblich weiss; er ist viel weicher, leichter und poröser, als der Rohkalk, aber noch hinreichend fest, um sich ohne Zerbröckeln transportiren zu lassen. Sein specifisches Gewicht ist --- 1·45.

In Folge seiner Porosität saugt der gebrannte Kalk das Wasser ungefähr zu 18% seines Gewichtes mit Heftigkeit ein, wobei die in den Zwischenräumen befindliche Luft mit Geräusch entweicht. Nach wenigen Minuten, bei magerem Kalk oft viel später, erwärmt sich der voll Wasser gesogene Kalk und schwillt auf; die Bindung des Wassers geht von diesem Augenblicke an vor sich. Man sieht die Kalkstücke unter Knistern zerspringen, sich abblättern und unter Ausstossung von Dampf zerfallen, bis endlich das Ganze unter bedeutender Vermehrung seines Umfanges eine gleichförmige Masse eines schneeweissen, feuchten, zarten Pulvers (Kalkhydrat) bildet. In dieser Gestalt findet der Kalk in vielen Gewerben Anwendung.

Wird der Kalk mit soviel Wasser übergossen, dass die Kalksteine zum Theil eingetaucht sind, so geräth das überschüssige Wasser in lebhaftes Kochen und es bildet sich eine gleichmässige breiige Masse, Kalkbrei, wobei 100 Theile reiner Kalk 32 Theile Wasser aufgenommen haben.

Die Ursache der bedeutenden Wärmeentwicklung beim Löschen besteht darin, dass der Wasserstoff des Wassers an das Calciumoxyd gebunden wird, also ein Theil des Wassers in festen Zustand übergeht, wobei, wie bei jeder anderen chemischen Verbindung Wärme frei wird. Beispielsweise binden 3 kg gelöschter Kalk 1 kg Wasser (von 0° C), d. i. überführen dasselbe in einen festen Zustand.

Bei diesem Uebergange wird so viel Wärme frei, dass sie hinreicht, nahezu 1 kg Wasser zum Sieden zu bringen. Im Allgemeinen ist die Hitze umso bedeutender, je rascher sich der Kalk löst, d. h. je reiner und je besser er gebrannt ist. Wenn man den Kalk mit nicht soviel Wasser löscht, als er zu binden vermag, so bildet er kein zartes, sondern ein sandiges, grobkrySTALLINISCHES Pulver, er ist „verbrannt“, durch Löschen „mager geworden“, und zu Luftmörtel nicht mehr tauglich. Es hat also seinen guten Grund, dass man den Kalk für Bauzwecke nicht zu Pulver, sondern gleich zu Brei löscht, wozu auf 1 Volumen Kalk 2—3 Volumina Wasser nothwendig sind.

Der Luft ausgesetzt, zerfällt gebrannter Kalk sehr langsam und ohne alle Erhitzung zu einem rauhen, groben, mit kleinen eckigen, ziemlich harten Stückchen untermischten Pulver, welches mit Säuren stark aufbraust. Der Kalk verwandelt sich dabei nie in reinen kohlen-sauren Kalk, selbst nach Jahren nicht. Es scheint daher die Bildung von kohlen-saurem Kalke nur durch Zersetzung von Kalkhydrat vor sich zu gehen, bis ein Gleichgewichtspunkt zwischen der Anziehung des Wassers und der Kohlensäure zum Kalke eingetreten ist.

Nicht aller gebrannte Kalk zeigt, wie bereits erwähnt, beim Löschen ein gleichmässiges Verhalten; je reiner der Kalk, desto mehr Wasser verschluckt er, desto eher wird er zu Brei, gedeiht mehr und

verträgt mehr Sand. Kalke, welche durch das Löschen ihr Volumen mindestens verdoppeln, zählen zu den fetten, jene, welche beim Löschen eine geringere Raumvermehrung aufweisen, weniger Wasser aufnehmen, sich körnig, weniger schlüpfrig anfühlen und auch weniger Sand vertragen, zu den mageren.

Diese Eigenschaften der mageren Kalke werden durch die fremden Substanzen, Eisenoxyd, Thon, Kieselerde etc. veranlasst.

Der österreichische Ingenieur- und Architekten-Verein hat rücksichtlich des fetten und mageren Kalkes folgende Bestimmungen getroffen:

„Die gebrannten Kalke unterscheiden sich, je nach der chemischen und physischen Beschaffenheit des Kalksteines, durch ihr Verhalten gegen Wasser von einander, und zwar:

Entweder löscht sich der gebrannte Kalk durch Bespritzen mit Wasser unter Wärmeentwicklung, und zerfällt in ein feines Pulver, beziehungsweise mit mehr Wasser vermengt, verwandelt er sich in einen dünnflüssigen feinen Kalkbrei; oder es saugt der gebrannte Kalk das Wasser nur wie jeder poröse Stein in sich auf, ohne im Uebrigen eine Veränderung zu zeigen; mit andern Worten: er löscht sich nicht.

Die Grenze, bei welcher ein Kalkstein sich noch löscht, ist erfahrungsgemäss die, wenn er circa 18% in Salzsäure unlösliche Bestandtheile enthält; bei weniger löscht er sich, bei mehr löscht er sich nicht mehr.

Die gebrannten Kalke, welche sich löschen lassen, werden in fette und magere Kalke getheilt, die aber unmerklich in einander übergehen.

Der fetteste Kalk, der aus einem dichten kohlen-sauren Kalk erzeugt wird, vermehrt sein Volumen beim Löschen zu Kalkbrei auf das drei- bis vierfache, und selbst der magerste Kalk vermehrt sein Volumen noch mindestens um ein Viertel.

Fett wird der Kalk noch genannt, wenn er sein Volumen beim Ablöschen wenigstens verdoppelt.

Fettkalk (Weisskalk) gibt bei entsprechendem Sandzusatz einen Mörtel, welcher an trockener Luft nach einer gewissen Zeit erhärtet, wobei die Erhärtung unter dem Einflusse der Atmosphäre, von der Oberfläche ausgehend, nach und nach, auch in das Innere des Mörtels eindringt. An feuchten Orten findet die Erhärtung nicht statt, und im Wasser löst sich dieser Mörtel auf.

Magerer Kalk gibt unter denselben Umständen wie der Fettkalk einen Mörtel, welcher rascher und vollständiger wie jener erhärtet, aber nicht so ergiebig ist.

Je nachdem im mageren Kalke fremde Beimengungen, insbesondere Verbindungen von aufgeschlossener Kieselsäure enthalten

sind, ist das Verhalten im Mörtel verschieden. Jene mageren Kalke, welche, innerhalb der Grenze, wo sie sich noch löschen lassen, in der Verwendung zu Mörtel, nach einer gewissen Zeit hydraulische Eigenschaften annehmen, werden hydraulische Kalke genannt.“

Für das Löschen des Kalkes, sowie für die Mörtelbereitung taugt jedes trinkbare Wasser, vortheilhafter ist jedoch Regenwasser oder Flusswasser. Meerwasser oder Wässer mit bedeutendem Gehalt an Chlorverbindungen, Säuren, kohlen sauren Salzen und Ammoniakverbindungen sind nicht zu gebrauchen.

Je eher das Löschen nach dem Brande stattfindet, desto besser, da dadurch dem Kalke die Gelegenheit benommen wird, aus der Luft die Feuchtigkeit anzuziehen und zu „zerfallen“, „abzustehen“.

Müsste der Kalk ungelöscht längere Zeit liegen bleiben, so darf der Aufbewahrungsort nicht feucht oder nass sein.

Das Löschen durch Einsumpfen ist das gewöhnliche und für Baukalk geeignetste Verfahren.

In den gegen die Kalkgruben etwas abhängig gelegten Löschkasten wird die angemessene Menge Kalk geschüttet und soviel Wasser darauf gegossen, dass die Kalkstücke zum Theil eingetaucht sind. Der Kalk fängt alsbald an, unter Geprassel zu zerspringen, verursacht einen starken Dampf und das noch nicht eingesaugte Wasser geräth in lebhaftes Sieden.

Sobald dieses vorüber ist und die Steine zu zerfallen anfangen, werden sie mittels der Kalkkrücke gut durcheinander gearbeitet und gerührt, während dessen allmählig noch so viel Wasser zugegossen wird, bis die Kalkmasse zu einem dünnen flüssigen Teig, einem fetten Rahm gleich geworden, worauf dieselbe in die Grube abgelenkt wird.

Finden sich beim Rühren im Löschkasten Stücke, todtgebrannter Kalk, so müssen diese sorgfältig entfernt werden. In der Grube erlangt der Kalk erst vollständig seine Güte, indem sich nachträglich die trägeren Kalktheile löschen, dass überschüssige Wasser entweder gebunden wird oder verdunstet und dadurch die Masse eine gleichartige zähere, fettere und speckigere Consistenz annimmt. In diesem Zustande ist der Kalk zum Verbrauch geeignet, und kann sich, mit einer Lage Sand überdeckt, jahrelang unverändert erhalten.

Das angedeutete, jedem Maurer und Maurergehilfen bekannte Lösungsverfahren und das Ruhenlassen des eingesumpften Kalkes vor dem Verbrauch hat einen doppelten Zweck.

Einerseits wird dadurch der Gefahr vorgebeugt, dass noch ungelöschte Kalktheile in den Mörtel gerathen, welche die Erhärtung des Mörtels beeinträchtigen und das, besonders im Mörtel zum Verputz

unliebsame „Ausblühen“ veranlassen; andererseits wird der Vorrath an gebranntem Kalk, welcher für einen Bau rechtzeitig zur Stelle sein soll, vor schädlichen atmosphärischen Einflüssen am vortheilhaftesten und sichersten gewahrt.

Die Volumvermehrung des gelöschten Kalkes gegen den frischgebrannten, d. h. das „Gedeihen“, „Wachsen“ hängt ebenso sehr von der Art des Löschens, als von der Reinheit des Kalkes ab. Wird z. B. der Kalk nur kurze Zeit in einem Korbe im Wasser untertaucht, so dass er sich zu Pulver löst, und dieses nachher mit mehr Wasser zu Teig angemacht, so ist die Vermehrung höchstens zwei Volumen; ist der Kalk vorher an der Luft zerfallen und dann zu Brei gelösch, so gibt er höchstens nur 1·5 Volumen, beim Löschen durch Einsumpfen hingegen ist die Ergiebigkeit an Kalkbrei die grösste.

Vom Luftmörtel.

Mörtel ist bekanntlich mit Sand gemengter Kalkbrei. Der aus gelöschtem Aetzkalk bereitete, welcher an der Luft erhärtet, dagegen im Wasser lose bleibt, heisst zum Unterschiede vom hydraulischen auch „Luftmörtel“.

Der Kalkbrei erhärtet zwar auch an der Luft ohne allen Zusatz, doch nur zu einer mürben Masse von geringem Zusammenhange, daher er ledig als Bindemittel nicht verwendbar ist. Dagegen werden durch Vermengung mit körnigen steinartigen Substanzen — dem Sande — dessen Zwischenräume der Kalkbrei ausfüllt, die vielen Berührungspunkte geschaffen, wodurch der Mörtel die Fähigkeit erhält, an den Mauersteinen zu haften.

Die Wirkung des Luftmörtels beruht sonach in erster Linie auf der Adhäsion, mittelst welcher die durch den Kalkbrei aneinander geklebten Sandkörner sich fest unter einander und an die Oberfläche der Mauersteine anlegen.

Mit dem zunehmenden Trockenwerden des Mörtels wächst auch die Adhäsionskraft. Wohl erleidet der Mörtel im Laufe der Zeit eine chemische Veränderung, welche der Adhäsion zu Statten kommt, jedoch tritt dieselbe so spät und allmähig ein, dass darauf als einen Factor der Mörtelfestigkeit zur Zeit des Baues nicht gerechnet werden kann.

Bleibt ferner gelöschter Kalk an der Luft sich selbst überlassen, so trocknet derselbe unter Aufnahme von Kohlensäure ein, und verringert dabei sein Volumen; wird aber der Kalkbrei mit Sand vermengt, so findet das Schwinden, die Volumenverminderung nicht statt.

Demnach sind Adhäsion und Volumenbeständigkeit der Grund des Sandzusatzes.

Wenn es anginge, die Mauersteine derart glatt zu bearbeiten, dass zur vollen Ausfüllung der Fugen nur eine sehr dünne Schichte Kalkbreies erforderlich wäre, so wäre auch der Sandzusatz entbehrlich; die Flächen der Ziegelsteine und auch der behauenen Steine sind aber stets so rau und unregelmässig, dass beim Aufeinanderlegen derselben einige Millimeter weite, bei Bruchsteinen sogar mehrere Centimeter starke Fugen bleiben. Kalk für sich, zwischen diese Fugen gebracht, würde daher Millimeter oder Centimeter starke Schichten bilden, die sehr langsam trocknen und nur eine lose Bindung vermitteln würden. Durch Sand wird Kalkbrei hingegen in eine grosse Anzahl dünner Schichten zertheilt oder eigentlich in die Zwischenräume des Sandes gewiesen, wo er dicht bei einander stehende Anhaftungsflächen findet, um die Kittung von Sandkorn zu Sandkorn auf die Steine zu übertragen. Der Mörtel wirkt hier ähnlich wie der Leim.

Selbst der beste Fettmörtel, wenn er rasch z. B. auf dem Ofen etc. getrocknet wird, erhärtet gar nicht, sondern bleibt zerreiblich und locker.

Somit ist die Vermittlung der Feuchtigkeit zum Erhärten des Mörtels an der Luft nothwendig, wengleich derselbe unter Wasser getaucht, lose bleibt und nicht bindet.

Aus dem Vorangeschickten ergeben sich die Regeln für die Bereitung eines guten Luftmörtels und für den Vorgang bei dessen Verwendung.

Die Güte des Mörtels hängt nicht allein von der Güte des Kalkes, des Wassers, des Sandes und von deren richtigen Mischungsverhältnissen, sondern auch von der innigen Vermengung dieser Materialien ab.

Enthält der Mörtel, wenn er mit der Schaufel oder Maurerkelle durchschnitten wird, keine weissen Kalktheilchen oder kalkige Streifen, und hat er durchaus einerlei Farbe und Dichtigkeit, so ist er gut angemacht.

Tüchtiges Durcharbeiten der Mörtelmasse sowohl bei der Bereitung als unmittelbar vor dem Verbrache bewirkt, dass die Sandkörner sich mit Kalkbrei vollständig umhüllen und den oben erwähnten Zweck erfüllen. Auch soll nicht mehr Mörtel bereitet werden, als in einem Tage aufgearbeitet werden kann, da durch das längere Liegenlassen an der Luft ein Theil des Wassers verdunstet und ein Erhärten des Mörtels durch Anziehen von Kohlensäure erfolgen könnte.

Um dem zu schnellen Austrocknen des Mörtels, wodurch der Erhärtungsprocess gestört würde, namentlich in der wärmeren Jahres-

zeit vorzubeugen, soll eine hinlängliche Benetzung der Mauersteine unmittelbar vor der Vermauerung nicht unterlassen werden. Dies ist insbesondere bei Ziegeln zu beachten, die trocken stark Wasser einsaugen, wodurch dem Mörtel die zu dessen Wirksamkeit erforderliche Feuchtigkeit zu rasch entzogen werden würde.

Reiner Quarzsand ist allen andern Sandarten vorzuziehen. Er ist aber nicht überall zu haben und muss man sich dann auch mit anderen Sandarten behelfen, die durch Verwitterung verschiedener Gesteinsarten oder durch mechanische Einwirkungen (z. B. durch Fuhrwerke zerriebener Strassenschotter) entstanden sind. Jeder Sand soll aber möglichst frei von Thon, Humus und organischen Bestandtheilen sein.

Fühlt sich der Sand beim Drücken und Reiben scharf an, so dass man fast die einzelnen Körner spürt und lässt er beim Wegwerfen aus der Hand keinen Staub und keine Unreinigkeit zurück, so wird er für gut gehalten.

Je eckiger und weniger abgerundet die Sandkörner sind, desto besser ist der Sand, da die Zwischenräume des eckigen geringer sind, und daher deren Ausfüllung durch den Kalkbrei in dünneren Schichten erfolgt.

Rücksichtlich der Grösse des Kornes unterscheidet man: sehr groben Sand oder Grand über Linsengrösse, groben Sand, Linsen- bis Hirsegrösse, feinen Sand unter Hirsegrösse.

Mit allzufeinem Sand wird der Mörtel zu dicht und der Luftzutritt dadurch zu sehr gehindert. Der grobe Sand, besonders wenn er eckig und scharf ist, lässt sich noch gut brauchen.

Bei sehr grobem Sand, Grand, sind die zu grossen mit Kalkbrei ausgefüllten Zwischenräume der Adhäsion abträglich. Dem wird, namentlich, wenn mit unregelmässigem Bruchstein gemauert wird, dadurch abgeholfen, dass dem Grand feiner Sand beigemischt wird.

Für Mörtel, der dazu bestimmt ist, als dünne Schichte die Oberfläche der Wände etc. zu bekleiden, taugt nur der feinere Sand.

Von grosser Wichtigkeit ist das richtige Verhältnis zwischen Kalk und Sand, und hängt die Güte und Festigkeit des Mörtels davon mehr ab, als von jedem anderen Umstande. Fehler gegen ein gutes Mischungsverhältnis werden nie wieder gut gemacht.

Im Allgemeinen soll der Kalkbrei hinreichen, alle Sandkörner an einander zu kitteln, dabei aber zwischen den Sandkörnern auf die möglichst geringste Masse beschränkt bleiben. Also wäre für eine gegebene Menge Sand nicht mehr Kalk zu nehmen, als der Sand, ohne sein Volumen zu vermehren, in sich aufnehmen kann.

In der Praxis pflegt man auf 1 Volumen steifen Kalkbrei 3—4 Volumentheile (ungefähr 6 Gewichtstheile) Sand zuzusetzen, wenn der Kalk fett oder sehr fett ist; magerer Kalk (löscharer hydraulischer Kalk), den man gewissermassen als schon mit einem Theile Sand versetzt betrachtet, verträgt nur 1—2 Volumentheile Sand.

Es gibt jedoch auch magere Kalke (löschbare hydraulische Kalke) in Oesterreich-Ungarn, welche bis 6 Volumentheile und bei Betonirungen auch bis 8 Volumentheile Sand mit Rieselschotter gemengt gut vertragen, auf welchen Gegenstand wir noch zurückkommen werden.

Wenn auch der Luftmörtel schon nach einigen Tagen oder wenigen Wochen hinreichend anzieht, trocken wird, um einer Mauer die erforderliche Stabilität zu verleihen, so schreitet doch die Erhärtung so langsam und so allmähig fort, dass sie ihren Höhepunkt — wenn sich das Mauerwerk gleichsam wie aus einem Steinstück hergestellt gestaltet hat — nicht nach Jahren, sondern erst nach Jahrhunderten erreicht. Die scheinbar so überwiegende Güte des Mörtels der alten Bauten gegenüber den neueren beruht lediglich in dem beträchtlichen Vorsprunge an Erhärtungszeit zu Gunsten der ersteren; da sich kein wesentlicher Unterschied in der Mischung der Bestandtheile des Mörtels nachweisen lässt. Wenn man also auf der einen Seite sieht, dass alte Bauwerke nur mit Pulver oder Dynamit demolirt werden können, wenn man sieht, dass durch die Gewalt des Pulvers von einem Thurme des Heidelberger Schlosses eine Hälfte abgesprengt und ungeborsten auf der Erde liegt, oder wenn man die alten von den Römern erbauten, dem Anscheine nach Festungsmauern bei Alt-Ofen oder die Mauernfragmente einer bestandenen grossen Römerstadt bei Szöny unweit Komorn betrachtet, so darf man anderseits nicht vergessen, dass bei vielen alten Bauten auch das Gegentheil stattgefunden und nur eben das Feste und Dauerhafte dem Zahn der Zeit getrotzt hat, während das Schwache und Unhaltbare längst untergegangen ist. Die Wahrscheinlichkeit, dass unser Zeitalter in einer späteren Zukunft gradeso ein Muster des soliden Baues sein wird, als es das Mittelalter und die Griechen und Römer für die Jetztzeit sind, hat mehr Gründe für als wider sich, da ja dem heutigen Bauen, welches das Beste aus den Ueberlieferungen und Erfahrungen zu verwerten bestrebt ist, die Absicht nicht abgesprochen werden kann, Dauerhaftes der Nachwelt zu hinterlassen.

Die Erhärtung des Mörtels durch den Einfluss der Luft ist eine nicht so leicht zu erklärende Erscheinung. Man hat sogar darüber gestritten, ob sie eine Folge bloss physikalischer (mechanischer) oder allein chemischer Wirkungen sei. Jedenfalls haben daran beide Factoren zugleich Antheil.

Die Umwandlung des Kalkes ($\text{Ca O, H}_2\text{O}$) in kohlen-sauren Kalk (Ca O, CO_2) schlechthin kann nicht die Hauptsache der Erhärtung sein; denn erstens zieht der Kalk an der Luft nur die Hälfte Kohlen-säure an zu $\text{Ca O, CO}_2 + \text{Ca O, H}_2\text{O}$ und zweitens ist es bekannt, dass selbst bei den festesten alten Mauern der Kalk im Inneren noch kaustisch, d. h. kohlen-säurefrei ist.

Als man in Dresden zum Zwecke eines Theaterbaues einen Theil der sehr starken Festungsmauer, welche vor 300 Jahren erbaut wurde, wegsprengte, benutzte Petzhold die Gelegenheit, den Mörtel zu untersuchen. Ein Theil davon grob zerstoßen, mit Wasser übergossen, gab eine Flüssigkeit (Kalkwasser), die stark alkalisch reagirte. Folglich war noch ätzender Kalk vorhanden. Kalte Salzsäure zersetzte den Mörtel unter starkem Aufbrausen; nach 10 Minuten bildete die Lösung eine starke Gallerte, ein Beweis, dass ein Theil des Kalkes an Kiesel-erde gebunden war. Ein ganz gleiches Verhalten zeigte Mörtel eines 100 Jahre alten Hauses.

Folgendes ist das Ergebnis einer Analyse beider Mörtel:

	300jähriger	100jähriger
	Mörtel	
Sand (in Salzsäure ungelöst bleibend)	69·1	79·8
Kieselsäure (Gallerte bildend)	6·2	2·1
Thonerde	0·4	0·016
Eisenoxyd	1·4	0·16
Kalk (Ca O)	4·2	4·3
Wasser und Kohlensäure	18·7	13·6
	100·0	99·9

Es ergibt sich daraus zuvörderst, dass in diesen Proben das Ver-hältnis von Kalk zu Sand dasselbe ist, wie noch heutzutage; denn 4·2 Kalk entsprechen 14 Gewichtstheilen Kalkbrei, auf welchen im älteren Mörtel 69 Sand, d. i. das 5fache, im jüngeren 79·8 Sand d. i. das $5\frac{1}{2}$ fache des Kalkes kommen.

Es ist zu bedauern, dass Petzhold unterlassen hat, die an den Kalk gebundene Kohlensäure zu bestimmen, weil man daraus einen sicheren Massstab gewonnen hätte für den Einfluss, welchen die Kohlensäuerung des Kalkes auf die Erhärtung ausübt.

Dagegen enthalten die obigen Zahlen das Mass für eine andere chemische Thätigkeit, der die Mitwirkung auf das Festwerden des Mörtels nicht abgesprochen werden kann. Es betrifft dies die Menge der gallertartigen Kieselerde, d. h. das Vorhandensein von Kalksilicat im Mörtel. Wenn auch ein Theil dieser Kieselerde ursprünglich mit der Thonerde verbunden, als Thon im Kalke vorhanden war, also

schon beim Brennen durch den Kalk in Säuren löslich wurde, so ist doch offenbar davon viel mehr vorhanden, als es der Verbindung der Kieselerde mit der Thonerde entspricht; denn der gebrannte Kalk von Maxen (von wo Dresden seinen Kalk von jeher bezog) enthält nur: 1·3% Sand, 2·6% Kieselerde, 2·1% Eisenoxyd, 0·15% Thonerde und 93·85% Kalk, so dass auf die 4·2 Theile Kalk in dem Mörtel höchstens 0·12% lösliche Kieselerde kommen. Es spricht für die Bildung eines Kalksilicates auf nassem Wege schon der Umstand, dass in dem 300jährigen Mörtel dreimal mehr lösliche Kieselerde enthalten ist, als in dem 100jährigen.

Die allmähige Erhärtung des Weisskalkmörtels hängt auch noch von anderen als chemischen Ursachen ab, so von der Krystallisation des Kalkhydrats. Die Feuchtigkeit des frischen Mörtels ist nicht ein blosses Wasser, sondern eine Kalklösung. Mit dem Austrocknen, also Verdunsten des Wassers, legt sich der gelöste Kalk nach und nach in sehr kleinen Krystallen an die Umgebung an. Diese Krystalle sind zwar spröde, so dass sie beim Biegen leicht zersplittern, sie vermögen aber einer Kraft, welche ausschliesslich zerreisend wirkt, einen ungleich kräftigeren Widerstand zu bieten. Sind also die Oberflächen, woran solche Kalkkrystalle haften, sehr genähert, so wird eine Kraft, die zu trennen strebt, an einem kurzen Hebel thätig sein und folglich mehr in einer Richtung jene Krystalle zu zerbrechen streben, in der sie gerade den grössten Widerstand leisten.

Da, wo die Feuchtigkeit des Mörtels mit der Luft zusammenkommt, also nach aussen zu, schlägt daraus die Kohlensäure den Kalk nieder und zwar ebenfalls in kleinen Krystallen, mit denen es sich ähnlich wie mit den Kalkhydratkrystallen verhält. Das ausgeschiedene Wasser nimmt neuen Kalk auf, führt diesen ebenfalls der Kohlensäure zu und so fort, so lange noch Feuchtigkeit vorhanden ist.

Alles zusammengefasst ist anzunehmen, dass die Erhärtung keiner der erwähnten Ursachen ausschliesslich zukommt, sondern von allen zugleich bedingt wird, aber so, dass die Kalksilicatsbildung und die Krystallisation das successive Festwerden und Versteinern die Anziehung der Kohlensäure dagegen das schnelle Erstarren bewirkt.

Beim Anziehen der Kohlensäure aus der Luft wird ein äquivalenter Theil Wasser aus dem Kalkhydrat abgeschieden, welcher zur Feuchtigkeit der Wände neuerbauter Häuser und neubeworfener Wohnräume beiträgt. Ein Quadratmeter 2½ cm starker Kalkmörtelverputz wiegt über 40 kg und enthält, je nach dem Sandzusatz bis 2 kg Kalk (CaO), nicht Kalkbrei, an welchem nahezu ¾ kg Wasser gebunden sind, mithin macht dies bei einem Zimmer von 60 Quadratmetern Verputzfläche schon 45 kg Wasser aus. Da mörtelfeuchte Wohnungen der Gesund-

heit schädlich sind, pflegt man, um die Bewohnbarkeit rascher zu ermöglichen, die frisch verputzten Wandflächen durch Kohlenfeuer zu trocknen.

Das Ausheizen neuer Wohnräume mit offener Holzkohlen- oder Coksfeuern — namentlich jener Räume, deren Verputz aus Weisskalkmörtel hergestellt wurde, beruht darauf, dass durch die in offenen Becken entzündeten Holzkohlen oder Coks, Kohlen säure entwickeln, die sich mit dem Aetzkalke des Mörtels verbindet und dadurch das an denselben chemisch gebundene Wasser freimacht. Dabei sollen Thüre und Fenster geschlossen bleiben, jedoch die Vorsicht nicht ausser Acht gelassen werden, dass bei Betretung solcher Räume, — weil das Kohlenoxydgas und die Kohlensäure betäubend, ja tödtlich auf die Athmungsorgane eines Menschen einwirken, — früher eine Lüftung dieser Localitäten vorgenommen werden muss.

Sollen aus Cement- oder Albolith-Cementkalk hergestellte Räume — in denen naturgemäss nur eine geringe Menge Feuchtigkeit vorhanden ist — durch Heizen ausgetrocknet werden, so wendet man bei ebenfalls geschlossenen Fenstern und Thüren besser von innen heizbare Oefen an. Für Luftwechsel ist in diesem Falle nicht besonders Sorge zu tragen, da dieser durch den Zug im Ofen vermittelt wird.

Eine alte, von Guyton und Carny angewendete Methode, um Soda aus Kalk und Kochsalz zu gewinnen, besteht darin, dass Kalk und Kochsalz gemengt eine Zeit lang liegen gelassen werden, bis sich Auswitterungen von kohlensaurem Natron zeigen. Dieser für die gegenwärtige Sodafabrikation nicht brauchbare Vorgang beweist, dass Kalk oder Mörtel nicht mit Wasser angemacht werden darf, welches Kochsalz enthält, weil dadurch nicht bloss kohlensaures Natron, sondern auch Chlorcalcium entstehen, die als leicht zerfliessliche Salze die Wände und Mauern feucht machen und Lockerheit des Mörtels bewirken. Die Ausschliessung kochsalzhaltigen Wassers gilt jedoch nur für Bauten, welche mit Salzwässern nicht in Berührung kommen; für Meeresbauten hingegen, namentlich bei Anwendung von Albolith-Cementkalk ist gerade das Meerwasser das bestgeeignete, was später nachgewiesen werden wird.

Es ist ferner bekannt, dass, wenn stickstoffhaltige Substanzen, Urin, Düngerjauche etc. an Mauern in Fäulnis übergehen, der Kalk im Mörtel auch leicht eine Salpeterbildung einleitet.

Wo flüssigen Zersetzungen und Auflösungen thierischer Excremente, der Abfälle von Haushaltungen und Schlächtereien, den Spülwässern aus Häusern und Fabriken, der Mistjauche, dem Inhalt von Gossen und dergleichen Unrathe mehr Gelegenheit gegeben ist, ober- und unterirdisch (durch Infiltration des Erdreiches) an und in die Mauern zu dringen, sieht man, wie der Mörtelverputz nach und nach

zerfressen wird, sich mit schneeartigen, weissen, krystallinischen Ausblühungen bedeckt, und wie die Zerstörung des Mörtels und auch der Mauersteine (wenn solche den Salzen und Säuren nicht widerstehen), falls nicht Abhilfe getroffen wird, immer mehr und mehr um sich greift.

Diese Erscheinung, welche so schädigend auf das Mauerwerk wirkt, trägt den zutreffenden Namen „Salpeterfrass“.

Schädliche Auswitterungen bilden sich aber auch in Folge anderer, als der erwähnten Einflüsse. Es ist nämlich nachgewiesen, dass noch häufiger durch die im Kalkstein befindlichen schwefelsauren und kohlen-sauren Alkalien oder durch die aus dem Brennstoffe in den Kalk übergegangenen, dem Mörtel abträgliche Verbindungen, Verwitterungen und Zersetzungen herbeigeführt werden.

Man gelangt daher zum Schlusse, dass zur möglichsten Vermeidung der Auswitterungen und des Mauerfrasses vornehmlich in Gasöfen oder Flammenöfen erbrannte Kalke, die ausser Berührung mit dem Brennmaterial bleiben, zu Luftmörtel in Verwendung kommen sollten.

Häufig kommen bei den im Baue begriffenen Gebäuden an den Mörtelfugen weisse, mehlig-e, oft krystallinische Anflüge zum Vorschein; diese bestehen meistens aus: schwefelsaurem Natron, kohlen-saurem Natron, Chlornatrium, kohlen-saurem Kali und Chlorkalium.

Solche Anflüge verlieren sich jedoch in kurzer Zeit, oder können durch Abwaschen mit Wasser, welchem man circa $\frac{1}{2}\%$ Salzsäure zugesetzt hat, entfernt werden.
