

Sie sind hier: Bandübersicht → Band 196 → Artikel XCVII. ← →

Titel: Wolter, über Kalk und (Luft)–Mörtel.

Autor: Anonymus

Fundstelle: 1870, Band 196, Nr. XCVII. (S. 343–359)

URL: <http://dingler.culture.hu-berlin.de/article/pj196/ar196097>

XCVII. Mittheilungen aus dem chemisch–technischen Laboratorium zu Braunschweig.

(Fortsetzung von Bd. CXCII S. 494.)

VI. Kalk und (Luft–) Mörtel; von W. Wolters.

Die bekannte Thatsache, daß ein Gemenge von gelöschtem Kalk, Sand und Wasser, in den Verhältnissen wie sie im Bauwesen gebräuchlich sind, an der Luft zu einer steinigen Masse erhärtet, ist vielfach Gegenstand chemischer Untersuchung gewesen, aber noch immer nicht in allen Punkten völlig aufgeklärt. Der Grund liegt wohl darin, daß man sich bis dahin immer darauf beschränkt hat, Mörtel von verschiedenem Alter und Ursprung auf seinen chemischen Bestand zu untersuchen und daraus, mit Zuziehung der praktischen Erfahrungen, Schlüsse auf den Vorgang der Erhärtung zu ziehen. Dagegen hat man, soweit dem Verf. bekannt, die Erhärtung des Mörtels niemals in ihrer Entwicklungsgeschichte, d.h. den Einfluß der atmosphärischen Luft und der Kohlensäure auf den Mörtel im Laufe der Zeit verfolgt.

Die vorhandenen Untersuchungen von Mörtel lehren nun: daß die as Erhärtung an kein bestimmtes Gewichtsverhältniß zwischen Kalk und Sand gebunden ist; daß mit der Erhärtung eine

XCVII. Notes from the chemical–technical Laboratory in Braunschweig.

(Continued from Vol. CXCII S. 494.)

VI. Lime and (Air–) Mortars; by W. Wolters.

The known fact that a combination of slaked lime, sand and water mixed in the ratios used in the building trade, hardens in the air to a rocklike consistency, has often been the subject of chemical analysis. Every aspect of this process could not yet be fully explained, however. One reason may be that the research has been limited to analysing mortars of different ages and provenance for their chemical components, and draw conclusions on the mechanism of hardening, based on practical experience. As far as the author knows, it has never yet been attempted to investigate the influence of ambient air and carbon dioxide on the hardening of the mortar over a period of time.

From the existing research into mortar we know that:

Aufnahme von Kohlensäure Hand in Hand geht; daß die aufgenommene Kohlensäure in erhärteten Mörteln sehr oft (so in den Analysen von Bauer, Wallace, A. Vogel) der Menge entspricht, welche Kalk und Bittererde als Neutralsalze verlangen; daß in anderen Fällen (so in den Analysen von Schrötter und Latzko) die Kohlensäure um 20 Proc., ja um 70 Proc. gegen die Berechnung zurückbleibt; jene Untersuchungen lehren endlich, daß mit der Erhärtung öfter eine Zunahme an löslicher Kieselerde im Mörtel stattfindet. Diese Zunahme steht immer im umgekehrten Verhältniß mit der aufgenommenen Kohlensäure; sie beträgt in den damit gesättigten Mörteln meist nur Bruchtheile von Procenten, in den Mörteln welche noch viel caustischen Kalk enthalten 4 bis 7, selbst 10 Proc. Insofern die Erfahrung lehrt, daß Mörtel mit Kalksand, zerriebener Kreide u.s.f. ebenso gut erhärten, als mit Quarzsand, kann das Auftreten der löslichen Kieselerde (d.h. die Aufschließung des Quarzsandes durch andauernde Einwirkung des Aetzkalkes) für die Erhärtung nur von untergeordnetem Werthe seyn. Endlich ist an die Thatsache zu erinnern, daß der Uebergang |344| von festem Mörtel zu einer steinfesten Masse sehr allmählich und stets in zwei Stadien erfolgt. Das erste Stadium, „Binden oder Anziehen,“ ist das bloße Gestehen, die Verwandlung der breiigen Masse in eine feste, aber sehr weiche und zerreibliche; das zweite Stadium ist die steinartige Erhärtung der zerreiblichen Masse.

- The hardening [of the mortar] is not restricted to a fixed weight ratio between lime and sand
- the hardening [of the mortar] always involves absorption of carbon dioxide
- that the [quantity of] absorbed carbon dioxide in hardened mortars very often (as in the analyses of Bauer, Wallace, A. Vogel) corresponds to the amount which lime and magnesia [magnesium oxide] require as neutral salts
- that in other cases (as in the analyses of Schrötter and Latzko) the carbon dioxide [absorption] falls short by 20%, even 70%, against the calculations
- those analyses show that the hardening [of the mortar] often lead to an increase of soluble silica [silicon dioxide] in the mortar. This increase always is inversely proportionate to the absorbed carbon dioxide; in [carbon dioxide] saturated mortars this is in most cases only fractions of percentages, in mortars with much caustic lime content it is 4%-7%, even 10%.
- Experience shows that mortars made with with ground lime, ground chalk, etc harden as well as the ones made with quartz [silica] sands. The occurrence of soluble silica (i.e. the solubilizing of the silica sands resulting from continuous exposure to caustic lime), can therefore be only of limited value for the hardening [of the mortar].

Finally, it needs to be remembered that the transition from a dried mortar to a rockhard matter is very gradual and always goes through 2 stages: The first stage the 'binding' or 'firming' is the simply the transformation of a soft matter into a solid, but soft and friable

Man hat den Proceß der Erhärtung, wie es scheint, immer zu ausschließlich chemisch aufgefaßt, während doch die Erscheinung im Ganzen sehr deutlich darauf hinweist, daß auch mechanische Momente bedingend eingreifen. Dieser Gesichtspunkt ist für die folgende Untersuchung ein wesentlich leitender gewesen. Was das Material anbelangt, so war dieß bis zur völligen Entfernung der Kohlensäure gebrannter carrarischer Marmor und mit Wasser und Salzsäure gewaschener Quarzsand. In der Maurerkunst ist das an den meisten Orten übliche Verhältniß 1 Raumtheil breiiger, eingesumpfter, gelöschter Kalk und 2 Raumtheile Sand. Der eingesumpfte Kalk enthält etwa 70 Proc. Wasser; man hat mit dem Sand gewöhnlich noch etwas weniges Wasser (3–5 Pfd. auf 1 Kubikfuß rhein.) zuzusetzen. Dieses entspricht in Gewichten und runden Zahlen einem Gemenge von 1 G.–Th. gebranntem Kalk, 3 G.–Th. Wasser und 6 G.–Th. trockenem Sand. Unter „Mörtel“ ist in den folgenden Versuchen stets dieses Gemenge verstanden. – Eben diese Versuche führten vielfach auf die Eigenschaften des Kalkes selbst zurück, von denen die wichtigsten, so weit sie neu beobachtet sind, in einem besonderen Abschnitt vorausgehen mögen.

Löschen des Kalkes.

Der aus Marmor gebrannte kohlenstofffreie Kalk besitzt ein deutlich körniges Gefüge, entsprechend dem körnig-krystallinischen Gefüge des Marmors; er läßt sich leicht zwischen den Fingern zu einem sandigen Pulver zerdrücken, wovon jedes Korn einem Krystall im Marmor entspricht. Auch beim öfteren Gebrauch der Flasche, worin der

consistency; the second stage is the rocklike hardening of the friable matter.

The process of the hardening [of the mortar] appears to only have been viewed from a chemical point of view. There is however a clear indication that mechanical processes are also involved. This aspect has been crucial for the following analysis. The materials used for this study were Carrara marble, burned to complete removal of carbon dioxide, also quartz sand, washed with hydrochloric acid and water. The most usual ratio [for mixing mortar] in the building trade] is one volume part of slaked lime putty, and 2 volume parts sand. The slaked lime putty contains approx 70% water. The sand usually requires the addition of a little water (3-5 pounds to a Rhineland cubic foot). This corresponds approximately to 1 weight part of burned lime, 3 weight parts of water and 6 weight parts of dried sand. The “mortar” in the following experiments is always made up to this ratio. These trials were often highlighting the characteristics of the lime itself. The most important [properties], as far as they have been newly discovered, will be described in a separate section.

Slaking of Lime

The lime, burned from marble, is completely free of carbon dioxide, and has a granular texture, corresponding to the granular texture of the marble. It disintegrates easily to a sandlike powder when rubbed between the fingers. Each grain represents a crystal of the original marble. It also disintegrates into a sandlike powder in the storage bottle if this has been open and closed often. If a piece of burned lime is dropped into water, it slakes immediately with a

gebrannte Kalk aufbewahrt ist, bildet sich viel von diesem sandigen Pulver. Läßt man ein Stück dieses gebrannten Kalkes in Wasser fallen, so löscht es sich unter lebhaftem Zischen, wie eine glühende Kohle, augenblicklich. Löscht man 1 Th. Kalk mit 3 Th. Wasser unter Umrühren, so entsteht nach einigen Minuten ein mäßig steifer Brei, der kaum noch beim Umwenden des Gefäßes ausfließt und von etwas geringerer Consistenz ist, als der eingesumpfte Kalk der Maurer.

Bringt man Stücke jenes gebrannten Kalkes in ein Glasrohr, und leitet einen Strom von Wasserdampf hindurch, so treten keine für das Auge bemerkbare Veränderungen des Kalkes ein, selbst nach anderthalb-stündiger [345] Einwirkung des Dampfes nicht; nur größere Kaltstücke ziehen einen oder zwei wenig auffallende Risse. Dabei ist selbstverständlich vorausgesetzt, daß man das Rohr etwas erwärmt und auf einer Temperatur erhält, bei der kein Wasserdampf sich verdichten kann. Nach dem Herausnehmen zerfällt der Kalk gern sandartig zu groben Körnern, von denen jedes einem Krystallkorn des Marmors entspricht. In Wasserdampf löscht sich der Kalk demnach nicht, wenigstens nicht nach dem Begriff den der Maurer mit dem Wort zu verbinden pflegt. Demungeachtet ist er vollkommen in Kalkhydrat übergegangen.⁹⁵⁾ Es fehlt zum Begriff des Löschens lediglich die Erscheinung des Wachsens oder Gedeihens. Diese Erscheinung ist aber für den Mörtel und seine Anwendung ganz ebenso wichtig, wie die Aufnahme von Hydratwasser; dieß beweist folgende Erfahrung.

Bereitet man den Mörtel, wie üblich, durch Löschen des Kalkes in seinem dreifachen Gewicht Wasser und rührt dann

lively hiss, like a piece of glowing coal. If 1 part lime is slaked with 3 parts water, and stirred during this process, a medium-stiff paste develops, which barely falls out of an upturned vessel. It is of somewhat lesser consistency than the slaked lime putty of the masons.

If pieces of the burnt lime are put into a glass tube and surrounded with a continuous flow of steam, there are no visible changes in the lime, even after one and a half hours of constant exposure to water steam; only larger pieces of burnt lime show 1 or 2 small cracks. It goes without saying that the tube is warmed and kept at a temperature in which the steam cannot condense. When the lime stone pieces are taken out of the tube, the pieces very easily disintegrate into sandlike grains, and each grain corresponds to a crystal grain of the marble. The burned lime therefore does not slake in steam, at least not in the way a mason would expect. Notwithstanding this, the burnt lime has completely transitioned to a hydrated lime. For the completion of the slaking process, only the phenomenon of the lime increasing in size is missing. This occurrence is however as important as the absorption of hydrating water and is demonstrated in the following observation.

If one prepares the mortar as usual by slaking the lime with 3 weight parts of water, and adds 6 parts of sand, the usual

die sechs Theile Sand unter, so zeigt das Gemenge die bekannte Beschaffenheit; wenn man auch die Sandkörner als kleine Erhabenheiten sieht, so sind sie doch allseitig mit dem feinertheilten Kalkbrei überzogen; die Masse ist milchweiß von der Farbe des Kalkes, nicht graubraun wie der Sand, dabei dicklich, rahmig und seimig. Zerreibt man den gebrannten Kalk dagegen trocken mit dem Sand und setzt dem innigen Gemenge beider zuletzt das Wasser zu, Alles in denselben Gewichtsverhältnissen, so erhält man ein gänzlich verschiedenes Product, welches kein Maurer als Mörtel ansprechen würde und auch nicht als solchen zu gebrauchen vermöchte. Zuvörderst vermißt man beim Zusatz von Wasser die sonst ungemein lebhaftere Wärmeentwicklung, welche sich auf eine sehr mäßige Temperaturzunahme beschränkt, ebenso das Zischen und das Ausquellen, kurz die ganze Lebhaftigkeit der Reaction beim Löschen desselben Kalkes nach gewöhnlicher Art. Das Gemisch bleibt wässerig, kurz, mit Ausschluß jeder rahmigen Beschaffenheit, gelbbraun von der Farbe des Sandes und verhält sich kaum anders wie bloßer Sand mit Wasser angemacht.

Die Aufnahme von Wasser und das sogen. „Gedeihen“ des gebrannten Kalkes sind offenbar zwei für sich bestehende Erscheinungen, welche sich nicht nothwendig einander bedingen. Bringt man ein Stück gebrannten Kalk mit Wasser zusammen, so ist das Erste, daß er bei seiner bedeutenden Saugkraft sich damit tränkt; das Zweite ist die chemische | 346| Bindung des Wassers mit entsprechender starker Entwicklung von Wärme, welche sich in der Masse des befeuchteten Kalkes nicht sofort nach außen zerstreuen kann; die rasch und in Menge frei gewordene Wärme

consistency is achieved. The grains of sand are visible in the mortar as little protrusions and are completely covered with the slaked lime. The mix is made milky-white in colour by the lime, and not grey brown as the sand. It has a thick, creamy and smooth consistency. If one grounds dry burnt lime with sand, and adds water at the end, all in the same weight ratio, then the result is a totally different product, which no mason would call a mortar, and could not use as such. Firstly, when the water is added, no pronounced heat develops, the temperature increase is indeed very moderate. Also, the hiss and the increase in volume is missing, in short all the signs of a lively reaction if the lime is slaked in the usual manner. The mix remains watery, short, completely lacking the creamy consistency, coloured yellowish brown by the sand. It behaves not very differently to mere mix of sand and water.

The absorption of water and the so called 'growing' of the burned lime are apparently two separate phenomena, which are not necessarily dependent upon each other. If a piece of burnt lime is brought into contact with water, it firstly soaks up the water, due to its high absorbency. The second reaction is the chemical bond of the water with corresponding strong heat development, which is unable to escape quickly from the lump of wet lime. The quickly generated heat turns the surplus free water immediately into steam, which, in a manner of speaking, pushes the molecules in the mix apart from each other. The 'growing' is a secondary

verwandelt das überschüssige nicht gebundene Wasser sofort und auf allen Punkten in Dampf, der die Masse so zu sagen in Moleküle auseinander treibt. Das „Gedeihen“ ist eine secundäre Erscheinung durch augenblickliche Dampfentwicklung. Bei der Behandlung des gebrannten Kalkes im Dampfstrom fällt mit der Ursache auch das Gedeihen weg. Nicht weniger, wenn man den Kalk vor dem Zusatz von Wasser mit dem Sande zerreibt; in diesem Falle werden die staubfreien Theilchen des gebrannten Kalkes von dem Sande auseinandergehalten und die durch die Bindung des Wassers frei werdende Wärme, welche sich nicht sammeln kann, wird in der Masse des Sandes und nicht gebundenen Wassers zerstreut. Diese Masse ist aber sehr beträchtlich; denn von den 3 Th. Wasser bindet der Kalk nur 0,45 G.-Th., so daß noch 2,55 G.-Th. ungebundenes Wasser und 6 Th. Sand, zusammen 8,55 G.-Th. auf 1 G.-Th. Kalk bleiben.

Zu einem guten Mörtel ist die bloße Aufnahme von Hydratwasser keineswegs genügend, das Gedeihen ist eine ebenso unerläßliche Bedingung. Löscht man den Kalk mit sehr wenig Wasser, so nimmt das Product die Beschaffenheit an, welche man „verbrannt“ zu nennen pflegt, es ist bloßer hydratisirter nicht zum Gedeihen gekommener Kalk.

Es ist lange bekannt, daß weder trockener Kalk (CaO) noch trockenes Kalkhydrat (CaO, HO) Kohlensäure aufnehmen. Die Wiederholung des Versuches mit dem letzteren ergab beim Darüberleiten von Kohlensäure eine Stunde lang, zwar eine Gewichtszunahme, die aber 1 Proc. nicht überstieg. Die

phenomenon, caused by instantaneous steam development. When exposing burnt lime to steam, the 'growing' does not exist as it has no cause [i.e. surplus free water]. The same happens when lime is ground with sand, prior to adding water: In this case the fine, dustlike particles of the lime are kept apart by the sand, and the heat released by the bond with the water can not accumulate but dissipates in the mass of the sand and the free surplus water. This mass is considerable: Of the 3 parts of water the lime only binds 0.45 weight parts, which leaves 2.55 weight parts free surplus water and 6 weight parts sand - in total 8.55 weight parts - to one part of lime.

For a good mortar the absorption of hydrating water alone is not sufficient, the growing is an equally important condition. If lime is slaked with very little water, the finished item has a quality which is usually called 'burnt'; this is simply hydrated lime which was not allow to grow.

It is a longstanding fact that neither dried lime (CaO), nor dried hydrated lime (CaO, HO) absorb carbon dioxide. The repetition of the experiment with the latter resulted only in an increase in weight of max. 1% after a continuous exposure to carbon dioxide for an hour. The fact that fully dried hydrated lime does not absorb carbondioxide

Thatsache, daß absolut trockenes Kalkhydrat keine Kohlensäure aufnimmt, steht daher richtig. Aber nicht bloß die Gegenwart von Wasser, sondern auch der Aggregatzustand desselben ist entscheidend. Nur tropfbar flüssiges (nicht dampfförmiges) Wasser ist geeignet die Verbindung der Kohlensäure mit dem Kalkhydrat zu vermitteln. Folgender Versuch legt diese Thatsache klar.

In einer Trockenröhre wurde Kalkhydrat bei 140° C. in einem kohlenstofffreien Luftstrom getrocknet, bis zum Gleichbleiben des Gewichtes. Man senkte nun die Röhre mit dem trockenen Kalkhydrat wieder in dasselbe Bad bei einer Temperatur wobei sich kein Wasser verdichten konnte, und leitete einen Strom von Kohlensäure darüber, der vorher durch Wasser hindurchging, welches dicht beim Siedepunkt erhalten wurde. Nach fünf Viertelstunden hatte der Strom dieser mit Feuchtigkeit gesättigten Kohlensäure keine Gewichtsvermehrung hervorgebracht.

|347|

Kalkmörtel.

I. Das Anziehen (Abbinden).

Proben von frisch angemachtem Mörtel in Glasröhren eingeschmolzen veränderten sich auch nach längerer Zeit nicht, blieben halbflüssig, breiig, konnten durch Klopfen leicht von einer Wand zur anderen bewegt werden: sie zogen schlechterdings nicht an. Dieß geschah jedoch im Vacuum, oder unter einer Glocke mit Schwefelsäure in kohlenstofffreier Luft. Das Anziehen des Mörtels ist demnach lediglich eine Folge des Austrocknens, es ist nichts als der Zusammenhang welchen alle feinertheilten brei- oder schlammartigen Massen, wie Thon, verschiedene Niederschläge

is therefore correct. Not only the presence of water but also its state is decisive. Only liquid (not steam) water is suitable to facilitate the bond between carbon dioxide and hydrated lime. The following experiment demonstrates this:

Hydrated lime in a drying tube was dried at 140° C in a continuous airflow which was free of carbon dioxide, until no further weightloss could be achieved. Then, maintaining a temperature in which water did not condense, the dried hydrated lime sample in the tube was exposed to a continuous flow of carbon dioxide, which had been directed through water, which was kept close to boiling point. After one and a quarter hours the continuous flow of moisture saturated carbon dioxide had not led to an increase of weight [in the lime sample].

Lime mortar

I. The setting (binding)

Samples of freshly mixed mortar, sealed into glass tubes did not change after a long period of time, they remained semi liquid, soft, could get moved around the tubes by tapping; they did not set. This was done in a vacuum, or under a bell jar with sulphuric acid in air devoid of carbon dioxide. The setting of the mortar is therefore a consequence of the drying. It is not different to the cohesion which all fine, soft or slurry-like substances, for example clay of various precipitates, assume, when they gradually lose their water. In the case of the mortar it is predominantly the very finely distributed slaked lime

etc. annehmen, wenn sie allmählich ihr Wasser verlieren. Bei dem Mörtel ist es wesentlich der durch Löschen überaus fein zertheilte Kalk, die Adhäsion seiner kleinsten Theilchen unter sich, wodurch das Anziehen erfolgt.

Diese Adhäsion ist so groß, daß sie auch durch die Einmischung des Sandes und zwar des 6 fachen Gewichtes vom Kalk (CaO) noch nicht aufgehoben wird. Bringt man den Mörtel auf eine saugende Unterlage, z.B. einen gebrannten Backstein, so erfolgt das Anziehen bei weitem rascher als an der Luft. Gelöschter Kalk ohne Sand verhält sich genau ebenso wie Mörtel und zieht ebenso an. Mörtel durch Zusammenreiben von trockenem gebrannten Kalk mit Sand und nachträglichen Zusatz von Wasser dargestellt, gewinnt mit dem Trocknen so gut wie keinen Zusammenhang, er zieht in Ermangelung der feinen Zertheilung des Kalkhydrates nicht an und ist schon aus diesem Grund zum Mauern geradezu unbrauchbar.

II. Verhalten zu Kohlensäure.

Proben von frischem Mörtel, im Gewicht von etwa 2 Grm., auf Glasscherben gestrichen, wurden in einer geräumigen Flasche mit Kohlensäure aufgehängt und von Zeit zu Zeit eine Probe gezogen zur Untersuchung. Zum Füllen der Flasche diente die Kohlensäure einfach wie sie der Entwicklungsapparat lieferte, und zwar ungetrocknet. Es war zugleich beim Verschuß der Flasche Vorsorge getroffen, daß durch etwaige Absorption des Gases keine Luftverdünnung in der Flasche entstehen konnte.

specifically, the adhesion of its minute particles, which effect the setting.

This adhesion is that large that it is not broken, even when sand to the sixfold weight ration of lime (CaO) is added. If the mortar is put onto a absorbent substrate, for example a brick, the setting is progressing far faster than in ambient air. Slaked lime without sand behaves exactly like mortar and and sets in the same way. Mortar made from grinding together dry, burnt lime and sand, with the water added afterwards achieves after drying virtually no cohesion. It does not set due to the lack of the fine distribution of hydrated lime, and is utterly unuseable for masonry for this reason.

II. Behaviour with Carbon dioxide

Samples of fresh mortar of approx 2 grams, smeared onto glass slides, were suspended in a roomy bottle filled with carbon dioxide. From time to time as sample was taken. Monosaturated, undried carbondioxide, as the production machine made it, was used to fill the bottle. The bottle was stoppered in a way that prevented thinning of the air in the bottle by potential absorption of the gas.

Die gezogenen Proben wurden in Chlorwasserstoffsäure gelöst, die Kohlensäure im Kalikugelapparat aufgefangen, der Sand von der Lösung abfiltrirt, ausgewaschen, getrocknet und gewogen, der Kalk in der Lösung als oxalsaurer Kalk bestimmt; das Wasser wurde aus dem Gewichtsunterschied berechnet, so daß die angegebenen Werthe die Summe des gebundenen und des freien Wassers ausdrücken. Man erhielt so:

1.

Dauer des Versuches	Gewicht der Probe	Auf 100 Gewichtstheile Kalk (CaO):		
		Kohlensäure.	Sand	Wasser
	Grm			
3 Tage	2,211	1,45	528,7	175,3
3 “	1,834	2,34	563,6	191,1
11”	1,905	2,87	609,1	199,5
11”	1,762	2,78	588,9	198,2

Als Parallelversuch war eine andere Reihe von gleichnamigen Proben in einem vor Staub, Säuredämpfen und sonstigen Gasen geschützten Zimmer der gewöhnlichen atmosphärischen Luft ausgesetzt. Diese ergaben bei gleicher Behandlung:

The selected samples were dissolved in hydrochloric acid, the carbon dioxide was retained in [Liebig's] five sphere kali apparatus, the sand was filtrated out, washed, dried and weighed. The lime in the suspension was identified as oxalic lime. The water was calculated from the weight difference, so that the stated results represent the sum of the attached and free water. The results are as following:

1.

Duration of Experiment	Weight of Sample	To 100 weight parts lime (CaO):		
		Carbon Dioxide	Sand	Water
	Grm			
3 Days	2,211	1,45	528,7	175,3
3 --	1,834	2,34	563,6	191,1
11 --	1,905	2,87	609,1	199,5
11 --	1,762	2,78	588,9	198,2

In a parallel experiment a series of the same samples were exposed to normal ambient air in a room which was protected against dust, acid vapours and other gases. Given the same treatment the results were:

2.

Dauer des Versuches	Gewicht der Probe	Auf 100 Gewichtstheile Kalk:		
		Kohlensäure.	Sand	Wasser
	Grm			
2 Tage	1,745	5,45	653,6	34,1
2 "	1,435	6,88	613,2	39,1
6 "	1,710	21,60	653,5	27,7
6 "	1,315	24,04	616,4	32,8
12"	1,436	43,48	618,5	18,5
12"	1,604	41,55	574,0	16,9

Nach diesen Versuchen ist die Aufnahme von Kohlensäure aus der atmosphärischen Luft, welche nur ein Zehntausendtel jenes Gases enthält, ohne Vergleich bedeutender als in reiner Kohlensäure. In 11 bis 12 Tagen war in der atmosphärischen Luft über die Hälfte, in der Kohlensäure 1/27 des Kalkes gesättigt. An der Luft ist die Aufnahme stetig und fortschreitend, in reiner Kohlensäure nach 3 Tagen so gut wie abgeschlossen. An der Luft nahm der Wassergehalt des Mörtels natürlich mit der Dauer der Einwirkung ab, in der Flasche mit Kohlensäure nicht. Dieser Umstand gab Veranlassung zu einem dritten Versuch, wobei Alles vorgerichtet war wie bei Versuch 1, nur hatte man auf den Boden der Flasche mit Kohlensäure einige Linien hoch concentrirte Schwefelsäure gegossen. Das Ergebnis war folgendes:

2.

Duration of Experiment	Weight of Sample	To 100 weight parts lime:		
		Carbon Dioxide	Sand	Water
	Grm			
2 Days	1,745	5,45	653,6	34,1
2 --	1,435	6,88	613,2	39,1
6 --	1,710	21,60	653,5	27,7
6 --	1,315	24,04	616,4	32,8
12 --	1,436	43,48	618,5	18,5
12 --	1,604	41,55	574,0	16,9

These experiments show that the absorption of carbon dioxide from ambient air, which contains only a 1/10,000th of that gas, is without doubt more significant than in pure carbon dioxide. In 11-12 days in ambient air over 50% of the lime was saturated, in a carbondioxide environment only one 1/27th. In ambient air the absorption was continuous and increasing, in a pure carbondioxide atmosphere it was virtually completed after 3 days. In ambient air, the water content of the mortar decreased over the course of the exposure, but this was not the case in the bottle with carbon dioxide. This condition led to a third experiment: The set-up was exactly as for experiment 1, the only difference was that the base of the bottle with carbon dioxide was filled with concentrated sulphuric acid. The result is as following:

3.

Dauer des Versuches	Gewicht der Probe	Auf 100 Gewichtsteile Kalk:		
		Kohlensäure.	Sand	Wasser
	Grm			
1 Tag	2,025	22,71	580,9	103,2
1"	2,068	23,82	587,1	96,9
2 "	2,120	39,29	610,5	7,3
2 "	2,154	41,58	621,2	9,3
3 "	2,625	68,31	632,3	7,1
3 "	2,547	70,22	622,9	5,3
5"	2,391	68,24	579,2	4,4
5"	2,175	75,53	592,5	3,2

Der Kalk ist also nach 5 Tagen so gut wie gesättigt, wozu nach der Rechnung 78,5 Proc. Kohlensäure gehören. Als man umgekehrt in die Flasche mit Kohlensäure, anstatt Schwefelsäure einige Linien hoch Wasser eingoß, um die Kohlensäure mit dem Dampfe des Wassers zu sättigen, anstatt sie auszutrocknen, so erhielt man:

3.

Duration of Experiment	Weight of Sample	To 100 weight parts lime:		
		Carbon Dioxide	Sand	Water
1 Day	2,025	22,71	580,9	103,2
1 --	2,068	23,82	587,1	96,9
2 --	2,120	39,29	610,5	7,3
2 --	2,154	41,58	621,2	9,3
3 --	2,625	68,31	632,3	7,1
3 --	2,547	70,22	622,9	5,3
5 --	2,391	68,24	579,2	4,4
5 --	2,175	75,53	592,5	3,2

The lime is virtually saturated after five days, for which according to calculation 78.5% carbondioxide are required. When filling the base of the carbon dioxide bottle with water instead of sulphuric acid, to saturate the carbon dioxide with steam instead of drying it out, the result was:

4.

Dauer des Versuches	Gewicht der Probe: Grm	Auf 100 Gewichtstheile Kalk: Kohlensäure.
4 Tage	1,761	0,34
5 "	1,413	0,35
5"	2,378	0,38

Es ist daher klar, daß frischer Mörtel (d.h. Mörtel welcher von den 30 Proc. Wasser mit denen er angemacht worden, 3,2 im gebundenen und 26,8 im freien Znstande enthält) im Grunde gar keine Kohlensäure absorbirt.

Diese Erscheinungen sind von dem Sande des Mörtels nicht abhängig, sie treten gerade so ein im bloßen Kalkbrei ohne Sand, wie nachstehende Versuchsreihe mit Brei aus frisch gelöschtem Kalke beweist:

|350|

5.

Dauer des Versuchs.	Gewicht der Probe	Auf 100 G.-Th. Kalk:	
		Kohlensäure	Wasser.
	Grm.		

4.

Duration of Experiment	Weight of Sample: Grm	To 100 weight parts lime: Carbon Dioxide
4 Days	1,761	0,34
5 --	1,413	0,35
5 --	2,378	0,38

It is therefore evident, that fresh mortar (i.e. mortar made up with 30% water, containing 3.2% adhering water and 26.8% free water), basically does not absorb carbon dioxide.

These phenomena are not dependent on the sands in the mortar, they also occur in mere slaked lime putty, as the following series of experiments with freshly slaked lime shows:

|350|

5

Duration of Experiment	Weight of Sample	To 100 weight parts Lime:	
		Carbon Dioxide	Water.
	Grm.		

Dauer des Versuchs.	Gewicht der Probe	Auf 100 G.-Th. Kalk:		
2 Tage	1,137	7,46	25,28	In atmosphärischer Luft.
2 "	1,256	8,04	30,3	
12 "	0,715	50,19	124,1	
12"	0,771	51,69	108,8	
3 "	1,913	1,06	187,5	In ungetrockneter Kohlensäure
3 "	2,045	0,84	186,4	
11"	1,553	0,82	110,5	
11"	1,605	1,25	113,6	
1 "	2,028	34,36	14,9	In Kohlensäure über concentrirter Schwefelsäure getrocknet.
1 "	1,868	34,35	15,9	
2 "	1,289	54,06	14,7	
2 "	1,817	45,14	9,9	
3 "	1,723	74,70	2,2	
3 "	1,576	75,48	2,6	

In sämtlichen Versuchen mit Mörtel, die bis dahin mitgeteilt wurden, findet die Aufnahme von

Duration of Experiment	Weight of Sample	To 100 weight parts Lime:		
2 Days	1,137	7,46	25,28	In ambient air
2 --	1,256	8,04	30,3	
12 --	0,715	50,19	124,1	
12 --	0,771	51,69	108,8	
3 --	1,913	1,06	187,5	In undried carbon dioxide
3 --	2,045	0,84	186,4	
11 --	1,553	0,82	110,5	
11 --	1,605	1,25	113,6	
1 --	2,028	34,36	14,9	In carbon dioxide, dried over concentrated sulphuric acid
1 --	1,868	34,35	15,9	
2 --	1,289	54,06	14,7	
2 --	1,817	45,14	9,9	
3 --	1,723	74,70	2,2	
3 --	1,576	75,48	2,6	

In all experiments with mortars described so far, the absorption of carbon dioxide into the mortar occurs only during the drying process. It was therefore logical, to carry out similar experiments

Kohlensäure durch den Mörtel nur im Zustande des Trocknens statt. Es lag daher nahe, den Mörtel ähnlichen Versuchen zu unterwerfen, nachdem er angezogen, d.h. bis auf einen gewissen Grad Wasser verloren hat. Im frischen Mörtel sind auf 100 G.-Th. Kalk 300 G.-Th. Wasser vorhanden. Als man ihn auf einen saugenden Backstein legte, waren davon nach 1 Stunde noch 210 G.-Th., am anderen Tage noch 180 G.-Th., also 3/5 des anfänglichen Wassergehaltes übrig. Die folgenden Versuche sind mit solchem auf Backstein zum Anziehen gebrachten Mörtel angestellt:

with mortar after it has dried, i.e. it has lost water up to a certain point. In fresh mortar there are 300 weight parts water to 100 weight parts lime. When put onto an absorbent brick, after an hour only 210 weight parts remained, and on the next day only 180 weight parts. This represents 3/5 of the initial water content. The following experiments were set up with mortar put on bricks to dry:

6.

6.

Dauer des Versuches.	Gewicht der Probe	Auf 100 G.-Th. Kalk:			
		Kohlensäure	Sand	Wasser.	
	Grm.				
2 Tage	1,819	20,45	600,4	23,5	In atmosphärischer Luft.
2 "	1,655	19,46	604,1	25,3	
6 "	2,265	24,75	612,0	20,7	
6"	1,781	23,65	590,0	25,3	
12"	2,091	33,33	613,9	48,0	
12"	2,260	30,93	599,0	46,7	

Duration of Experiment	Weight of Sample	To 100 weight parts lime:			
		Carbon Dioxide	Sand	Water.	
	Grm.				
2 Tage	1,819	20,45	600,4	23,5	In ambient air
2 "	1,655	19,46	604,1	25,3	
6 "	2,265	24,75	612,0	20,7	
6"	1,781	23,65	590,0	25,3	
12"	2,091	33,33	613,9	48,0	
12"	2,260	30,93	599,0	46,7	

Dauer des Versuches.	Gewicht der Probe	Auf 100 G.-Th. Kalk:			
3 Tage	4,398	1,55	608,9	148,6	In ungetrocknetem Kohlensäure
3 "	2,189	1,60	624,9	152,6	
11"	1,979	2,15	613,8	137,1	
11"	1,868	2,31	618,0	144,5	
1 "	2,090	27,05	589,9	79,2	In Kohlensäure über concentrirter Schwefelsäure getrocknet.
1 "	2,301	25,21	570,1	72,9	
2 "	2,344	37,62	593,0	13,5	
2 "	2,083	41,97	602,6	15,7	
3 "	2,138	76,51	577,9	2,8	
3 "	2,359	75,72	593,8	2,9	

Die Aufnahme von Kohlensäure ist darnach in gleichen Zeiträumen viel bedeutender, etwa das Vierfache, wenn der Mörtel vorher angezogen hat und weiter austrocknen kann. Ist ihm diese Möglichkeit abgeschnitten, so ist die theilweise vorläufige Entfernung des Wassers völlig wirkungslos, der Mörtel verhält sich genau wie frischer.

Scharf ausgetrockneter frischer Mörtel mit Wasser getränkt bis er davon vollgesogen, nimmt etwa 90 Theile Wasser auf

Duration of Experiment	Weight of Sample	To 100 weight parts lime:			
3 Tage	4,398	1,55	608,9	148,6	In undried carbon dioxide
3 "	2,189	1,60	624,9	152,6	
11"	1,979	2,15	613,8	137,1	
11"	1,868	2,31	618,0	144,5	
1 "	2,090	27,05	589,9	79,2	In carbon dioxide, dried over concentrated sulphuric acid
1 "	2,301	25,21	570,1	72,9	
2 "	2,344	37,62	593,0	13,5	
2 "	2,083	41,97	602,6	15,7	
3 "	2,138	76,51	577,9	2,8	
3 "	2,359	75,72	593,8	2,9	

The absorption of carbon dioxide in the same timespans is therefore much more significant, about fourfold, when the mortar has dried out before and can continue to dry out. If this is prohibited, then the partial removal of water is completely without effect; the mortar remains behaving like it was fresh.

Harshly dried fresh mortar, when soaked with water until saturation, absorbs about 90 parts water to 10 parts lime. [Mortar] in this state,

10 Th. Kalk auf. In diesem Zustand dem Versuche
 unterworfen ergab er:

7.

Dauer des Versuc hes.	Gewic ht der Probe	Auf 100 Gewichts Theile. Kalk:			
		Kohlens äure	Sand	Wasser.	
2 Tage	1,808	31,15	591,4	18,4	In atmosphäris cher Luft.
2 "	1,340	33,15	637,0	25,4	
12"	1,507	39,88	689,6	41,6	
12"	1,346	42,68	637,8	40,2	
3 Tage	2,460	28,85	606,2	71,5	In ungetrocknet er Kohlensäure
3 "	2,287	31,12	605,6	62,9	
11"	1,676	31,40	588,9	89,4	
11"	2,263	33,45	603,9	68,0	

Die Aufnahme von Kohlensäure aus der Luft ist daher wie
 bei frischem Mörtel, in der Flasche mit Kohlensäure
 dagegen ungleich kräftiger.

undergoing the [mentioned above] experiments produced the
 following results:

7.

Duratio n of Experi ment	Weight of Sampl e	To 100 weight parts lime:			
		Carbon Dioxide	Sand	Water.	
2 Tage	1,808	31,15	591,4	18,4	In ambient air
2 "	1,340	33,15	637,0	25,4	
12"	1,507	39,88	689,6	41,6	
12"	1,346	42,68	637,8	40,2	
3 Tage	2,460	28,85	606,2	71,5	In undried carbon dioxide
3 "	2,287	31,12	605,6	62,9	
11"	1,676	31,40	588,9	89,4	
11"	2,263	33,45	603,9	68,0	

The absorption of carbondioxide from the ambient air is therefore
 as with fresh mortar. In a bottle filled with carbon dioxide [the
 absorption] is however much more pronounced.

Vollkommen trockenes Kalkhydrat und völlig trockene Kohlensäure reagieren bekanntlich nicht aufeinander. Bringt man dagegen scharf getrockneten Mörtel in atmosphärische Luft, oder in ungetrocknete Kohlensäure, so findet eine sehr rasche Aufnahme von Kohlensäure statt, nicht viel weniger rasch, als bei Anwendung von Schwefelsäure. Mit der Aufnahme der Kohlensäure geht aber gleichzeitig eine Aufnahme von Wasser Hand in Hand, wie aus nachstehenden Versuchen mit scharfgetrocknetem Mörtel ersichtlich:

8.

Dauer des Versuches.	Gewicht der Probe	Auf 100 Gewichts Theile. Kalk:			
		Grm.	Kohlensäure	Sand	
2 Tage	2,490	26,69	622,1	15,0	In atmosphärischer Luft.
2 "	1,979	30,13	510,6	14,6	
6 "	1,396	27,27	599,5	19,8	
6 "	1,856	31,10	588,2	11,4	
12 "	1,044	39,70	684,3	22,9	
12 "	1,247	38,07	600,6	25,6	

Completely dry hydrated lime and completely dry carbon dioxide do not react with each other. If harshly dried mortar is exposed to ambient air or to undried carbon dioxide, the absorption of carbon dioxide occurs very rapidly, not much less rapid when exposed to sulfuric acid. Alongside the absorption of carbon dioxide, water is also absorbed simultaneously, as the following experiments with harshly dried mortars show:

8.

Duration of Experiment	Weight of Sample	To 100 weight parts lime:			
		Grm.	Carbon Dioxide	Sand	
2 Tage	2,490	26,69	622,1	15,0	In ambient air
2 "	1,979	30,13	510,6	14,6	
6 "	1,396	27,27	599,5	19,8	
6 "	1,856	31,10	588,2	11,4	
12 "	1,044	39,70	684,3	22,9	
12 "	1,247	38,07	600,6	25,6	

Dauer des Versuches.	Gewicht der Probe	Auf 100 Gewichts Theile. Kalk:			
3 "	1,945	57,49	610,5	19,4	In ungetrocknet er Kohlensäure
11"	1,881	56,99	618,6	21,4	
11"	1,714	62,98	627,9	33,2	

Ganz ähnlich verhält sich scharfgetrockneter Kalkbrei, nur daß derselbe in Kohlensäure bedeutend schwächer, in der Luft aber stärker reagirt als Mörtel:

9.

Dauer des Versuches.	Gewicht der Probe	Auf 100 G.-Th. Kalk:		
		Grm.	Wasser.	
		Kohlensäure		
2 Tage	1,074	18,80	30,78	In atmosphärischer Luft.
2 "	1,092	20,17	33,85	
12"	0,639	56,38	70,21	
12"	0,867	53,72	54,19	

Duration of Experiment	Weight of Sample	To 100 weight parts lime:			
3 "	1,945	57,49	610,5	19,4	In undried carbon dioxide
11"	1,881	56,99	618,6	21,4	
11"	1,714	62,98	627,9	33,2	

Harshly dried slaked lime behaves very similarly; it only reacts significantly weaker with carbon dioxide, but more pronounced in ambient air than mortar:

9.

Duration of Experiment	Weight of Sample	To 100 weight parts lime:		
		Grm.	Water.	
		Carbon Dioxide		
2 Tage	1,074	18,80	30,78	In ambient air
2 "	1,092	20,17	33,85	
12"	0,639	56,38	70,21	
12"	0,867	53,72	54,19	

Dauer des Versuches.	Gewicht der Probe	Auf 100 G.-Th. Kalk:		
3 "	0,895	13,58	22,39	In ungetrocknet er Kohlensäure
3"	1,164	13,70	22,60	
11"	1,154	10,70	26,52	
11"	0,975	16,69	26,02	

Es verdient zum Schluß erwähnt zu werden, daß Proben von Mörtel in eine ziemlich concentrirte Lösung von kohlenurem Ammoniak eingesenkt, [353] breiförmig blieben, wenn sie mit vollem Wassergehalt, aber erhärteten, wenn sie vorher getrocknet dem Versuch unterworfen wurden.

Die im Vorstehenden über die Aufnahme der Kohlensäure beigebrachten Thatsachen lassen sich in folgenden Sätzen zusammenfassen:

Frisch angemachter Mörtel, wie er bei den Versuchen gebraucht worden, enthält auf 100 G.-Th. Kalk 268 G.-Th. ungebundenes Wasser und bedarf nach der Rechnung 78,6 G.-Th. Kohlensäure zur Bildung von einfach-kohlenurem Kalk. Ein solcher Mörtel nimmt mit seinem vollen Wassergehalt nur Spuren von Kohlensäure auf, welche nicht über 1/3 Proc. betragen. Erst wenn dem Mörtel durch Trocknen Wasser entzogen wird, findet die Aufnahme von Kohlensäure statt und zwar langsam und allmählich, wenn die Trocknung langsam erfolgt (an der Luft), rasch wenn sie rasch erfolgt (über Schwefelsäure). Auch wenn man den

Duration of Experiment	Weight of Sample	To 100 weight parts lime:		
3 "	0,895	13,58	22,39	In undried carbon dioxide
3"	1,164	13,70	22,60	
11"	1,154	10,70	26,52	
11"	0,975	16,69	26,02	

Finally, it needs to be mentioned that samples of mortar, when submerged in a rather concentrated solution of carbonated ammonia, remain in a soft state. [The samples] however hardened when they were dried first and then submerged.

The above facts about the absorption of carbon dioxide can be summarised as following:

Freshly mixed mortar, as used in these experiments, contains 268 weight parts of free water to 100 weight parts of lime, and requires according to calculations 78.6 weight parts of carbon dioxide for the the building of mono-carbonated lime. Such mortar, when fully saturated with water, only takes up traces of carbondioxide, which don't exceed 1/3 of a percent. Only after the mortar has lost water by drying, absorption of carbondioxide sets in. This happens slowly and gradually if the drying out process was slow (as for ambient air), and fast when it [the drying out] was rapid (as in a sulfuric acid environment). Even when

Mörtel so weit entwässert, daß er anzieht (Absaugen des überschüssigen Wassers auf einem gebrannten Stein), also noch etwa 5/9 des anfänglichen Wassergehaltes oder 150 G.-Th. Wasser enthält, nimmt die Reaction auf Kohlensäure, obwohl zu Anfang viel stärker, doch nach einiger Zeit ebenso langsam zu wie bei frischem Mörtel. Die Aufnahme der Kohlensäure nimmt nicht in dem Verhältniß des Verlustes an Feuchtigkeit durch Trocknen, sondern in viel rascherem Verhältniß zu. Bei dem Versuch mit Kohlensäure bei Trocknung mit Schwefelsäure verlor der Mörtel vom ersten auf den zweiten Tag 92 G.-Th. Wasser, vom zweiten auf den dritten Tag nur etwas über 2 G.-Th. Wasser. Die Kohlensäureaufnahme der ersten Periode war 17 G. Th., der zweiten 29 G.-Th. – Die Aufnahme der Kohlensäure durch den Mörtel ist ganz wesentlich von seinem Wassergehalt bestimmt; der Reichthum der umgebenden Atmosphäre an Kohlensäure ist dagegen von ganz untergeordnetem Einfluß.

Das Verhalten des scharf getrockneten Mörtels führt auf dem umgekehrten Weg zu denselben Schlüssen. Er reagirt nicht auf trockene Kohlensäure. Bringt man ihn aber in feuchte Kohlensäure oder überläßt man ihn einfach der atmosphärischen Luft, so zieht er alsbald etwas hygroskopische Feuchtigkeit an, bis etwa 3 Proc. in 11 Tagen, und die Aufnahme von Kohlensäure

the mortar was desiccated to the point that it firmed up (extraction of the surplus water on a brick), i.e. it contained 5/9th of the initial water content or 150 weight parts of water, the reaction with carbon dioxide, although initially much more pronounced, increased as slowly as with fresh mortar. The absorption of carbon dioxide does not increase proportionally to the loss of water during drying out, but indeed at a much quicker rate. When samples were dried in a carbon dioxide environment in the presence of sulfuric acid, the mortar lost from the first to the second day 92 weight parts of water, but from the second to the third day only a little more than 2 weight parts. The absorption of carbon dioxide in the first phase was 17 weight parts, and 29 weight parts in the following phase. The absorption of carbon dioxide by the mortar is significantly determined by its water content; the carbon dioxide content of the ambient air is however a very insignificant influence.

The behaviour of a severely dried mortar leads in a reverse way to the same conclusions. It does not react with dry carbon dioxide. When the mortar is exposed to damp carbon dioxide or ambient air, it soon attracts some hygroscopic humidity, up to 3 percent in 11 days. The absorption of carbon dioxide sets in vigorously, so that the lime in ambient air (after 11 days) was 50% saturated, and saturated to 4/5th in a carbon dioxide environment (after 12 days).

tritt energisch ein, so daß der Kalk in der Luft (nach 11 Tagen) zur Hälfte, in Kohlensäure (nach 12 Tagen) zu 4/5 gesättigt war.

Brei von gelöschtem Kalk ohne Sand verhält sich in allen wesentlichen Stücken wie Mörtel.

Die Thatsache, daß frischer Mörtel die Kohlensäure nur in so äußerst kleinen Beträgen aufnimmt, erscheint befremdend, wenn man in [354] Erwägung zieht, daß solcher Mörtel nur ein Gemenge von Sand, Kalkhydrat und Kalkwasser ist, das Kalkwasser aber bekanntlich Kohlensäure sehr rasch und kräftig anzieht. Die Ursache dieses verschiedenen Verhaltens ist wohl nur darin zu suchen, daß das Kalkwasser in dem breiigen Mörtel nicht so beweglich ist. Der frische Mörtel überzieht sich in Berührung mit Kohlensäure sofort mit einer Haut von kohlensaurem Kalk, welche eine zwar dünne, aber dichte und unbewegliche ringsum anschließende Hülle bildet, durch welche keine weitere Kohlensäure vordringen kann. Auf der Oberfläche des Kalkwassers aber bildet die Kohlensäure einen Niederschlag der fortwährend untersinkt und einer erneuerten Oberfläche Platz macht.

Man ist berechtigt auszusprechen, daß das Kalkhydrat keine gasförmige, sondern nur verdichtete (in Wasser gelöste) Kohlensäure aufnimmt; dadurch erklärt sich, in wiefern das Wasser nicht als Dampf, sondern nur im tropfbar flüssigen Aggregatzustand wirksam ist. Dabei ist der Betrag des Wassers von so großem

Mere slaked lime without sand behaves in all relevant aspects like mortar.

The fact that fresh mortar absorbs carbon dioxide only in very small quantities, appears puzzling, if it is considered that such mortar is only a mix of sand, hydrated lime and lime water, and that lime water attracts carbon dioxide very fast and vigorously. The reason for this behaviour might be that the the lime water in fresh mortar is not as mobile. Fresh mortar develops under exposure to carbon dioxide immediately a skin of carbonated lime, which constitutes a thin, but rigid, impermeable and encasing cover. This prevents the admission of further carbon dioxide. On the surface of the lime water, however, the carbon dioxide forms a precipitate, which sinks to the ground and exposes a fresh surface.

It can be stated that hydrated lime does not absorb carbondioxide as a gas, but but only condensed (i.e. dissolved in water) carbon dioxide; this explains why water is has no effect in the state of a steam, but only has an

Einfluß, und muß auf einen gewissen und zwar sehr kleinen Betrag von ungebundenem Wasser im Mörtel eingeschränkt seyn, weil nur alsdann die Kalktheilchen zwar allseitig mit Wasser überzogen sind, aber zugleich die Zwischenräume zwischen denselben dem Zugang der Kohlensäure möglichst offen bleiben. Nach den angeführten Versuchen spielt der günstigste Wassergehalt, bei welchem die Kohlensäure mit größter Energie aufgenommen wird, um den Betrag von etwa 1 Proc. des Mörtels. Dieser Betrag ist natürlich nur der für den Anfang der Reaction geltende Werth, denn mit fortschreitender Aufnahme der Kohlensäure wird mehr und mehr Wasser aus dem Kalkhydrat frei (im Ganzen 3 Proc. des Mörtels), welches zum großen Theil mitwirkt. Jener günstigste Wassergehalt von etwa 1 Proc. ergibt sich bestimmter aus folgenden, in diesem Sinn angestellten Versuchsreihen. Mörtel (immer in dem Eingangs gegebenen Verhältniß von Kalk und Sand) wurde in einem Strom kohlenstofffreier Luft im Wasserbad getrocknet und gegen Ende der Trocknung, mit abnehmendem jedesmal festgestellten Wassergehalt nacheinander 13 verschiedene Proben gezogen. Diese Proben, vom Gewicht wie Col. I, denen die Wassergehalte in Columne II entsprechen, absorbirten in einer graduirten mit Quecksilber gesperrten Röhre die Quantitäten Kohlensäure der Columne III. In der Columne IV sind die absorbirten Mengen Kohlensäure auf gleiche Gewichte (10 Grm.) Mörtel berechnet. Bei der ersten Probe dauerte die Absorption 1 Stunde, bei der letzten eine halbe Stunde; bei allen übrigen Proben nur 3 Minuten. Die Aufnahme der Kohlensäure, bis dahin mehr oder weniger rasch, ging nach 3 Minuten langsam, schleichend, und [355] betrug in einer halben

effect in a liquid state. The amount of water is of great significance and must be limited to a certain and very small amount of free water in the mortar. Only then the lime particles are coated fully with water, but gaps between the lime particles are present to allow for admission of carbon dioxide at the same time.

Following the above experiments, the optimum water content, at which the carbondioxide is absorbed with the greatest readiness, is at around 1 percent of the mortar. This value is of course only relating to the start of the reaction, as progressively more water is released from the hydrated lime during the absorption of carbondioxide (in total approx 3 percent of the mortar). This optimum water content of approx 1 percent results from the following experiments: Mortar (always mixed in the ratio of lime and sand as described in the introduction) was dried in a stream of air devoid of carbon dioxide, and at the end of the drying process 13 samples were taken, each showing a continually decreasing water content. These samples, of the same weight as col. I, which correspond to the water contents in col. II absorbed in a tube which was sealed with mercury the same quantities of carbon dioxide as in col. III. In col. IV the absorbed quantities of carbondioxide are calculated as if relating to the same weight (10 grams) of mortar. For the first sample, the absorption took 1 hour, for the last [sample the absorption only took] half an hour; for all other remaining samples it took 3 minutes. The absorption of carbondioxide, which progressed more or less rapidly, decelerated after 3 minutes and amounted after half an hour only to 2 - 8 cubic centimetres. The task here was simply to find out the relative speed of absorption.

Stunde nur 2 bis 8 Kub. Centim. Die Aufgabe war lediglich, die verhältnißmäßige Raschheit der Aufnahme zu ermitteln.

10.

Gewicht	Wassergehalt	Kohlensäure absorbirt	
der Probe.		von der Probe.	von 10 Grm. Mörtel.
Grm.	Proc.	Kub. Centm.	K. C.
4,321	0,14	3	7
4,893	0,41	20	41
5,106	0,68	134	262
2,071	1,23	38	188
2,461	2,18	42	171
2,344	2,57	44	188
2,273	3,14	39	172
2,595	4,51	40	154
1,987	5,19	32	161
2,156	6,83	12	56
2,250	8,20	6	27
2,497	10,93	2	8
2,743	13,70	6	22

10.

Weight		Water Content		Absorbed Carbondioxide	
of the Sample		of the Sample		of 10 Grams of Mortar	
Grm.	Proc.	Kub. Centm.	K. C.		
4,321	0,14	3	7		
4,893	0,41	20	41		
5,106	0,68	134	262		
2,071	1,23	38	188		
2,461	2,18	42	171		
2,344	2,57	44	188		
2,273	3,14	39	172		
2,595	4,51	40	154		
1,987	5,19	32	161		
2,156	6,83	12	56		
2,250	8,20	6	27		
2,497	10,93	2	8		
2,743	13,70	6	22		

Darnach wäre der für energische Aufnahme der Kohlensäure günstigste Wassergehalt noch unter 1 Proc., bei etwa 2/3 Proc. Es versteht sich von selbst, daß dieser Wassergehalt nur der für die Einleitung der Absorption günstigste ist, denn er wird sich alsbald durch Freiwerden von Hydratwasser vergrößern.

III. Schlußfolgerungen über das Erhärten des Mörtels.

Die Vorgänge beim Erhärten des der Luft ausgesetzten Mörtels sind nach den vorstehenden Beobachtungen ohne Schwierigkeit zu übersehen. Zu Anfang findet nur Trocknung des Mörtels statt, welche alsbald so weit vorschreitet, daß die Kalktheilchen, in die Sphäre ihrer Adhäsion gerückt, dadurch aneinander haften; der Mörtel hat angezogen. In diesem Zeitpunkt beginnt die Aufnahme von Kohlensäure, welche bis dahin nur unbedeutend und oberflächlich war, lebhafter und eindringlicher zu werden; in gleichem Schritt mehrt sich die Festigkeit und Härte (Ritzbarkeit). Das letzte Stadium des Austrocknens ist zugleich dasjenige der eigentlichen Kohlensäuerung und steinigen Härte. Bei dieser steinigen Erhärtung wirkt die Kohlensäure lediglich in der Art, daß sie die noch getrennten aber aneinander adhären und in unmittelbarer Berührung befindlichen Theilchen des Kalkhydrates zu einer einzigen zusammenhängenden Masse von kohlen-saurem Kalk verschmilzt. Dazu tritt die | 356| starke Adhäsion des kohlen-sauren Kalkes an andere Gesteine, also auch an die Sandtheile und Mauersteine als ein weiteres bedingendes Moment hinzu. Die Aufnahme der Kohlensäure an sich gibt dem Mörtel keinen Zusammenhang, aber wenn der Mörtel vorher einen

According to the above, the optimum water content for a vigorous absorption of carbon dioxide would be below 1 percent, at about 0.66 percent. It is obvious that this water content is only the optimum for the start of the absorption [of carbon dioxide], as it increases through the release of hydrate water.

III. Conclusions on the Hardening of the Mortar

Following the above observations, the processes of the hardening of the mortar exposed to air can be easily summarised. At the beginning, the mortar only dries out. This progresses further, and the lime particles, pushed into adhesion, are sticking together; the mortar has set. At this point, the absorption of carbon dioxide, which until then has only been insignificant and superficial, becomes more rapid and pronounced. At the same time the firmness and hardness (scratch-ability) increases. The last stage of the drying process is therefore the stage of carbonisation and rock-like hardening. In this process of rock-like hardening the carbon dioxide acts to meld together individual, tightly packed particles of lime into one cohesive mass of carbonated lime. An additional factor is the strong adhesion of the carbonated lime onto other stones, i.e. sand particles and building stones. The absorption of carbon dioxide per se does not increase the bond of the mortar, but when the mortar has gained a certain cohesion (by drying out), the lime particles combine to a single hard mass of carbonated lime, which firmly binds sand and building stone, by strongly adhering to these. The setting of the mortar is the vitally important

gewissen Zusammenhang (durch Abtrocknen) gewonnen hat, so verbindet sie die Kalktheilchen zu einer einzigen festen, harten Masse von kohlensaurem Kalk, welche, an den Sand und die Steine innigst anhaftend, auch diese noch verkittet. Das Anziehen des Mörtels ist die unerläßliche Vorbedingung der Erhärtung zu Stein; Zufuhr von Kohlensäure vor dem Anziehen (z.B. durch Anmachen des Mörtels mit Lösung von kohlensaurem Ammoniak) ist ein Hinderniß der Erhärtung für immer, sie erhält den Mörtel für alle Folge im Zustand des Breies. Die Theilchen des Kalkhydrates liegen dann zu weit auseinander, um durch den Uebergang in kohlensauren Kalk zu einer zusammenhängenden Masse zu verschmelzen. Der oft sehr bedeutende Druck der auflagernden Mauerschichten bringt die Theilchen beim Anziehen um so näher und wirkt fördernd auf die Erhärtung. Die Versteinerung des Mörtels ist die Folge zunächst des mechanischen Vorganges der Erhärtung, welcher die Kalktheilchen in unmittelbare Berührung bringt; dann eines chemischen Processes (der Kohlensäuerung), welcher die nahegebrachten Theilchen in ein Ganzes verkittet.

Es gehört nicht weniger zu dem Wesen der Erhärtung, daß sie nur langsam und allmählich sich vollzieht. Selbst unter den in hohem Grad günstigen Bedingungen des Versuches (also bei kleinen freihängenden Proben) sind in Kohlensäure noch drei Tage, in der Luft nicht unter fünf Tagen zur Sättigung erforderlich; im Großen bei mehrere Fuß dicken Mauern aber Wochen, Monate, Jahre. Ja in zahlreichen Fällen findet sich der Mörtel nach Jahrhunderten im Inneren der Mauern noch stark caustisch. Alsdann gesellt sich ein secundärer Proceß – eine schwache Aufschließung des Quarzsandes unter Bildung von Silicaten – einigermaßen ergänzend hinzu.

precondition for the hardening to a rock[like consistency]. The addition of carbon dioxide before the setting (for example by mixing the mortar with a solution of carbonated ammonia), permanently prevents the hardening of the mortar; it keeps the mortar in a soft consistency. The particles of the hydrated lime are therefore too far apart to transition into carbonated lime and eventually into a cohesive mass. The often very significant load of masonry on top [of the mortar], pushes adjacent lime particles even closer together and has a beneficial influence on the process of setting. The rock-like hardening of the mortar is a sequence of first the mechanical set, which pushes the lime particles tightly together, followed by the chemical process (of the carbonisation), which melds together the closely packed particles into one continuous unit.

It is a characteristic of the setting process [of the mortar], that it progresses slowly and gradually. Even under optimised conditions in a laboratory (i.e. small, free hanging samples), it takes three days for saturation in a carbon dioxide rich environment, and at least five days in ambient air. Saturation of large pieces of masonry several feet thick can take weeks, months or years. In many cases the mortar in the core of a wall has been found to be very caustic even after centuries. There is also a secondary, complementary process present - a weak solubilizing of silica sands leading to the formation of silicates. Schrötter has documented 10% soluble silica in

Schrötter hat in 662 Jahre altem Mörtel, welcher nur 4/5 der zur Sättigung erforderlichen Kohlensäure enthielt, 10 Proc. lösliche Kieselerde nachgewiesen. Wenn die Kohlensäure an einer oder der anderen Stelle irgend weniger freien Zutritt hat, so bleibt die Erhärtung an dieser Stelle zurück und zwar in ganz auffallendem Grade. So zeigten sich Proben von etwa 200 Grm. Gewicht, welche nach dem Anziehen mit der flachen Seite lose auf einem Teller in der Zimmerluft lagen, an dieser unteren Seite noch wochenlang weich und überwiegend caustisch, als die obere convexe Seite schon steinhart geworden war. Die untere Fläche verhielt sich ganz so und in nichts besser, als der innere Kern der Probe.

a 662 year old mortar, which contained only 4/5th of the carbon dioxide required for saturation. In areas [of the mortar] which have restricted exposure to carbon dioxide, the hardening is very noticeably slowed. Mortar samples of approx. 200 gr., laid on a flat plate and exposed to ambient air were, after the initial drying process, eventually still soft on the underside and predominantly caustic. The top side, however, has hardened to a rock-like consistency. The underside therefore behaved exactly like the inner core of the sample [used by Schrötter?].