

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

I

801

L. inw. _____

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296244

Welt und Vaterland

1894

xxx
1904

Kalk und Luftmörtel.

Zweite Auflage.

17



519
—
39

Kalk und Luftmörtel.

Auftreten und Natur des Kalksteines,
das Brennen desselben
und
seine Anwendung zu Luftmörtel.

Nach gegenwärtigem Stande von Theorie und Praxis
dargestellt von
Dr. H. Zwick.

— Zweite Auflage. —

Mit 39 Abbildungen.

H. Nr. 27927



Wien und Leipzig. (1906)
A. Hartleben's Verlag.

(Alle Rechte vorbehalten.)

xxx
504

Handwritten text at the top of the page, possibly a title or author name, appearing as a mirror image.

Handwritten text below the top section, also appearing as a mirror image.

Handwritten text above the library stamp, appearing as a mirror image.



1801

Handwritten text below the number, appearing as a mirror image.

Handwritten text below the previous line, appearing as a mirror image.



Handwritten text at the bottom left, appearing as a mirror image.

Druck von Friedrich Jasper in Wien.

Akc. Nr. 5479/50

Vorwort.

Die vorliegende zweite Auflage berücksichtigt alle bemerkenswerten Neuerungen der letzten 25 Jahre auf vorliegendem Gebiete. Die Grundlagen der Kalk- und Luftmörtel-Industrie sind dieselben geblieben, daher war in bezug auf das Auftreten und die Natur des Kalkes, über die Eigenschaften des gebrannten Kalkes und die Theorie des Luftmörtels nichts zu ändern. Dagegen mußten die neuen Konstruktionen von Kalköfen, so weit sie sich neben den alten bewährten einen Platz eroberten, berücksichtigt werden. Ebenso mußte die Fabrikation der Kalksandsteine, welche sich in der Neuzeit zu einem bedeutenden Industriezweige entwickelt hat, eine den Aufgaben der vorliegenden Arbeit entsprechende Erweiterung erfahren. Diese Nachträge sind von Herrn M. Gaerdt, Oberingenieur der Borsigschen Maschinenfabriken in Berlin, in dankenswerter Weise übernommen worden.

Der Verfasser.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einleitung	1
I. Auftreten und Natur des Kalksteines	4
1. Allgemeine Übersicht	4
2. Entstehung der Kalkgebirge	6
3. Auftreten des kohlen-sauren Kalkes in den verschiedenen Gebirgsformationen und Arten desselben	14
A. Kristallinisch-körniger Kalk, Marmor 15.	
I. Kärntner Marmor 20. — II. Tiroler Marmor 20. — III. Vorarlberger Marmor 20. — IV. a) Trientiner und italienischer Marmor 21. — IV. b) Trientiner Marmor 24. — V. Istri-scher Marmor 22. — VI. Mährischer Marmor 22. — VII. Salzburger Marmor 22. — VIII. Kärntner Marmor 23. — IX. Stopnik-Tolmeiner Marmorwerke 23. — X. Nabresinamarmor 25. — XI. Stein-Gewerkschaft in Arch [Krain] (Pariser Stein) 26.	
B. Dichter Kalkstein 27.	
1. Grauwackenkalk (Übergangskalk) 27. — 2. Kohlenkalk 30. — 3. Dyaskalk 30. — 4. Triaskalk (Muschelkalk) 31. — 5. Jurakalk 34. — 6. Kreide 36. — 7. Tertiärkalk 37. — 8. Quartärkalk 38.	
C. Mergel 40.	
II. Das Brennen des Kalkes	42
Allgemeines über das Brennen und die dazu benützten Öfen	42
1. Kalköfen zu periodischem Betriebe mit großer Flamme 51. —	
2. Ältere Kalköfen zu kontinuierlichem Betriebe mit kleiner Flamme 64. — 3. Ältere Kalköfen zu kontinuierlichem Betriebe mit großer Flamme 71. — 4. Der Kaltrings- öfen 76. — 5. Der Kanalöfen 100. — 6. Gaskalköfen 106. —	
Gaskalköfen und Basteiofen von Steinmann 110. —	
Basteiofen 115. — Gaskalköfen von Rehs 119. —	

	Seite
Gasalkofen von Jahneelm und in Müdersdorf 123. — Schachtofen von Schöfer 131. — 7. Resultate und Untersuchung der Vorgänge beim Kalkbrenne 133.	
III. Eigenschaften des gebrannten Kalkes und Kalklöschens	154
IV. Luftmörtel	162
1. Zubereitung	162
2. Erhärtung	165
I. Das Anziehen oder Abbinden des Luftmörtels 173. — II. Verhalten zu Kohlensäure 174. — III. Schlußfolgerungen über das Erhärten des Mörtels 176.	
3. Wertbestimmung	179
4. Festigkeit	182
5. Neuere Mörtelvorschriften	183
V. Kalksandsteine	186
Kalksandsteine	186
VI. Kalkschlackensteine	198
VII. Analyse der Kalksteine	202
Alphabetisches Register	206

Einleitung.

»Ein großes Kapitel aus der Geschichte der Erde ist in die Kreide geschrieben!« sagt Huxley*) in einem seiner Vorträge mit voller Berechtigung. Denn nicht nur, daß die Tausende von Petrefakten in den Kalkgebirgen, zu denen die Kreide gehört, dem Geologen den Schlüssel für das Alter und die Entstehung dieser Gebirge liefern und ihm einen Blick in die Art und Verbreitung der Lebewesen vergangener Zeiten der Erdgeschichte tun lassen, für welche sie die vollgültigsten Dokumente, und zwar die einzigen abgeben; die Kalksteine nehmen in ihrer ausgedehnten Verbreitung, in der Massigkeit ihres Auftretens von allen Gesteinsarten das Interesse des Geologen und Mineralogen am meisten mit in Anspruch.

Das als Kalkstein bezeichnete Mineral ist im reinen Zustande eine chemische Verbindung von kohlensaurem Kalk (CaCO_3). In allen Flöckformationen von der ältesten, der Grauwacke, bis zur jüngsten, sich fortwährend vor unseren Augen bildenden, dem Alluvium, ist diese Verbindung anzutreffen, und zwar bald in mächtigen Schichten, wechselnd mit Ton und Sand, für sich Kuppen, Berge und ganze Gebirgszüge bildend, bald so innig mit anderen Körpern vermengt, daß der Kalkstein mit ganz anderen Eigenschaften und als neues Gestein erscheint. Nicht nur seiner Verbreitung, sondern seiner Beschaffenheit und Anwendung wegen beansprucht der Kalkstein das Interesse des chemischen Technologen. Vor uns liegt ein Stück Kalkspat

*) Reden und Aufsätze. Berlin, Grieben, S. 168.

von der Form eines verschobenen Würfels (Rhomboiders): farblos, wasserhell, durchsichtig, fest; daneben ein Stück Kreide: weiß, abfärbend, gestaltlos. Welcher Laie möchte glauben, daß beide Körper die gleiche chemische Zusammensetzung aus Kohlensäure und Kalk hätten, trotz ihrer verschiedenen Eigenschaften? Der Chemiker beweist es ihm durch einen Tropfen irgendeiner Mineralsäure (Salzsäure, Salpetersäure, Schwefelsäure), welche aus beiden Körpern unter Aufbrausen Kohlensäure entwickelt. Es ist dieser Versuch immer der einfachste, um sich zu überzeugen, ob man es mit einem kohlen-sauren Salze zu tun habe oder nicht. Will man noch dartun, daß Kalk vorhanden sei, so braucht man nur zu der mit einer Säure (Salzsäure) hergestellten Lösung des fraglichen Körpers eine Lösung eines oxal-sauren Salzes (z. B. Keesalz) zu bringen und man wird nach einiger Zeit einen Niederschlag von oxal-saurem Kalk wahrnehmen. Ferner: Setzt man beide vorliegenden Gesteine längere Zeit starker Glühhitze aus, so hinterlassen beide unter Entweichen der Kohlensäure eine weiße oder grauweiße Masse, das Kalziumoxyd (CaO), oder wie es schlechtweg genannt wird, den Kalk. Mit Wasser in Berührung, zerfällt derselbe unter bedeutender Wärmeentwicklung in Aßkalk, oder wie man ihn gewöhnlich nennt, in gelöschten Kalk.

In der That ist der kohlen-saure Kalk in Beziehung auf die Form, in welcher er auftreten kann, eines der merkwürdigsten Mineralien. Zunächst findet er sich im kristallisierten Zustande, und zwar in Gestalten, welche von einander vollständig abweichen, und zwei verschiedenen Kristallgruppen (Systemen) zugezählt werden müssen. Die eine Form ist diejenige des vorhin genannten Rhomboiders, und der als solches kristallisierende Kalk wird von den Mineralogen Kalkspat oder isländischer Spat oder Doppelspat genannt, da er die Eigenschaft zeigt, den hindurchgehenden Lichtstrahl in zwei Strahlen zu spalten, also beim Hindurchsehen die Gegenstände doppelt erscheinen zu lassen.

Bei den verschiedensten optischen Apparaten für das Studium der Lichterscheinungen findet der Doppelspat Anwendung, ja die Doppelbrechung (Polarisation) wurde an ihm durch Bartholinus entdeckt. Wiederum tritt der kohlensaure Kalk in der spanischen Provinz Aragonien in einer Kristallform auf, welche dem rhombischen System angehört und die Gestalt einer geraden rhombischen Säule hat und zum Unterschiede Aragonit heißt.

Doch diese vereinzelt auftretenden Kalkarten haben nur wissenschaftliche, keine praktische Bedeutung. Weit wichtiger sind jene kohlensauren Kalke, die bald in größter Reinheit, bald weniger rein, bald mit anderen Stoffen derart vermischt, daß ihr Kalkcharakter ganz verloren geht, in großen Massen, in verschiedenster Härte, Farbe und Qualität auftreten, und welche man als kristallinisch-körnige oder dichte Kalksteine anspricht. Denn vom reinen weißen Statuenmarmor bis herab zum unreinen Kalkmergel finden diese Kalksteine die ausgedehnteste technische Benützung theils zu Bildhauerarbeiten und architektonischen Gebilden, zu Tischplatten, Pflastersteinen, Bausteinen; theils, und zwar nachdem sie zuvor gebrannt und von der Kohlensäure befreit sind, zu Mörtel, zur Düngung, zur Bereitung von Chloralkali, zur Anwendung in den verschiedensten Gewerben; theils endlich als Farb-, Zeichen- und Schreibmaterial usw. Diese **Kalksteine** beanspruchen an dieser Stelle unser ausschließliches Interesse, so daß wir uns mit ihrer Qualität, ihrer Lagerung, ihrer Entstehung und Verbreitung sowie Untersuchung zunächst beschäftigen und sodann auf ihre Benützung, namentlich zur Darstellung des Mörtels, somit auch auf das Brennen allein Rücksicht nehmen.

I.

Auftreten und Natur des Kalksteines.

1. Allgemeine Übersicht.

Nach dem Gefüge des Kalksteines und nach den ihn begleitenden Massen sind eine Anzahl Abänderungen desselben zu unterscheiden, die in bald größerer, bald geringerer Mächtigkeit in den verschiedenen Formationen auftreten. Wir ordnen uns dieselben folgenderweise:

I. Kalksteine, die wenig oder gar keine Beimengungen, namentlich von Ton enthalten, wozu gehören:

1. Kristallinisch körniger Kalkstein, auch Urkalk oder Marmor genannt, ohne Petrefakten im Urgebirge auftretend.

2. Dichter Kalkstein, außerordentlich verschieden nach Farbe, Gefüge, Alter, Lagerung und nach den Formationen und den führenden Petrefakten unterschieden als:

- a) Grauwacke-(Übergangs-)Kalkstein,
- b) Kohlenkalkstein,
- c) Bechsteinkalk,
- d) Muschelkalk,
- e) Liaskalk,
- f) Jurakalk.

3. Erdiger Kalkstein oder Kreide; erdig, weich und abfärbend, weiß bis gelblich, Feuersteinknollen einschließend, in der oberen Kreideformation.

4. Dolithischer Kalkstein oder Rogenstein; dichte oder erdige Kalkmasse, die aus hirsen- oder erbsengroßen, mit Kalk gefitteten Kalkkörnern, dem Fischrogen ähnlich, besteht. Tritt ebenfalls in verschiedenen Formationen auf, namentlich im Bechstein, Buntsandstein und im Jura.

5. Poröser oder röhriger Kalkstein, auch Kalktuff, Travertin, Duckstein genannt, aus konzentrisch schaligen Röhren der porösen, erdigen Massen bestehend, nicht selten Pflanzenteile einschließend. Er entsteht aus kohlen-sauren Kalk führenden Wässern.

II. Kalksteine, deren Kalkmasse durch größere Mengen fremder Stoffe, wie Ton, Kieselsäure, Sand, Magnesia, Eisenoxyd zc. abgeändert und gefärbt ist. Hierher gehören:

1. Mergelkalk, ein körniger Kalkstein, der im Tertiärgebirge auftritt.

2. Kieselkalk, dessen Masse mit Kieselsäure imprägniert ist.

3. Sandkalk (Grobkalk), tonige Kalksteinmasse mit mehr oder weniger Sand vermischt.

4. Dolomitischer Kalkstein, ein inniges Gemenge von überschüssigem kohlen-sauren Kalk mit wenig kohlen-saurer Magnesia, so daß er von Essigsäure unter Aufbrausen größtenteils gelöst wird. Der Rauhkalk der Zechsteinformation gehört hierher.

5. Stinkkalk, ein beim Zerreiben oder Erwärmen häßlich nach Schwefelwasserstoff riechender Kalkstein.

Die Farbe aller dieser Kalksteine ist ungemein verschieden und durchläuft je nach den färbenden Stoffen und deren Menge die ganze Farbenskala. Zu den Beimischungen gehören Verbindungen der Magnesia, des Eisens, Mangans, der Tonerde und Kieselsäure, organischer Substanzen (Bitumen oder Kohle); die ungleichmäßige Verteilung derselben bewirkt, daß die Steine häufig bunt, gefleckt, geadert (marmoriert) zc. erscheinen.

Die Textur oder der Bruch und die Schichtung zeigt ebensolche Abweichungen. Bald ist der Kalk grob-, bald feinkörnig und schiefrig; bald läßt er deutlich eine kristallinische Struktur, eine zuckerähnliche Masse erkennen, bald ist er dicht. Alle jüngeren Kalkmassen zeigen deutliche Schichtung und wechseln nicht selten mit Schichten anderer Stoffe, wie Ton, Mergel zc. ab. Häufig sind die Schichten durchsetzt von starken Berklüftungen, Rissen und Spalten.

Sie füllen entweder ausgedehnte horizontale, wellige oder vertiefte Flächen und Becken aus oder sind als Kalkfels aufgerichtet, gehoben, verschoben, an der Oberfläche zerklüftet und bilden dann jene zackigen und zerissenen Gebirge, Hörner, Nadeln und Grate, wie sie jedem, der die Kalkalpen besuchte, in der Erinnerung sind. Das atmosphärische kohlenensäurehaltige Wasser hat hier Verwitterung bewirkt, den Kalk in Lösung fortgetragen und Klüfte und Höhlungen erzeugt. Während nämlich der einfachkohlen-saure Kalk in Wasser nur äußerst wenig löslich ist — nach Fresenius bedarf 1 Teil Kalk 10.600 Teile kaltes oder 8800 Teile siedendes Wasser — löst er sich leicht auf, sobald das Wasser kohlenensäurehaltig ist, indem sich löslicher doppelkohlen-saurer Kalk bildet. Aus diesem Verhalten erklären sich eine Reihe Erscheinungen, die sich auf die Bildung und Lagerung des Kalkes beziehen. Kommt nämlich solches kalkhaltige Wasser an die Luft, so verdunstet die Kohlen-säure und dabei auch Wasser, so daß sich wieder unlöslicher kohlen-saurer Kalk abscheidet. Daraus erklärt es sich, daß alle Quellen und Flüsse Kalk enthalten. Häufig benennt man den Kalk auch nach den Versteinerungen, welche er führt, und unterscheidet ihn als: Terebratula-, Enkriniten-, Gryphiten-, Belemniten-, Ammoniten- u. Kalkstein.

2. Entstehung der Kalkgebirge.

Wie bereits früher gesagt worden ist, hat der kohlen-saure Kalk eine außerordentlich große Verbreitung nicht allein in den eigentlichen Kalkmineralien, sondern auch in allen Zertrümmerungs- und Zersetzungserzeugnissen der Mineralien, ebenso in der Ackererde, worin er stets anzutreffen ist.

Die Pflanzen entnehmen dem Boden den Kalk zur Ernährung, welcher bei ihrer Verbrennung in der Asche wieder in Gestalt von kohlen-saurem Kalk angetroffen wird. Im Quell- und Brunnenwasser ist er enthalten, er fehlt nie im Flußwasser und selbst im Meerwasser finden sich Spuren von ihm. Ist der Kalk für die Knochenbildung des tieri-

schen Körpers von Bedeutung, so wird er auch für andere Zwecke des Körperaufbaues vielfach vom Tiere verbraucht. Eine Reihe von mikroskopischen Organismen, ebenso die Korallen, Austern, Muscheln, Schnecken umgeben sich mit einer Hülle oder einem Gehäuse von kohlensaurem Kalk. Bei dieser Verbreitung des Minerals kann es nicht Wunder nehmen, wenn sich Geologen älterer und neuerer Zeit eingehend mit der Frage beschäftigten: Wie ist der in den Kalklagern aufgespeicherte kohlensaure Kalk entstanden? Mit dieser Entstehung verhält es sich — wie bereits in Graham-Ottos Lehrbuch der Chemie zutreffend bemerkt ist*) — »wie mit dem Ei der Henne«; denn die Fragen, ob bereits mit der Entstehung unseres Planeten kohlensaure Kalk gebildet wurde, der als Urkalk den in späteren Perioden auftretenden tierischen Organismen zur Aufnahme sich darbot, oder ob aller in der Erde vorhandene kohlensaure Kalk zuerst im tierischen Organismus war und dort aus anderen Kalksalzen entstand, werden verschieden beantwortet, wenn es auch immer wahrscheinlicher wird, daß aller Kalk, der konkretionierte und der kristallinische nicht ausgenommen, nur aus Teilen fossiler Tiere besteht und somit die Alten mit dem Axiome »*omnis calx ex vivo*« Recht hatten.**)

Wie aus dem Vorkommen des Kalkes in allen Formationen von der ältesten bis zur jüngsten ersichtlich ist, hat seine Bildung zu allen Zeiten stattgefunden und spielt das Wasser bei seiner Translokation und Sedimentation die hervorragende Rolle.

Um die Bildung der ungeheuren Kalkmassen in den verschiedenen Formationen der Erdrinde zu verstehen, müssen wir eine Abschweifung in das Reich jener mikroskopischen organischen Wesen machen, welche für die neuere Geologie von ungeheurer Bedeutung geworden sind, weil dieselben einen hervorragenden Anteil an dieser Bildung haben.

*) S. 407, Bd. II.

**) Vogt, Geologie 1854. I, 1 88.

Im Jahre 1838, also vor nun beinahe 70 Jahren, erschien von dem 1876 verstorbenen Professor Ehrenberg ein Prachtwerk unter dem Titel: »Die Infusionstierchen als vollkommene Organismen.« In demselben wurde auf die Organisation jener tiefstehenden Lebewesen, welche als Infusorien oder Aufgußtierchen bezeichnet sind, eingegangen und nachzuweisen gesucht, daß dieselben wirkliche Tiere sind.

Es sind dies jene Lebewesen, welche bereits Anton van Leeuwenhoek vor zirka 200 Jahren in einem Topfe Regenwasser entdeckte, und welche, wie später nachgewiesen wurde, über die ganze Erde in allen Gewässern in unglaublicher Masse vorhanden sind. Die gegenwärtige Naturgeschichte bezeichnet sie meist als Urtiere oder Protozoa. Die Kenntnis über das Leben und die Entwicklung dieser Urtiere ist in der Neuzeit sehr erweitert worden; die mikroskopische Forschung hat eine große Zahl der merkwürdigsten und mannigfachsten Formen dieser Urtiere entdeckt und dieselben geordnet. So die Klasse der Wurzelfüßer oder Rhizopoden, der Sontentierchen oder Heliozoen, der Rädertierchen oder Rotatorien, der Radiolarien, Thalamophoren usw. Haeckel, der seit einer Reihe von Jahren mit Studien dieser Wesen beschäftigt ist, faßt sie alle als »Protisten« zusammen und stellt sie als »Protistenreich« zwischen das Tier- und Pflanzenreich.*)

Die einfachste Form dieser Protisten, z. B. die Amöben, stellen formlose mikroskopische Schleimklümpchen ohne Hülle dar. Diese Gallertklümpchen bewegen sich langsam kriechend im Wasser umher, zahlreiche Fäden, lappen- und fingerförmige Fortsätze fließen aus ihnen hervor, berühren einander und umhüllen dabei kleine Körper, mit denen sie zufällig in Berührung kommen, und ziehen sich, diese mit sich nehmend, wieder zurück. Dieses Klümpchen wächst und zerteilt sich dann in zwei Zellen, deren gesondertes Leben sich in beschriebener Weise fortsetzt. Viele dieser Zellenwesen (Protisten, Zelllinge) schwitzen eine Masse aus, die

*) Haeckel, Das Protistenreich. Cosmos 1878. April, Mai.

an der Oberfläche ihres Leibes zu einer schützenden Schale erhärtet. Durch Vereinigung vieler dieser Organismen entstehen Kolonien, deren Schalen vielkammerige Gehäuse darstellen.

Die formenreichste und für unsere Betrachtung wichtigste Gruppe dieser Protisten sind die Wurzelfüßer oder Rhizopoden, zu denen die kalkschaligen Thalamophoren und die kieselschaligen Radiolarien gehören und welche in allen Meeren in zahllosen phantastischen Formen verbreitet sind. Die Thalamophoren, Kammerlinge oder Kammertierchen bilden um ihren Leib eine feste, meistens kalkige Schale, bald von einer einzigen Kammer, bald von vielen miteinander kommunizierenden Kammern. Solche Kalkschalen haben sich seit Millionen Jahren in ungeheuren Massen auf dem Meeresgrunde angehäuft und an der Gebirgsbildung der Erde sich hervorragend beteiligt. Die ältesten aus dem Meere abgesetzten Flözgebirge, die Urgneis- und Urchieferformationen, die Übergangsgebirge, enthalten die Schalen dieser Kammertierchen, wenn auch in mehr vereinzelt und untergeordneten Massen. Eine mächtige Entwicklung erreichen diese Rhizopoden in der Kreide- und Tertiärperiode, und läßt uns jedes kleine Teilchen Schreibkreide unter dem Mikroskop zahlreiche solcher zierlichen Kalkschalen erkennen. Der Grobkalk von Paris, aus welchem viele Paläste dieser Weltstadt erbaut sind, besteht größtenteils aus solchen Kammerschalen. 1 cm^3 Kalk aus den Steinbrüchen von Gentilly enthält ungefähr 20.000, 1 m^3 demnach 20,000.000 Schalen. Die größten Polythalamien lebten während der ältesten Tertiärzeit, während der Cozänperiode. Unter ihnen sind die Riesen des Protistenreiches, die gigantischen Nummuliten, deren scheibenförmige Kalkschalen die Größe eines Zweithalerstückes erreichen. Der von ihnen erzeugte Nummulitenkalk, aus dem unter anderen die ägyptischen Pyramiden gebaut sind, bildet die ungeheuren Gebirgsmassen des Nummulitensystems. Dies ist eines der gewaltigsten Gebirgssysteme der Erde, das von Spanien und Marokko bis nach Indien und China hinüberreicht und an der Bildung der

Pyrenäen, der Alpen, des Libanon und Kaukasus, des Altai und Himalaya den bedeutendsten Anteil nimmt. In welcher ungeheuren Massen die Polythalamien auch gegenwärtig unsere Meere noch bevölkern, geht daraus hervor, daß z. B. der Sand der Mittelmeerküste an vielen Stellen aus den Schalen lebender Polythalamienarten besteht. Max Schulze berechnete ihre Menge in einem Eßlöffel Seesand von Gaëta auf mehr als Hunderttausend.*) — Während die Schalen der Polythalamien aus Kalk bestehen, sind diejenigen der Radiolarien (Strahllinge, Gittertiere) aus Kiesel-erde gebildet.

Die Tiefseelotungen, welche Brooke 1853 anstellte, brachten Schlamm aus dem Atlantischen Ozean aus einer Tiefe von mehr als 3000 m zutage. Dieser Tiefseeschlamm bestand nach Ehrenbergs Untersuchungen fast ganz aus Skeletten von Polythalamien (Globigerinen). Die Tiefseeforschungen, welche der Kapitän Daymann 1857 im Auftrage der transatlantischen Telegraphengesellschaft behufs Untersuchung des Meeresgrundes anstellte, erbrachten Tiefseeschlamm von den verschiedensten Punkten des sogenannten Telegraphenplateaus von Valentia an der Westküste von Irland bis zur Trinitybay in Neufundland, und dieser Schlamm bestand hauptsächlich aus Polythalamien (Globigerinen) und wenigen Prozenten Radiolarien.

Die Entdeckungen der britischen Challenger-Expedition bestätigten diese Tatsache auch für andere Meere.

Die mikroskopischen Kalkschalen und Kieselgehäuse dieser Urtiere bleiben nach dem Absterben ihres Bewohners auf dem Meeresgrunde unverändert liegen und häufen sich derartig massenhaft an, daß sie mächtige Schlammschichten werden und im Laufe der Jahrtausende sich zu festem Gestein verdichten. Die mächtigen Kreidegebirge Englands, die sich südlich durch den Kanal, durch einen großen Teil Frankreichs fortsetzen, laufen südlich und östlich durch Mitteleuropa und Dänemark, erscheinen wieder in der Krim

*) Haeckel, S. 115.

und Syrien und können bis an die Ufer des Aralsees verfolgt werden.

Neben den genannten Tieren der Tiefsee sammeln unzählige größere, an den Küsten lebende Schalthiere, die Korallen, Seesterne, Polypen zc., den Kalk in ihren Gehäusen, namentlich in den tropischen Meeren zu beiden Seiten des Äquators und bilden die Korallenriffe an den Küsten Arabiens, Indiens, Neuhollands. Ähnlich waren sie auch in früheren geologischen Perioden tätig und bildeten jene Ablagerungen von Kalkstein in der oberen Grauwacke-, in der Steinkohlen-, Zechstein-, Muschelkalk-, Jura- und Kreideformation, wie sie in jenen Perioden vorhandene Inseln genannter Formationen riffähnlich umgürteten und jetzt aufgedeckt werden.

Ist so kein Zweifel vorhanden, daß der Kalk der verschiedenen Erdschichten jenen Tieren, also dem Leben entstammt, so ist die Frage nicht abzuweisen: Woher jene Tiere den für ihren Körperbau so nötigen Kalk genommen, in welcher Weise daraus kohlen-saurer Kalk, als welchen uns die Überreste ihn bieten, entstand?

Darüber, daß die Tiere den Kalk dem Meerwasser entnahmen und noch entnehmen, kann kein Zweifel bestehen. Das Meerwasser enthält den Kalk in Gestalt zweier Verbindungen, und zwar als kohlen-sauren und als schwefel-sauren Kalk. Der Gehalt an kohlen-saurem Kalk ist nach allen vorliegenden Untersuchungen ein höchst geringer; selbst an kalkigen Küsten beträgt er nach Davy kaum $\frac{1}{10000}$ des Wassers. Der Gehalt an Gips — schwefel-sauren Kalk — ist, verglichen damit, weit bedeutender und beträgt in 1000 Teilen etwa 1.63 Teile*), aus beiden Stoffen können sich die Schalen der genannten Organismen gebildet haben. Nach Bischof**) ist der kohlen-saure Kalk des Meerwassers die Ursache aller Kalkablagerungen. Nach dieser Ansicht wird der von den fließenden Gewässern dem Meerwasser ununter-

*) Mohr, Geologie.

**) Bischof, Chem. Geologie. I, 501.

brochen zugeführte kohlen saure Kalk von den Tieren aufgenommen und zum Aufbau ihrer Hüllen und Schalen gebraucht. Beim Absterben dieser Tiere und nach Zersetzung der organischen Teile bleibt derselbe als solcher in den Schalen zurück. Senft*) ist der Meinung, daß durch die in jedem Augenblicke entstehenden Verwesungs-substanzen von Meerestieren Kohlen säure und Quellsäure in großen Mengen entstehen, durch welche sowohl die am Meeresboden wie an den Küsten vorhandenen kalkigen Gesteine zersetzt werden, und deren Kalk in doppeltkohlen sauren Kalk übergeführt wird. Diesen nehmen die Meerestiere auf und benützen ihn zum Aufbau ihrer harten Körperteile. Die letzteren zerreibt die Meereswoge nach dem Tode der Tiere, bettet das Pulver langsam auf den Meeresboden und unter dem Drucke des Wassers entstehen die Lager von dichtem und geschichtetem Kalksteine. Nur diese Ablagerungen sind geschichtet, diejenigen hingegen, die durch Kalklösungen aus dem Meere direkt abgesetzt sind, sind ungeschichtet und kristallinisch.

D. Volger**) glaubt, der kohlen saure Kalk rühre her von der Zersetzung des Gipses durch das kohlen saure Natron, welches im Blute der Mollusken vorhanden ist, wobei der Schwefel der Schwefelsäure in die wichtigsten Lebensstoffe des Tierkörpers übergehe.

Mohr***) ist ebenfalls der Ansicht, daß aller kohlen saurer Kalk dem Gips des Meeres entstamme; nach ihm wird dessen Schwefelsäure durch die Meerespflanzen zersetzt, der Schwefel geht in das Albumin der Pflanze über und von da in den Körper der Tiere: der Kalkgehalt des Gipses geht in das Gewebe der Pflanze und mit derselben in das Tier über, in welchem er durch die Respiration Kohlen säure zugeführt erhält und sich als kohlen saurer Kalk in den Schalen anhäuft.

*) Senft in Lennis Synopsis 1878, S. 181.

**) Volger, Erde und Ewigkeit, S. 393.

***) Mohr, Geschichte der Erde, S. 46.

Die Entstehung der kristallinischen Urkalk (Marmor) dachte sich die ältere Geologie derart, daß kohlen-saurer Kalk in schmelzflüssigen Zustand gekommen und dann erstarrt sei.

Senft*) erklärt es als nicht unwahrscheinlich, daß nach Bildung der festen Erdkruste eine oberflächliche Zersetzung derselben durch die Atmosphärentheile eintrat, dabei eine Lösung von doppelkohlen-saurem Kalk entstand, die ihrerseits auch Silikate der Tonerde, des Kalis, Natrons, Eisenoxyduls mit sich führte. Diese Lösung verlor einen Teil Kohlen-säure und bildete einfachkohlen-sauren Kalk in Gestalt eines zarten kristallinischen Schlammes, der allmählich unter Einschließung der Silikate erstarrte. Die Kalklösung mag mit der Ur-gneismasse in mannigfacher Wechselwirkung gestanden haben, ja vielleicht entwickelte sich der Gneis aus einer die ursprüngliche Erde überdeckenden Kalklösung und drang dann die schlammige Kalklösung in die Spalten und Höhlungen der zuerst erstarrten Gneismasse ein. Der kristallinische kohlen-saure Kalk hat sich wahrscheinlich aus dem dichten Kalkstein erst entwickelt; wenigstens ist diese Metamorphose in verschiedenen Lagern deutlich erkennbar und nachgewiesen, so daß also eine Ausnahmestellung desselben, wie sie die ältere Geologie statuierte, wohl nicht gerechtfertigt erscheint.

Nach Vogt**) lassen die Lagerungsverhältnisse des carrariischen Marmors keinen Zweifel, daß derselbe nur ein umgewandelter sedimentärer Kalkstein und daß das umwandelnde Prinzip nur das Wasser sei. Ein gleiches gilt für den 10 m mächtigen Kalkgang im Gneise des Hochstetter Tales bei Auerbach an der Bergstraße.

Wir haben oben, und man tut es in Lehrbüchern noch vielfach, angenommen, daß die dichten Kalksteine (Kreide, Muschelkalk etc.) amorph oder strukturlos seien. Nach Beobachtungen von Kennegott und Kaufmann ist indes diese Annahme nicht richtig. Läßt sich auch

*) Lennis Synopsis, S. 749.

**) Vogt, Geologie. II, S. 270.

an diesen Gesteinen mit bloßem Auge durchaus keine kristallinische Struktur wahrnehmen, so zeigt sich doch, wie Kaufmann fand, unter dem Mikroskope jedes Stäubchen kristallinisch. Sogar der weißliche Kreideschlamm der Schweizer Seen besteht in der Hauptmasse aus kristallinischen Körnchen. Die Süßwasserfalle, die Seekreide, die Schreibkreide in England, Frankreich und auf Rügen zeigen nicht weniger diese kristallinische Struktur, und alles berechtigt zu der Annahme, daß sie sich einst im Zustande des Kreideschlammes der Schweizer Seen befanden, wie man solchen durch sehr verdünnte Lösungen von Chlorkalzium und Natriumbicarbonat auf chemischem Wege erzeugen kann. Nach Kaufmann dürften die Gesteine also ganz auf demselben Wege durch chemische Niederschläge entstanden sein. *)

3. Auftreten des kohlen sauren Kalkes in den verschiedenen Gebirgsformationen und Arten desselben.

Nachdem wir so einen allgemeinen Überblick über die Kalkarten und die zurzeit geltenden Ansichten hinsichtlich der Entstehung der Kalkgebirge gewonnen, ist es notwendig, das Auftreten des kohlen sauren Kalkes in den verschiedenen Gebirgsschichten in seinen Hauptmomenten spezieller zu verfolgen, wobei besonderes Gewicht auf jene Arten zu legen, die eine Ausbeutung gefunden haben und noch finden. Zum Verständnis sei daran erinnert, daß die Geologie die Erdschichten nach Alter, Zusammensetzung und Lagerung, sowie mit Bezug auf die in den geschichteten Gesteinen auftretenden Versteinerungen in eine Anzahl Gesteinsgruppen oder Formationen gliedert, wie sie in folgender Übersicht aufgeführt sind. In derselben sind die Gesteine in der Reihenfolge ihrer Lagerung von unten nach oben gegeben, also von den älteren bis zu den jüngeren und jüngsten Erdbildungen hinauf und wird auf diese Formationen in den späteren Ausführungen Bezug genommen.

*) Durch die Ergänzungsblätter 1870, S. 757.

I. Azoische Periode (a priv. = un, Zoon, Tier), primitive Formationen, Urgebirge	{ 1. Urgneis- 2. Urschiefer- formation	kristallin. Massengesteine kristallin. Schiefergesteine
II. Paläozoische Periode (palaios, alt), Übergangsgebirge, primäre Formation	{ 3. Übergangs- formation 4. Steinkohlen- formation 5. Dyasforma- tion	{ Silurisches System Devonisches System Kohlentalk u Culmform. Steinkohlen Rotliegendes Zechstein
III. Mesozoische Periode (mesos, mitten), sekundäre Formationen	{ 6. Triasfor- mation 7. Jurafor- mation 8. Kreidefor- mation	{ Buntsandstein Muschelkalk Keuper schwarzer Jura (Lias) brauner Jura (Dogger) oberer oder weißer Jura (Malm) untere { Neocomien Kreide { Gault obere { cenomane Kreide { turone und senone Kreide
IV. Känozoische Periode (kainos, neu)	{ 9. Tertiär- (Braunkohlen- formation) 10. Quartär- formation	{ untertertiäre (eocene) mitteltertiäre (miocene) obertert. (pliocen. Bild.) Diluvium Alluvium

A. Kristallinisch-körniger Kalk, Marmor.

Der kristallinisch-körnige Kalk wird meist angetroffen im Ur- und Übergangsgebirge und heißt Ur- und Übergangs- oder Grauwackenkalk. Das Korn desselben ist un-
gemein verschieden, ebenso die Farbe. Urkalk ist vorherrschend weiß, gelblichweiß oder grauweiß, von größeren Verun-
reinigungen frei, in der Masse feinkörnig, zuckerähnlich und
aus kleinen, verworren durcheinanderliegenden Kalkspat-
kristallen bestehend. Er tritt in Stöcken und Lagern im
Urgebirge, also im Gneis, Granit und Glimmerschiefer auf.
Übergangskalk zeigt ein feinkörniges bis dichtes Gefüge,
teils deutlich geschichtet, teils völlig ungeschichtet mit musche-
ligem, auch splittrigem Bruche. Seine Farbe wechselt in

allen möglichen Nuancen. Ist er einfarbig, so ziehen sich durch die Masse häufig hellere oder dunklere eigentümlich gefärbte Partien in Gestalt von Flecken, Streifen, Adern. Die verschiedenen Färbungen rühren von Beimengungen her, als welche zu nennen sind: Magnesia-, Eisen-, Kalksilikate, Apatit, Graphit, Eisen- und Kupferkies, Magnesit, organische Stoffe (Bitumen) usw.

Ist der Marmor schon nicht wetterbeständig, so bewirken diese Beimischungen oft eine noch raschere Verwitterung desselben an der Luft. Die Kohlensäure, welche mit den atmosphärischen Niederschlägen auf die Kalkmasse gelangt, bewirkt deren Überführung in doppeltkohlen sauren Kalk, welcher vom Regen ausgewaschen wird. Die auflösende Wirkung steigert sich häufig durch Ansiedelungen von Flechten und Moosen im Marmor. Enthält er Eisen, so geht dasselbe in die gelbgefärbte Oxidationsstufe über und bringt nicht nur eine Veränderung der Farbe, sondern auch Lockerung der Textur hervor. In die oft kaum bemerkbaren, durch Lösung und Lockerung entstandenen Vertiefungen dringt immer weiter das Wasser ein und bewirkt durch Gefrieren eine Zerspaltung.

Ur- und Grauwackenkalk, sofern sie eine schöne Politur annehmen, einen höheren Grad von Reinheit und schöne Farben zeigen, führen den Namen Marmor.

Homer nennt jeden bearbeiteten glänzenden Stein Marmor und Plinius u. a. verstehen darunter auch andere Felsarten, z. B. die Granite. Die Gegenwart wendet diesen Namen jedoch nur auf die politurfähigen Kalksteine und in noch engerer Begrenzung auf diejenigen des Urkalkes an.

Der geschätzteste ist der Statuenmarmor, von den Alten auch *Lychnites* genannt, weil er nach Barro auf Paros bei Licht unterirdisch gewonnen werden mußte. Im reinsten Zustande ist er schneeweiß und nur große Stücke zeigen andersfarbige Flecken und Streifen. Der blättrige Bruch des feinen Kornes zeigt einen eigentümlichen Glanz, die polierte Masse ist insolgedessen lebendiger als diejenige

des Alabasters. Jedoch mit der Zeit nimmt die Masse einen gelblichen Ton an, wie die antiken Statuen, ebenso die Marmorpaläste von Venedig, Genua, Florenz u. be- weisen.

Die griechischen Künstler des altklassischen Zeitalters verarbeiteten zu ihren Kunstwerken und Bauten den parischen und pentelischen Marmor. Den parischen Mar- mor bricht man auf der Insel Paros, welche zu Dreiviertel aus diesem kostbaren Material und daneben aus Gneis und Glimmerschiefer besteht. Lange Zeit lagen die Brüche völlig verödet, bis sie in neuerer Zeit durch König Otto wieder eröffnet wurden. Neben ihm stand in hohem Ruf der pen- telische Marmor, der aus den Brüchen des Pentelikon (Hymettus) nördlich von Athen gewonnen wurde. Diese Marmorbrüche, aus welchen die Werkstücke zum Baue des Parthenons, der prachtvollen Tempel Attikas hervorgingen und mit für die damalige Zeit ungeheuren Anstrengungen vom Hochgebirge herabgeschafft werden mußten, sind gegen- wärtig fast völlig verödet und verlassen. Klöden*) fand in den untersten Steinbrüchen — die der Alten lagen näher dem Gipfel des Berges — drei Steinbrecher und einige griechische Handlanger beschäftigt. Außer diesen Marmorarten waren sehr geschätzt diejenigen von der Insel Thasos im Ägäischen Meere, ebenso derjenige von der Insel Chios.

Die Krone aller Marmorarten seit der römischen Kaiserzeit bis zur Gegenwart ist der Lunensische oder carrarische Marmor, und zwar wegen seiner blendend weißen Farbe, seiner Fleckenlosigkeit, Gleichheit und Härte des Kornes. Die Marmorbrüche von Carrara liegen auf der Westseite der Apuanischen Alpen zwischen Genua und Pisa; von dem Golfe von Spezia aus kann man von Avenza direkt mit der Eisenbahn auf der Strecke Genua-Pisa dahin gelangen. Der carrarische Marmor enthält 0.4% Magnesia.

*) Aus allen Weltteilen, 1870, S. 339, 345.

Die Anzahl der zwar nicht durchgängig im Betriebe stehenden Marmorbrüche beträgt gegenwärtig*) zu

Carrara	605
Seravezza	100
Massa	180

Der Gestehungspreis per Kubikmeter ist sehr wechselnd, je nach der Lage des Bruches und der Transportart, wie folgende Tabelle zeigt:

	1. Ravaccione (Carrara) Lire	2. Forno (Massa) Lire	3. Società Marmorea (Massa) Lire
Grubenkosten	48— 96	40— 70	50
Behauen der Blöcke	10	10	10
Transport mit Seilen	33— 38	22	—
» auf der Achse	36— 40	45	38
Aufs Schiff bringen	8	15	15
Weggeld an die Gemeinden	5	3	3
Ausfuhrzoll	3	3	3
Summe der Kosten per Kubikmeter	117—200	138—168	119

Werden die Marmorarten am Hafen oder bei einem Bahnhose abgeliefert, so stellt sich der Preis per Kubikmeter folgenderweise:

	Mark
Ordinario (bläulich, kristallinisch, zu Platten, Säulen, Kamingesimsen etc.)	72— 81
Bianco Chiaro III (kristallinisch, Marmor von Carrara zu Skulpturen und der Luft ausgesetzten Bildsäulen)	110— 130
Bianco Chiaro II (ebenso)	130— 170
Bianco Chiaro I (ebenso)	170— 200
Bardiglio (dunkelbläulich mit schwarzen Adern)	120— 170

*) Illustrierte Gewerbezeitung. 1871, S. 194. Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereines zu Hannover. 1872, S. 136.

Statuario venato (Bildsäulenmarmor mit schwarzen Adern)	160— 200
Statuario (Carrara) in Blöcken von höchstens 1 m ³	300— 600
Statuaria (Carrara) in Blöcken von mehr als 1 m ³	600— 900
Statuario di Falcovaja (M. altissimo) kleine Blöcke	600— 900
Statuaria di Falcovaja (M. altissimo) große Blöcke	900— 1500
Bardiglio fiorito (Grund aschfarben mit schwarzen Adern im Zickzack)	360— 450
Mischio di Seravezza (rot-violett gefärbt, Säulen der neuen Oper in Paris)	500
Breccia africand (Breccie)	700

Die Hälfte der ganzen jährlichen Produktion geht nach Amerika und den Kolonien, ein Sechstel nach England, der Rest in die anderen Länder Europas. Der ganze jährliche Ertrag beträgt zirka 16 Millionen Mark.

Der bunte Marmor (versicolor) ist ein dichter Kalkstein mit flachmuscheligen Bruch, der weit häufiger angetroffen wird. Er wird von den Künstlern nach seiner Farbe bezeichnet, und zwar:

Weißer Marmor,	Marmor bianco
Schwarzer »	nero
Roter »	rosso
Grüner »	verdello
Gelber »	giallo

Zuweilen setzt man dem Namen noch den Fundort zu, und falls dieser nicht bekannt, wie es bei den Altertümern Griechenlands und Italiens häufig ist, den Namen antico. Häufig sind die Marmore mehrfarbig und mit Wolken, Streifen oder Adern durchsetzt und werden dann als geadert, gebändert, gestreift, gefleckt zc. bezeichnet. Enthält die Masse größere scharf begrenzte, eckige Brocken und Trümmer eingesprenkt, so heißt sie Brecciamarmor; sind dieselben klein, Brokatellmarmor; bestehen sie in Muscheln Lumachelmarmor.

Der in Deutschland im Urkalk auftretende Marmor zeigt gewöhnlich dunklere Farbe. Der beste ist der schlesische von Habelschwert und von Prieborn bei Strehlen, welcher in der Architektur vielfach Anwendung findet. Marmor des Grauwackengebirges tritt in Bayern auf im Bayreuter Gebiete (Hof, Stadtsteinnach), am Harze bei Blankenburg, in der Rheinprovinz bei Aachen, in Westphalen bei Arnsberg, in Schlesien bei Groß-Kunzendorf und bei Kaufung, in Sachsen-Meiningen und Koburg.

Die Marmorbrüche des österreichischen Kaiserstaates hat W. Bäumer zusammengestellt, der überdies auch eine sehr lesenswerte geschichtliche Skizze über die Verwendung des Marmors in der Architektur lieferte. *) Wir lassen das Wichtigste aus dieser Zusammenstellung hier folgen:

I. Kärntner Marmor.

1. Bruch Krasthal, blaugrauer Marmor, jährlich über 3000 m^3 . Kann zu Stiegenstufen, Türgewänden, Säulen bis zur Höhe von 2·8 m und 0·5 m Durchmesser *z.* verwendet werden. Platten bis zu 8 m^2 sind zu bekommen.

2. Bruch Treffen, weißer Marmor, jährlich 2400 m^3 . Man bekommt bis jetzt Stücke in einer Länge von 5·6 m und 13 mm Dicke und Breite.

3. Bruch Pörttschach, weißer Marmor. Quadern bis zur Größe von 0·9 m^3 . Platten bei einer Dicke von 0·15 m bis zu 3 m^2 , besonders verwendbar zu Pflasterungen, Sockelplatten und Türgewänden *z.*

II. Tiroler Marmor.

1. Bruch Sterzing. Dieser Stein eignet sich vorzüglich zu Treppenstufen.

III. Vorarlberger Marmor.

1. Bruch Bludenz, schwarzer Marmor, jährliche Ausbeute 90—120 m^3 in Blöcken und zirka 100 m^2 Platten.

*) Zeitschrift des niederösterreichischen Gewerbe-Vereines. 1875, S. 410, 424. Auch »separat« erschienen.

Kommt in Stücken von nur $0.1 m^3$ bis zur Größe von $1.5—1.8 m^3$ und $26—28 mm$ dick vor. Wird zu Grabsteinen und verschiedenen Bauzwecken verwendet.

2. Bruch Bludenz, roter Marmor. Grabsteine in Bludenz aus diesem Marmor.

3. Bruch Klostertal, roter Marmor.

IV. a) Trientiner und italienischer Marmor.

1. Bruch al Castello, roter Marmor, jährlich $7000 m^3$. Schöne rote Farbe, sehr witterungsbeständig, geeignet für jede Arbeit, insbesondere für große Säulen, Sockel, Stufen etc.

2. Bruch ai Capucini, weißer Marmor, jährlich $7000 m^3$.

3. Bruch ai Giardini, weißer Marmor, jährlich $5000 m^3$. Lichte weiße Farbe, sehr kompakt, witterungsbeständig, in Schichten bis $1.5 m$ Höhe. In Dimensionen bis $12.5 m$ Länge, $1.5 m$ Höhe für Säulen, Stufen, Platten und Postamente.

4. Bruch S. Martino, roter Marmor, jährlich $5000 m^3$.

5. Bruch ai Capucini, weißer und roter Marmor, jährlich $3600 m^3$.

6. Bruch ai Capucini, weißer und roter Marmor, jährlich $3000 m^3$.

7. Bruch in Melta, roter Marmor, jährlich $700 m^3$.

8. Bruch a Cognola, jährlich $700 m^3$.

9. Bruch bei Mori, gelber Marmor, jährlich $6000 m^3$. Schöne gelbe Farbe, kompakt und beständig; kommt in Schichten bis $1.25 m$ dick vor. Geeignet für jede Arbeit, jedoch nur bis $3 m$ Länge.

10. Bruch bei Mori, gelber Marmor, jährlich $3000 m^3$.

IV. b) Trientiner Marmor.

1. Bruch bei Trient, hellroter Marmor. Größe der Quadern bis $2.5 m^3$. Größe der Platten bis $6 m^2$.

2. Bruch bei Lofern, roter Marmor. Größe der Stücke bis $1.9 m^3$.

V. Istriischer Marmor.

1 (z). Bruch bei Grisignano, grauer Marmor mit Variationen ins Gelbliche. Eignet sich vorzüglich für Quaderarbeiten und ist in allen Dimensionen zu haben.

1 E. Bruch bei Grisignano, grauer Marmor mit Variationen ins Gelbliche. Ist zu haben von 0.2—0.5 m Stärke.

2 E. Bruch bei Grisignano, grauer Marmor mit Variationen ins Gelbliche. Ist aus demselben Bruche wie Nr. 1 E, jedoch härter und etwas marmoriert, und ist in einer Stärke bis 0.9 m zu haben. Die Länge nach Bedarf.

1 B. Bruch bei Grisignano, grauer Marmor mit Variationen ins Gelbliche. Ist geeignet für Stufen, Podeste, Balkonplatten. Der Bruch ist in Schichtenhöhen von 0.05—1.25 m geteilt, lang, über 4 m², Quantum nach Bedarf. Steingattung gleich vorzüglich.

VI. Mährischer Marmor.

1 A. Bruch Satinsli, sechs Stunden von Hollain, gelblich. Geeignet für Quaderarbeiten, Verkleidungsstücke, Säulen zc. und ist in allen Dimensionen zu haben.

VII. Salzburger Marmor.

1. Urbanobruch, weißgelb bis rosa, teilweise bräunliche Moosfaserchen.

2. Tropfmarmorbruch, weißlichgelb, Übergang aus Urbano, variierend in leberfarbig, feurigrot und grün mit Tropfen.

3. Scheckmarmor, rot, braun und weißgescheckt, grau, weißgescheckt mit blauen Einsprengungen.

Alle drei Brüche hängen zusammen, indem eine ganz aus Marmor bestehende Bergkuppe von verschiedenen Seiten aufgedeckt wurde. Ihre Ergiebigkeit ist daher eine nahezu unbegrenzte. Das Gestein bildet kompakte Massen.

Es können aus vorstehenden Marmorbrüchen Blöcke in jeder Dimension geliefert werden.

Der Marmor ist sehr hart und nimmt eine vorzügliche Politur an, weshalb er in erster Linie zu Gewänden, Säulen zc., dann auch zu Balustren, Stiegen verwendet wird. In Verbindung mit den roten, weiter unten folgenden Marmorn erscheint Scheff und Urbano häufig an den Werken der älteren Kirchenbaukunst und überhaupt zur Innendekoration verwendet.

4. Muschelskalmarmor, grau mit feinen weißen Muscheln und roten und weißen Aderchen. Großer Kalkberg. Es können Blöcke in jeder Dimension geliefert werden.

5. Lienbacher Schnöllbruch, hellrot mit feinen, schwarzen Masern.

6. Mozaubruch, braunrot bis dunkelbraun mit eingeschlossenen weißen Zähnen, Muscheln zc.

7. Langmoos, rotbraun, ähnlich dem Schnöll.

Einander benachbarte Brüche, die sich horizontal sehr weit erstrecken, in der Tiefe jedoch beschränkt sind — auf zirka zwei Klafter.

Die Schichten sind bis 0.8 m dick. Es können Platten und Säulen bis zu obiger Dicke in jeder Dimension, die praktisch vorkommt, aus den Brüchen geschafft werden.

Vorzügliche Politurfähigkeit und helle Farbe befähigen diese Marmore zur Verwendung für Dekoration im höchsten Maße; es werden Säulen, Platten, Stiegenstufen, Podeste, Gewände zc. zc. aus demselben erzeugt.

VIII. Kärntner Marmor.

Bruch Seebichl bei Glandorf. Bruch bei St. Veit, zwei Stunden vom Stationsplatze Glandorf entfernt, weißer und rosenroter Marmor (Urkalkstein). Nach Bedarf, da derselbe in mächtigen ganzen Bänken auftritt. Platten, Säulen, Quadern sind von diesem Stein in allen Größen zu haben.

IX. Stopnik-Tolmeiner Marmorwerke.

Diese Brüche liegen im Küstenlande, Bezirkshauptmannschaft Tolmein. Entfernung von Tolmein 15 km, von

Kirchheim 9.5 km, an der guten Poststraße, zur Eisenbahnstation in Görz sowohl als zur Eisenbahnstation Lač in Krain verfrachtbar. Entfernung von Wien 510 km. Diese Brüche haben in ihrem ganzen Vorkommen eine Ausdehnung von ungefähr 359.675 m², beherrschen einen ganzen Berg in einer Höhe von 285 m und einer Breite von 380 m. Der Abbau ist kein schwieriger, da man an der Sohle des Berges begonnen hat und leicht dadurch die höheren Schichten gewinnt und außerdem an der Sohle Blöcke jeder Dimension zur Verarbeitung vorhanden sind.

Dieser Marmor ist ein Konglomerat und gehört in das Reich der Breccien. Bis jetzt einzig in seiner Zusammensetzung durch seine Farbenpracht und kompakte Bindung. Die in demselben vorkommenden Gesteine bestehen aus: Zaspis, Porphyr, Achat, Karneol, Quarz und kohlensaurem Kalk, das Bindemittel ist bituminöser Kalk, grüner Serpentin, und da die Zusammensetzung sowohl in Farbe als Größe der darin vorkommenden Steine wechselt und letztere in jeder Fassung auch sortiert werden können, so ähnelt derselbe dem Mosaik und wird auch als Natur-Marmor-Mosaik betrachtet und bezeichnet.

Was die Leistungsfähigkeit anbelangt, so können alle möglichen Anforderungen gestellt werden, da der Bruch und das Lager ergiebig sind und im Gebrauchsfalle noch nach mehreren Seiten die Brüche geöffnet werden können. Was die Dimensionen anbelangt, können Stücke dermalen in einer Länge von 2—3 m und in einer Stärke, respektive Breite von 1—2 m gewonnen werden, doch wenn man nach dem Innern der Brüche gehen würde, so ist es beinahe als sicher anzunehmen, daß die doppelte Dimension von den oben erwähnten in einem Stücke zu gewinnen wäre. Am Tage liegen dermalen von der Natur selbst ausgebrochene Blöcke bis zu einer Größe von sogar 30 m³, die jedoch zu ihrer Verwendung sortiert und gespalten werden müssen.

Bis jetzt fand dieses wahrhaft schöne Gestein noch wenig Anwendung, da es durch seine Lage als eingeschobener

Regel zwischen Dolomitbergen fast ganz den Augen der Naturforscher entzogen war und als ein ganz neu entdecktes Marmorlager zu betrachten ist. Was die Eignung in seiner Anwendung anbelangt, ist der Stein vermöge seiner Schönheit zu feineren Arbeiten geeignet, läßt sich in jeder Weise gut bearbeiten und ist als Bekleidung, zu Säulen, Tischplatten, Balustres, Brunnenmuscheln, Fußbodenplatten sowohl als in der Konstruktion sehr gut verwendbar, indem derselbe eine Belastung von mindestens 365 kg per Quadratcentimeter gut aushält.

Nicht unerwähnt kann gelassen werden, daß dieses Gestein in dortiger Gegend zur Zeit der Römer Anwendung gefunden hat, wovon sich noch einzelne Fragmente im Besitze des Grafen Carcarini in Görz ganz gut erhalten vorfinden sollen. Ferner wurde dasselbe vor älteren Zeiten, wie auch dormalen noch, zu inneren Kircheneinrichtungen sowie zu Grabsteinen verwendet.

X. Nabresinamarmor.

Bruch Nabresina. Dieser Marmor ist von mehr weißer Farbe als Grund und hat ein gräulichbraunes Korn. Der Nabresinastein ist kennbar von jeder anderen Steingattung durch sein feines Korn. Der Stein hat eine bedeutende Widerstandsfähigkeit.

Die Leistungsfähigkeit nach Bedarf. Es sind derzeit mehrere große Steinbrüche im Betriebe, wo mit Maschinen gearbeitet wird; nach Bedarf werden mehr Arbeitskräfte eingestellt, so daß jede größere Arbeit und Lieferung übernommen werden kann.

Der Nabresinastein kann zu jeder wie immer genannten Bauarbeit verwendet werden, besonders aber zu Stiegenstufen und Podesten in allen Größen und Stärken; Stiegenstufen bis vier Klafter Länge, ferner Balkonplatten bis sechs Klafter Länge und sechs Fuß breit; ferner zu Marmorbadewannen für Bäder 2c. 2c.; für Steine, die außerhalb verwendet werden und der Witterung widerstehen müssen, wird aus einer besonderen Schicht gebrochen, und

zwar ist dieser Nabresinastein mehr feinkörnig und dunkler. Derselbe widersteht vollkommen.

XI. Stein-Gewerkschaft in Arch [Krain] (Pariser Stein).

Der Steinbruch liegt im Herzogtume Krain, Bezirkshauptmannschaft Gurkfeld, an einer guten Bezirksstraße; zur Eisenbahnstation Videm-Gurkfeld eine Entfernung von zwei Stunden. Bei Videm-Gurkfeld ist die gut erhaltene Savebrücke zu passieren. Die Entfernung von Wien ist 430 km. Dieser Bruch hat eine noch nicht bestimmte Ausdehnung, da der ganze Berg aus diesem Stein besteht. Der Abbau ist leicht, da von der Sohle des Berges aus mit den Brucharbeiten begonnen wurde. Der Bruch hat bereits eine Höhe von 8 m, ist vollkommen kompakt und ohne Lücken. Die Bruchmanipulation basiert bei dieser Gattung Stein auf dem sogenannten Kanalsystem, wobei Blöcke bis $31 m^3$ mittels amerikanischer Schraubenwinden umgeworfen werden, um sodann nach bestimmten Dimensionen gespalten zu werden.

Kalkstein mit sehr feinem Gefüge, hie und da kleine Muscheln enthaltend. Dieser Stein läßt sich mit einem billig im Handel vorkommenden Mittel imprägnieren und wird sodann härter und polierbar; er hat übrigens die Eigenschaft, aus dem Bruch und einige Zeit danach ziemlich weich zu sein und wird später, der Luft und dem Regen ausgesetzt, ziemlich hart.

An die Leistungsfähigkeit dieses Bruches können die größten Anforderungen gestellt werden, da der Bruch sich dem Bedarf entsprechend vergrößern läßt. Man ist im Bedarfsfalle imstande, bis $124 m^3$ per Arbeitswoche an Quadern herauszubringen. Was die Dimensionen betrifft, so sind dieselben unbegrenzt, da jede Dimension erzeugt werden kann, soweit solche auf Fuhrwerken und Eisenbahnen transportabel ist.

Die figurativen Ausschmückungen von Fassaden zc. sind von diesem Stein billig, schön und dauerhaft herzustellen, ebenso Quadern mit verschiedenen Bildhauerarbeiten.

Der Marmor, besonders der weiße feinkörnige, ist unstreitig das edelste Material für Kunstwerke, weil es in der Form dem Ausdrucke des künstlerischen Gedankens am nächsten tritt und in der Farbe, dem die seelische Stimmung vorzugsweise anregenden Element, allen Anforderungen entspricht, welche der bildende Künstler an ein derartiges Material stellen muß. Hierzu kommt noch, daß es in hohem Grade Festigkeit, Struktur, Feinheit, Weiße und Glanz zeigt, Gründe genug, weshalb es von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart mit Vorliebe zu Kunstwerken und architektonischen Werken Anwendung gefunden und noch findet. Leider verbieten ein hoher Preis sowie der Umstand, daß der Marmor dem wechselnden nordischen Klima nicht hinreichenden Widerstand zu leisten vermag, seine ausgedehntere Anwendung. Die Kohlensäure der Luft gelangt mit den wässerigen Niederschlägen auf die Marmorwerke, bildet doppeltkohlen-sauren Kalk und dieser wird vom Regenwasser ausgewaschen. Die Rillen, Rinnen, Vertiefungen bewirken Eindringen des Wassers und Gefrieren desselben im Winter, Ansiedelung von Moosen und Flechten, welche an der mechanischen und chemischen Zerstörung mitarbeiten und bald ein Abbröckeln, Abblöcken und Zerfallen desselben herbeiführen. Ist Eisen vorhanden, so oxydiert sich dasselbe und bewirkt eine Farbenänderung und Lockerung.

B. Dichter Kalkstein.

1. Grauwackenkalk (Übergangskalk).

Dichter Kalkstein tritt im silurischen Gebiete der Grauwackengebirge in mächtigen Ablagerungen auf; bisweilen ist er kristallinisch-körnig, meist grau, auch durch reichliche Bitumen schwarz gefärbt; öfter hellgrau, gelbgrau bis weiß, braun, braunrot, bläulich, bläulichgrün, mannigfach gefleckt und geadert, auch durch weiße oder rötliche Kalkspatadern. Mit ihm vergesellschaftlicht erscheint nicht selten kristallinisch-körniger, gelblich gefärbter, zerklüftet und zackig zutage tretender Dolomit.

In England gehört der Silurformation an der sogenannte Wenlockkalkstein in Südwales, Shropshire, Herefordshire; in Norwegen der Malmökalkstein, mergeliger Kalkstein; in Rußland die sandigen und dolomitischen Kalksteine von Estland und Livland; in Nordamerika der Tentaculiten-Kalkstein in New York; in Böhmen der kieselige und der dunkelgefärbte Kalkstein von Bischofteinitz bis Prag.

In der devonischen Formation treten die kohlen-sauren Kalke in weit größerer Mächtigkeit und Ausbreitung auf, teils in dünnen Lagen zwischen dem Ton-schiefer, teils als Kalkton-schiefer — Schieferkalksteine, besonders aber in der oberen Etage in bedeutenden Stöcken und Lagern, die nicht selten zerklüftet und von gewaltigen Höhlen durchzogen sind. (Biels- und Baumannshöhle bei Rübeland am Harz, Dechenhöhle bei Letmathe in der Umgebung des Lennetales in Westphalen.)

Sie zeigen ein kristallinisches bis dichtes Gefüge, sind bläulichgrau, hellgrau, auch ockergelb, braun, braunrot gefärbt und geädert; sie bestehen aus einem innigen Gemenge von erdigem Kalkstein mit Kalkpatkristallen. Häufig gehen sie in Mergel und Dolomit über (Eifel, Lahntal).

Hierher gehören die Eifelkalksteine links vom Rhein, in der Gegend von Hillesheim, Prüm; dann der Nierenkalkstein, Elberfelder Kalkstein auf der rechten Rheinseite von Düsseldorf bis Jserlohn, der Kramenzelkalkstein in Westfalen und Nassau, der Stringocephalen- und Kramenzelkalk des Nordwestharzes, die Stringocephalenkalke in Devonshire, ebenso in Belgien.

Frankreich*) besitzt zahlreiche Marmorbrüche in den Departements der oberen Alpen, des Arriège, des Herault, des Tare, Sière und des Doubs; in den Departements der niederen Pyrenäen, in Korsika und Algier.

England weist durch Härte ausgezeichnete Marmorarten in Devonshire, Derbyshire, Westmoreland, den schottischen Inseln, Irland (Kilkenny und Galway) auf.

*) Rondelets l'art de batir, tom. I.

Belgien besitzt die Brüche von St. Gerard, Denée und Dinant, Provinz Namur, aus denen die sogenannten deutschen oder Brabanter Marmore kommen.

Onyxmarmor (Marbre Onyx*) nennen die französischen Marmorschleifer einen Kalksinter, welcher in der Provinz Oran in Algier, bei Ain Lekbalet und Nemours angetroffen und in Paris zu Kunstgegenständen verarbeitet wird. Dieser Kalksinter besteht aus einer durchscheinend weißen Grundmasse, die zuweilen grün, rötlich, gelbbraun gefärbt und achatartig gebändert ist und sich außerordentlich gut zur Darstellung von Gewänden von Bronzefiguren eignet.

Dieser Onyxmarmor führt in Ägypten den Namen orientalischer Alabaster und wird seit altersher gewonnen 25 Meilen südlich von Kairo bei Beni-Souef sowie in noch besserer Qualität in dem von Selim-Pascha entdeckten Bruche von Syout. Aus Beni-Souef stammt das Material, welches zum Bau der neuen Moschee, der Zitadelle von Kairo sowie für die prachtvollen Monolithsäulen, ein Geschenk für den Papst, die sich in der St. Paulkirche außerhalb der Mauern befinden, gebraucht wurde.

Der Alabaster von Syout zeigt eine gelbliche Farbe, mit einem Stich ins Graue und mit weißen Adern und Wolken durchsetzt. Auf der Pariser Ausstellung (1867) befand sich eine Fellahstatue aus solchem Alabaster von M. Cordier zum Preise von 15.000 Francs.

Der schönste Onyxmarmor ist der persische; weiß, durchscheinend mit Adern netzförmig durchzogen, wird er namentlich zu Schalen und anderen kleinen Gegenständen verarbeitet. Dieser Marmor heißt bei den Persern Senghemärmär Maraghëi, d. h. Marmorstein aus Maragha. Derselbe soll eine Tagreise von dem am Urmiassee gelegenen Orte Maragha bei dem Dorfe Adscheb schir

*) Bericht über die Weltausstellung zu Paris 1867, herausgegeben vom österreichischen Zentralkomitee. Bd. III, S. 55.

(wunderbare Milch, nämlich Kalkmilch) vorkommen und sich durch Niederschlag aus einer Quelle bilden. Es entstehen zirka 1 Fuß dicke Lagen; künstliche Quadern erhält man dadurch, daß man das kalkhaltige Wasser durch viereckige Formen fließen läßt, worin sich dann der Kalk niederschlägt.

2. Kohlenkalk.

Die Steinkohlenformation besteht in ihren unteren Lagen teilweise aus Kalkstein und Dolomit, auch Gips.

Mit Bezug auf seine Bildung ist der Kohlenkalk zu unterscheiden als Meereskalkstein, auch Kohlenkalkstein, Bergkalkstein genannt, und als Süßwasserkalkstein. Jener ist ein Meeres sediment, daher reich an Versteinerungen von Meeres thieren, dieser an Süßwassertieren. Beide treten in sehr verschiedenen Farben, gewöhnlich in dichten, seltener in kristallinischen Massen auf, und zwar in dem Steinkohlenebiete. Kohlenkalkstein bildet im südlichen und mittleren England mächtige Lager, tritt dann im Ruhrgebiete (Westfalen) bei Ratingen bis nördlich vor Elberfeld auf.

3. Dyaskalk.

Im Rotliegenden der Dyasformation treten Einlagerungen von dichtem Kalkstein auf, in Böhmen (Braunau, Trautenau), in Sachsen bei Chemnitz. Im Zechstein liegt der Zechsteinkalk in verschiedener Farbe und Dicke; der Stinkkalk. Dieser letztere ist ein gewöhnlich poröser, selten ganz dichter Kalkstein, der so von Schwefelammonium durchzogen ist, daß er beim Reiben unangenehm riecht. In anderen Gebieten tritt auch der Rauchkalk auf, ein dolomitischer Kalkstein.

Zechsteinkalk tritt auch an den Abhängen des Thüringer Waldes, im Mannsfelder Becken, in Hessen bei Nischelsdorf, im Elstertale bei Gera, in England in den Grafschaften Durham und Northumberland auf.

4. Triaskalk (Muschelkalk).

Das für uns wichtigste Glied der Trias ist die Muschelkalkformation, welche vorherrschend aus einem marinen Kalksteine, aus Mergeln und Dolomiten gebildet ist. Die Arten der hier auftretenden Kalksteine sind sehr zahlreich. Senft*) unterscheidet die in Deutschland auftretenden als: Wellenkalk, Schaumkalk und eigentlichen Muschelkalk.

Der Wellenkalk ist ein erdiger bis dichter und schiefriger, verschieden gefärbter, meist bituminöser Kalkstein, der wellige oder runzlige Schichtungsflächen zeigt und im nordwestlichen Deutschland eine ziemliche Mächtigkeit erreicht. Der Schaumkalk liefert beim Zerschlagen und Zerreiben ein Mehl von verschiedener Färbung, schließt zahlreiche Versteinerungen ein und lagert in der Regel auf dem Wellenkalk. In größerer Ausdehnung tritt er auf bei Rüdersdorf in der Nähe Berlins. Am wichtigsten ist der eigentliche Muschelkalk, ein erdig dichter, auch deutlich kristallinischer, sehr verschieden gefärbter, gefleckter und geadarter Kalkstein, der meist einen flachmuscheligen Bruch zeigt und häufig infolge größeren Kieselsäuregehaltes sehr hart ist. Er lagert über dem Wellen- und Schaumkalk, erreicht vielfach bedeutende Mächtigkeit und wird von Schichten durchsetzt, die äußerst reich an Petrefakten sind, z. B. Terebratulen, Trochiten und Lineaten, auch aus hirse- bis linsengroßen, konzentrisch schaligen Körnern, Dolithen, bestehen.

Sie treten vergesellschaftet auf mit Mergeln, Dolomit und Gips.

Die Muschelkalkformation breitet sich besonders entwickelt aus in:

Oberschlesien zwischen Oder und Malapane über Tarnowitz bis Krakau, bei Bunzlau, Provinz Brandenburg bei Rüdersdorf bei Berlin. Der Kalkwerkbetrieb zu Rüdersdorf wird seit Jahrhunderten betrieben.

*) Synopsis, S. 962.

Früher wurde der Kalk nur durch Tagbau gewonnen, gegenwärtig auch gleichzeitig durch Tiefbau. Das Kalklager, dessen Brüche im Besitze des Fiskus und der Stadt Berlin sind und unter einer 1855 vertragsmäßig festgesetzten Abgabe von 4% des Ertrages an letztere vom Staate allein betrieben werden, erwies sich namentlich in seinen mittleren Lagen, die als starke Bänke auftreten, aus denen man Werksteine und Brennkalk gewinnt, als bauwürdig.

In der Lagerung lassen sich drei Abteilungen unterscheiden: Zu oberst tonige, rauchgraue Lagen, abwechselnd mit erbsgelben, bis zu einer schaumigen Schicht mit vielen Versteinerungen; dann die mittlere, über 2 $\frac{1}{2}$ m mächtige Hauptschicht von dunkelerbsgelber Farbe, unebenem Bruch, fein, porös, ruhend auf Bänken, die von den Arbeitern als kugelige, mokige, modige, muschelige und guazige unterschieden werden. Die unterste Lage endlich beginnt mit Wellenkalk, erst gelb, dann blaugrau, schließlich in Gips und Mergel übergehend, welche bereits zur Sandsteinformation gehören, welche das Liegende bildet.

Nordwestliches Deutschland: Braunschweig (Bode, Holzemme, Ilm), Hannover (Leinetal, Göttingen), Wesertal, Teutoburger Wald.

Thüringen: bei Halle über Merseburg, bis Gotha, Erfurt und Eisenach.

Süddeutschland: vom roten Main bis Schweinfurt, südlich über Würzburg in das Gebiet von Tairt und Kocher, Quellen des Neckar und der Donau.

Das Gebiet der Zentralalpenkette ist am Süd- und Nordabhange von einer breiten Zone von Gebirgsketten umlagert, die zur Hauptsache aus Kalken und Dolomiten der Trias bestehen.

Die Kalksteine der Alpen rechnete man früher zu den älteren Grauwacken- und Zechsteingebilden und erkannte erst neuerlich, daß sie jünger seien und zu der Trias-, Jura- und Kreidformation gehören. Man faßt sie häufig zusammen unter dem Kollektivbegriff Alpenkalk. Dieselben sind, wie nach ihrer Entstehung und Lagerung nicht anders zu er-

warten ist, in ihrer Zusammensetzung ungemein verschieden, selten rein, meistens mit Ton-, Magnesia-, Kiesel-, Eisenverbindungen u. vermischt und erhalten die verschiedenartigsten Färbungen. Diese Alpenkalksteine verbreiten sich in außerordentlichen Massen von der Schweiz bis östlich an die Donau hin, zu beiden Seiten um die Zentralkette der Alpen und bilden oft wilde, zerklüftete Formen. Ihre Ausnützung zu Bausteinen, Trottoir-, Tischverkleidungsplatten, Kaminen, Futtertrögen, Wasserbehältern u., ebenso diejenige eingelagerter Marmorarten (Füssen, Tegernsee, Untersberg), diejenige der gewöhnlichen Sorten zum Kalkbrennen ist in den verschiedenen Ländern eine ungemein große.

So lagern in Salzburg und im nördlichen Tirol auf dem unteren Triasgebiete, einem dünnschichtigen Buntsandsteine, nach dem Orte Werfen Werfener Schichten genannt, Kalkablagerungen bis zu 300 und mehr Meter Mächtigkeit, die aus einer dunkelgrauen oder schwarzen Masse von dünnschichtigen Kalksteinen bestehen, von weißen Kalkspatadern durchzogen sind und nach Guttenberg, nördlich vom Schneeberg, auch Guttenberger Kalk benannt werden. In Südtirol treten sie im Gadertale bei Campil als Campiler Schichten auf. Der ganze nördliche Kalkalpenzug vom Rheintale bis nach Wien hin zeigt dann über jenen Werfener und Guttenberger Schichten die sogenannten Virgloriakalksteine (aus dem Virgloriapasse im Rhätikon), dann darüber und ebenso in Südtirol die Halobiaschichten (nach Versteinerungen der Halobia Lommelii so genannt), aus grauen bis schwarzen, mergeligen oder oolithischen Kalksteinen und dunkelbraunen bis schwarzen bituminösen Mergelschiefeln bestehend, von 30 bis 100 m Mächtigkeit, die braunen Kalkschichten von Cipit an der Seißer Alpe, ebenso die von St. Cassian (Cassianer Schichten). Darauf liegen in Nordtirol, Bayern und Salzburg die Zephalopodenkalksteine und Mergel, als Partnachschichten bekannt; in Vorarlberg die 100—400 m mächtigen Arlberger Kalksteine; östlich davon in Tirol, den bayerischen Alpen (Zugspitze, Berchtesgaden) die kristallinisch

körnigen bis dichten Wettersteinkalke; weiter östlich in Salzburg und im Salzkammergut, im Salzburgischen bis Kuffstein in Tirol die Hallstädter Kalk. Die Mächtigkeit der letzteren steigt bis zu 1000 m; dieselben sind dicht, sehr verschieden gefärbt, oft marmoriert und dolomitisch.

In Kärnten liegen die bräunlich gefärbten Mergelkalke, die als Raibler Schichten bekannt sind.

Auf den Kalkschichten der genannten nördlichen Zone tritt dann in einer Mächtigkeit bis 1500 m der Dachsteinkalk auf. Derselbe ist am massigsten entwickelt und durchstreicht Osterreich, Salzburg und Steiermark, ist gelblichgrau, auch weiß, dicht bis feinkörnig und bildet die langen, steilen, wellenförmigen Riesenketten mit den schroffen und zackigen Alpenspitzen, Pyramiden, Hörnern — von Wien an über Guttenberg, Mariazell, Eisenerz am Gesäuse, im Tauern- und Dachsteinstocke, dem Watzmann über Tirol, Bayern bis Vorarlberg.

5. Jurakalk.

Im Juragebiete treten auf, und zwar im Lias (sprich Liass, von layers = plattensförmige Gesteinschichten) die versteinungsreichen, plattensförmigen Kalkmergel, körnigen Kalksteine, bituminösen Kalksteine und Stinkkalke, die man insgesamt Liasskalke nennt und welche sich durch die sehr große Zahl auftretender Petrefakten — über 4000 Arten derselben sind bekannt — auszeichnen. Sie sind verbreitet in den nördlichen Kalkalpen und zwar vielartig im Gebiete des Lech, der Isar, Salach, Salzach und Enns; in Schwaben an der Westseite des schwäbischen Juras (Stuttgart, Reutlingen), ebenso an der Westseite des fränkischen Juras (roter Main, Altmühl); in Thüringen bei Gotha und Eisenach; im nordwestlichen Deutschland (Hannover und Braunschweig); in Frankreich an der Westseite des französischen Juras bis ins Saonegebiet, vom Maastal bis nach Metz hin, südlich von Lyon an bis Sevens; in England von der Südküste nordwärts bis Yorkshire und Lincolnshire. Im mittleren und südwestlichen Deutschland tritt er

über 300 *m* mächtig auf, und zwar im schwäbischen und fränkischen Jurakalkstein, Kalkmergel und Dolomit. Der Kalkstein ist theils dicht, theils wenig kristallinisch, theils reiner kohlen-saurer Kalk, theils von Kieselsäure und organischen Stoffen durchsetzt. Ist er von Bitumen frei, so zeigt er weiße, gelblichgraue bis rötlichweiße Farbe, ist oft bunt geädert, geschichtet oder ungeschichtet. Ist er plattensförmig geschichtet, gleichmäßig dicht, gelblichweiß gefärbt, so geht er in Plattenkalkstein (lithographischen Stein) über. Der jurasische Plattenkalk zwischen Eichstädt und Rappenheim in den Steinbrüchen von Solenhofen ist äußerst dicht und gleichmäßig und liefert das Material zu den lithographischen Steinen. Weniger feine Platten benützt man zu Tisch- und Fußbodenplatten, auch zum Dachdecken, obwohl sie wenig wetterbeständig sind. Der Dolomit zeigt sich zerrissen und zerklüftet und wird von Höhlen durchzogen (fränkischer Jura, Muggendorfer Tropfsteinhöhle).

In Deutschland ist der weiße Jurakalk am verbreitetsten, und zwar in den nördlichen Kalkalpen in Bayern (Kalkstein von Berchtesgaden, von Ammergau), im schwäbischen Jura vom Rheintale bis zum Tale der Altmühl und des Main, in den die Triasgebilde des Deisters, Süntels und Teutoburger Waldes umgürtenden Hügeln. Der Jurakalk aller genannten Gegenden Deutschlands wird ebenso ausgedehnt als Baustein wie zum Kalkbrennen benützt. Er ist in Form von größeren Quadern und Säulen herstellbar und wird zu Monumentalbauten (München), zu Monumenten, Werken der Skulptur, zu Treppenstufen usw. benützt. Trotz der Unannehmlichkeit, daß auf ihm Flechten und Moose vegetieren und ihm eine dunkle bis schwärzliche Färbung geben, zeigt er eine ziemlich lange Dauer.

In der Schweiz lagert er mächtig entwickelt im Jura-gebirge, bis Mittelfrankreich.

Der braune Jurakalk tritt auf in den bayerischen Alpen im Kalkstein von Bils bei Füßen und Haselberg und Westernberg bei Rupolding, in den österreichischen im Kalkstein vom Gunstberge und von der Klausalpe bei Hallstadt;

in Deutschland schließt er den ganzen westlichen Rand der rauhen Alp ein. Der rote Jurakalk von Haselberg wird als sogenannter roter Marmor benützt. Die Marmore von Tegernsee, von welchen es — nach G ü m b e l — unsicher, ob sie jurassisch seien, zeigen rötliche und weißliche Farben und große Politurfähigkeit und werden in ausgedehnter Weise abgebaut, in großen Blöcken gebrochen und benützt.

6. Kreide.

Unter den Kalksteinen dieser Formation sind zu unterscheiden die eigentlichen Kreidekalksteine und die Kreide.

Die Kreidekalksteine bestehen aus einer dichten, festener kristallinischen, weiß, gelblich, grau, rot bis schwarz gefärbten Masse oder vorherrschend aus mikroskopischen Organismenresten, gebildet aus äußerst feinen Kalkscheibchen (Coccolithen) und zahlreichen Foraminiferen. Der Korallenkalkstein ist ein durch kalkiges Bindemittel verkitteter, aus Korallenresten bestehender Kalkstein.

Die Kreide hat man unterschieden in weiße Kreide, Korallenkreide und Tuffkreide.

Die weiße Schreibkreide — in ihren Eigenschaften bekannt — tritt großartig auf an der 130 m hohen, fast vertikal abfallenden Stubbenkammer auf Rügen. Die Korallenkreide besteht aus kleinen Korallentrümmern, die durch Kreidemasse verkittet sind; sie ist mürbe bis erdig und wird in Jütland, Fünen, Seeland, Rügen gefunden.

Die Tuffkreide ist ein gelblicher, weicher, schneidbarer Kalk, der aus zerkleinerten Überresten verschiedener Kreidetiere besteht und im Petersberge bei Mastricht in einer 30 m großen Mächtigkeit auftritt.

In der Kreide treten auf die Flint- oder Feuersteinknollen, die aus amorpher Kieselsäure, aus verkieselten Organismenresten bestehen.

Unter den Kreidegebieten sind zu nennen:

1. Das norddeutsche Kreidegebiet, welches sich von beiden Seiten der Weichsel in Oberschlesien, Polen über die Oder, Elbe, Weser, Rhein-Ems bis zur Maas erstreckt,

wahrscheinlich unterirdisch zusammenhängt und nur an einzelnen Stellen durch die Tertiär- und Diluvialgebilde inselartig hervortritt.

2. Das süddeutsch-schweizerische Kreidegebiet vom Genfersee bis Wien reichend, die Juragebiete umsäumend, hie und da inselförmig zutage kommend.

3. Das nordfranzösisch-englische Kreidegebiet, ausgezeichnet durch seine großen Lager von Schreibkreide, durchzieht Nordfrankreich, setzt durch den Kanal von Calais nach Südengland und kommt ebenso nordöstlich an den Westküsten Belgiens und Hollands wieder zum Vorschein. Das südwestlich französische Kreidegebiet in der Gegend der Garonne.

Die Benützung der kreideartigen Bildungen ist eine sehr ausgedehnte, und zwar als Schreibkreide, Schlammkreide, zum Brennen für Mörtelbereitung, als Putz- und Poliermittel, als Zusatz zu Kitten, als Verdickungsmittel von Farbstoffen, dichtere Sorten als Bausteine usw.

7. Tertiärkalk.

Da in der Tertiärzeit bereits beträchtliche Ländergebiete der Gegenwart über den Meeresspiegel sich erhoben hatten, z. B. diejenigen von England in Verbindung mit Frankreich und Deutschland, so mußten durch Zurückweichen des Meeres innerhalb dieser Länderkomplexe zahlreiche Wasserbecken an den tiefgelegenen Stellen, somit Binnenseen zurückbleiben. Solche Binnenmeere, welche von Strömen durchflossen wurden, waren dasjenige von Südengland, was gegenwärtig das Themse- oder Londonbecken darstellt, das Becken der Loire und Seine, das gegenwärtige Pariser Becken, eine Reihe kleiner Becken am Mittelrhein und Main wie das Mainzer Becken, das Becken bei Bonn; an der Donau das Wiener Becken. In diesen Becken wurden aus den Binnenseen zahlreiche Sedimente abgelagert, unter welchen auch Kalksteine, die sich bald fein-, bald grobkörnig und dicht, bald porös, erdig, sandig usw. darstellen. Am wichtigsten sind die verschieden gefärbten Mumm-

litenkalksteine, die am Nordrande der Alpen bei Sonthofen in Bayern und an der Sentisgruppe hervortreten; der Grobkalk, ein gelblichweißer, bald fester, bald zerreiblicher Kalkstein, häufig von Quarzkörnern durchsetzt, der im Seinebecken mächtige Ablagerungen bildet; der grauweiße, schichtige Litorinellenkalk des Mainzer Tertiärbeckens; endlich der Leithakalk oder Nulliporenkalk des Wiener Beckens.

Wegen seines Quarzgehaltes wird der Grobkalk auch Kieselkalkstein genannt und gewinnt nicht selten ein sandiges Aussehen, wechselt auch in seiner Härte ungemein. Er bildet in seinen harten Varietäten ein vorzügliches Baumaterial, was namentlich in Paris und Umgebung in ausgedehntester Weise zur Anwendung kommt. Die Pariser Steinbrüche des Grobkalkes haben eine sehr große Ausdehnung, namentlich unter dem Stadtteil im Süden der Seine, gewonnen, und bilden die Katakomben. Die Pariser Arbeiter bezeichnen die Steine nach ihrem Aussehen und Korn verschieden: Pierre de Liais nennen sie den feinen, erdigen Bruch zeigenden; Cliquant den lockeren, mit lebhafterer Färbung; Blanc franc, wenn er Muscheln enthält; Pierre de roche, feinkörnig und sehr fest; Lambairde endlich, wenn er weich ist.

Die bei Sonthofen und bei Enzenau am Grünten auftretenden Kieselkalksteine heißen auch Enzenauer Marmor und führen Einnengungen von Hornsteinen; auch im Trauntale und unfern Reichenhall finden sie sich und werden in Süd-Bayern, namentlich in München als Baustein, zu Grabmonumenten, Tisch- und Ofenplatten, sowie zu allerhand anderen Waren verarbeitet.

8. Quartärkalk.

Der gelöste doppeltkohlensaure Kalk in den Landgewässern der Diluvialzeit gab mit Verdunstung eines Teiles Kohlensäure Veranlassung zu den Ablagerungen, welche man im allgemeinen als Süßwasser-Kalk bezeichnet. Sie finden sich in den Buchten und Becken ehemaliger

Diluvialseen und Flüssen, wie in den Schluchten von Kalkgebirgen; viele von den begonnenen Ablagerungen setzten sich in der Alluvialperiode fort. Die Süßwasserkalke sind entweder erdig-körnig, manchmal fast dicht oder mürbe und dokumentieren sich in ihrem Gefüge als abgesetzter Kalkschlamm. Andere bestehen aus lauter kristallinischen, zuckerartig verwachsenen Kalkspatkörnern, welche andere auch organische Körper inkrustierten und nach Zersetzung der letzteren in eigentümlichen Formen zurückbleiben. Offenbar entstanden sie, indem Lösungen des kohlen-sauren Kalkes, als sie auf andere Körper flossen, einen Teil ihrer Kohlen-säure verloren, wobei sich dann der einfach kohlen-saure Kalk abschied und so jene Kalkstoffablagerungen bildete, wie man sie in Thüringen bei Mühlhausen, Langensalza und Weimar antrifft.

Noch gegenwärtig werden mehr oder weniger beträchtliche Kalkablagerungen gebildet, und zwar durch die Wirkung des Wassers. Bekanntlich enthält jedes Quellwasser mehr oder minder Kohlen-säure aufgelöst. Dringt dasselbe durch Erdschichten, welche kalkhaltig sind, so wirkt es, indem es den an sich unlöslichen kohlen-sauren Kalk durch Abgabe seiner Kohlen-säure in löslichen doppelkohlensaurer Kalk überführt, lösend auf diesen und führt ihn mit sich fort. Tritt solches Quellwasser nun an die Atmosphäre, so verdunstet es teilweise und mit ihm auch der Überschuß an Kohlen-säure, wovon die Folge ist, daß sich nun wiederum einfach kohlen-saurer Kalk abscheidet. Dies wird um so mehr und schneller erfolgen, wenn das Quellwasser in vielen kleinen Ueberchen an die Oberfläche tritt. Hat es dabei, wie z. B. in Höhlen, Gelegenheit, Tropfenform anzunehmen, so wird sich aus jedem herabfallenden Tropfen ein Kalkhäutchen abscheiden und das Resultat die Bildung jener eigentümlichen Gesteinsgestalten sein, die wir in Höhlen als sogenannte Tropfsteine zu bewundern Gelegenheit haben (Kübeland am Harz, Adelsberg in Krain). Auf gleiche Weise sind auch die in manchen Gegenden bedeutenden Ablagerungen der sogenannten Kalktuffe entstanden.

wie z. B. diejenigen bei Meissen, Jena, Göttingen, im Thüringerwalde, im Neckartale 2c. Sehr auffällige Beispiele der letzten Art sind die sogenannten Travertine Italiens, welche im Elsathe, bei Tivoli 2c. nicht unbedeutende Hügel bilden und in den Bädern von San Filippo so schnell entstehen, daß in einem Sumpfe im Laufe von 20 Jahren eine 10 m hohe Travertinmasse hervortrat. Dieser poröse trockene Kalktuff wurde bereits von den alten Römern als Lapis Tiburtinus, Stein von Tivoli, vielfach zu Bauten angewendet. Die Erbsen- und Kogensteinen (Dolithe), welche man früher für versteinerten Fischrogen hielt, sind auf ganz gleiche Weise entstanden. Kalkhaltiges Quellwasser hatte Gelegenheit, Sandkörner zu bespülen und lagerte um dieselben den Kalk in zwiebelartigen Schichten ab, so daß erbsenförmige Kügelchen gebildet wurden.

C. Mergel.*)

Hat der Kalk Gelegenheit gehabt, sich mit Ton zu vermischen, so entstehen, wenn der Tongehalt zu 20% und darüber steigt, Gemische, die man Kalkmergel oder schlechtweg Mergel nennt. Aus ihm läßt sich der Kalk nicht durch Schlämmen, sondern nur durch Säuren trennen. Der Mergel ist häufig verunreinigt durch kohlensaure Magnesia und heißt dann dolomitischer, oder mit Eisen- oder Manganoxydhydrat, welche ihn gelb bis braun färben — eisenchüssiger Mergel, oder durch kohlige oder bituminöse Substanzen — bituminöser Mergel, Stinkmergel, oder endlich durch Sand — Sandmergel.

Mit Senft**) teilen wir sie ein in:

1. Mergelkalk, Gemenge von kohlensaurem Kalk mit höchstens 20% Ton, tritt in allen Kalksteinformationen auf, am meisten im Muschel- und Jurakalk.

*) Ausführlicher kommen wir an anderer Stelle auf diese Gebilde zurück.

**) Synopsis III, S. 852.

2. Mergel, inniges, gleichartiges Gemisch von kohlen- saurem Kalk mit 20—80% Ton; vielfach wechselnde Mengen kohlen-saurer Magnesia, kohlen-saures Eisen- oder Manganoxydul, Sand oder Bitumen führend und hiernach sehr verschieden gefärbt. Man unterscheidet:

- a) Kalkmergel mit 20—25% Ton, braust mit Säuren stark auf und hinterläßt den Ton als Rückstand.
- b) Tonmergel mit 25—80% Ton, braust mit Säuren wenig auf, hinterläßt großen Rückstand, ist verschieden gefärbt, meist durch Eisenverbindungen.
- c) Dolomitischer Mergel mit 5—30% kohlen-saurer Magnesia, braust langsam und schwach mit Säuren.
- d) Sandmergel mit verschiedenen Mengen gröberem und feinerem Sand gemischt.
- e) Bituminöser Mergel (Mergelschiefer) mit organi- schen Stoffen durchsetzt, manchmal schiefrig spaltender Mergel (Lias, Zechstein).

Die Anwendung des kohlen-sauren Kalkes in seinen verschiedenen Modifikationen, nicht minder des daraus dar- gestellten Kalkhydrates und anderer Verbindungen ist eine derartig ausgedehnte, wie bei wenig anderen Stoffen.

Während der Doppelspat, wie bereits erwähnt, für optische Apparate dient, bietet der weiße Marmor das vor- trefflichste Material für Bildhauer, der farbige für archi- tektonische Verzierungen, Tischplatten, Säulen, Vertäfelungen, Platten, Denksteine usw. Der dichte Kalkstein findet nicht nur als Baustein in verschiedenen Gegenden ausgedehnte Anwendung, sondern dient auch als Zuschlag (Fluß) bei einer Reihe Schmelzprozessen zum Ausbringen der Metalle (z. B. des Eisens) aus ihren Erzen, zur Glas- und Soda- Fabrikation, zur Darstellung des gebrannten Kalkes, dessen Benützung zu Mörtel und Anstrich in der Bautechnik, zu künstlichen Steinen, Ritten, in der Landwirtschaft zur Dün- gung tonreicher Äcker, zur Zucker-Fabrikation, Seifensiederei, Färberei, Weißgerberei, zur Fabrikation des Chlorkalkes, zur Neutralisation von Säuren bei chemischen Prozessen zc. eine ungemein umfangreiche ist.

Die hellfarbigen dichten und schieferigen Kalksteine liefern die lithographischen Steine, die Kreide dient in ausgedehnter Weise als Schreibmaterial und im geschlämmten Zustande für Ritze und als Versatz für Farbesubstanzen.

Von den mannigfachen Verwendungen des kohlenjäuren Kalkes interessieren uns hier nur diejenigen, die er nach dem Brennen als gebrannter Kalk zur **Fabrikation des Luftmörtels und mörtelartiger Substanzen** findet, und wir werden daher die Operationen, Prozesse und Apparate, welche hierbei von Bedeutung sind, des Näheren zu erläutern haben.

II.

Das Brennen des Kalkes.

Allgemeines über das Brennen und die dazu benützten Öfen.

Wird kohlenjäurer Kalk bei Luftzutritt zur Rot- und Weißglut erhitzt, so entläßt er seine Kohlenjäure und es bleibt die Kalckerde, der Kalk (CaO), oder gebrannter Kalk zurück. Die Operation des Glühens im großen Maßstabe in den Kalköfen heißt das Kalkbrennen; jeder Kalkstein vom Marmor bis zum Kalkmergel kann auf diese Weise in gebrannten Kalk übergeführt werden. Da die Kohlenjäure auf der Oberfläche, wo die genügende Hitze vorhanden ist, zuerst entweicht und die Entweichung sich erst mit dem Fortschreiten der Temperatur nach dem Innern hin sukzessive fortpflanzt, so wird die Kohlenjäure unter sonst gleichen Verhältnissen am schnellsten aus kleinen Kalkstückchen auszutreiben sein. Das Entweichen der Kohlenjäure wird bei Vorhandensein der nötigen Hitze sehr befördert durch die Gegenwart von Wasserdampf und von Gasen, in denen sie diffundieren kann; ist der Zug beim

Brennen geringer, so entweicht sie langsamer; in einer Atmosphäre von Kohlensäure und unter hohem Druck kann man kohlen-sauren Kalk schmelzen, ohne daß er die Kohlen-säure verliert.

Daher wendet man die Kalksteine zum Brennen vor-teilhaft »grubenfeucht« an, damit das Entweichen des Wasser-dampfes die Entkohlen-säuerung unterstütze, oder stellt in die Aschen-fälle der Brenn-öfen Wasser, damit dieses durch hineinfallende glühende Asche sich verflüchtige und der Dampf in den Ofen ziehe.

Im reinen kohlen-sauren Kalk sind 43·7 Teile Kohlen-säure und 56·3 Teile Kalk enthalten. Nach Favre und Silbermann erfordert 1 kg reiner kohlen-saurer Kalk zur Zer-setzung, also zur Austreibung aller Kohlen-säure und Zurück-laffung von Kalk, 373·5 Kalorien (Wärmeeinheiten). Wird in den Kalk-öfen nun alles Brennmaterial, als welches hier reiner Kohlenstoff angenommen wird, vollständig in Kohlen-säure verwandelt, so entwickelt es per Kilogramm 8080 Kalorien. Behufs Zer-setzung von 100 kg kohlen-saurem Kalk braucht man also theoretisch in die Kalk-öfen nicht mehr als $\frac{37350}{8080} = 4·6$ kg Kohlenstoff zu verbrennen.

Wird dagegen der Kohlenstoff nur in Kohlenoxyd verwandelt (was in den Hoch-öfen der Fall ist), so entwickelt er per Kilogramm nur 2473 Kalorien; es sind also zur Zer-setzung von 100 kg kohlen-saurem Kalk jetzt erforderlich $\frac{37350}{2473} = 15·1$ kg Kohlenstoff, mithin zirka die dreifache Menge.

In beiden Fällen ist noch die Wärme in Betracht zu ziehen, welche mit den Verbrennungs-gasen entweicht. Nimmt man an, daß die Gase mit einer Temperatur von 300° C entweichen — im Ringofen ist sie allerdings bedeutend geringer — so werden die in 100 kg kohlen-sauren Kalk enthaltenen 44 kg Kohlen-säure, dann $390 \cdot 44 \cdot 0·22$ (spez. Wärme der Kohlen-säure) = 2904 Kalorien mit sich fort-nehmen und zur Erzeugung dieser Wärmemenge werden

erforderlich sein im Kalkofen $\frac{2904}{8080} = 0.36 \text{ kg}$ Kohlenstoff.

— Daraus geht hervor, daß die Zersetzung von 100 *kg* kohlensaurem Kalk im Kalkofen erfordert

$$4.6 \text{ kg} + 0.36 \text{ kg} = 4.96 \text{ kg} \text{ Kohlenstoff.}$$

Im Hochofen bei der Verbrennung zu Kohlenoxyd werden mehr erforderlich sein $\frac{2904}{2473} = 1.17 \text{ kg}$ Kohlen-

stoff, um die mit dem Kohlenoxyd entweichende Wärme zu decken. Hier sind also zum Brennen von 100 *kg* Kalk notwendig $15.1 \text{ kg} + 1.17 \text{ kg} = 16.27 \text{ kg}$ Kohlenstoff.

Wie verschieden sich die verbrauchte Brennstoffmenge beim Kalkbrennen in den verschiedenen Brennapparaten bei unvollkommener und vollkommener oder nahezu vollkommener Verbrennung gestalten muß, geht schon hieraus hervor. Bedenkt man nun, daß die angewandten Brennstoffe — Holz, Torf, Braunkohle, Steinkohle — eine sehr verschiedene Zusammensetzung, namentlich sehr verschiedenen Wassergehalt und Gehalt an Mineralstoffen haben; bedenkt man weiter, wie verschieden das zur Verbrennung notwendige Luftquantum bei den verschiedenen Feuerungsanlagen sein muß; erwägt man endlich, daß der zum Brennen gelangende Kalk in bezug auf Wassergehalt und chemische Zusammensetzung, nicht minder in bezug auf seine physikalischen Eigenschaften ungemein wechselt, so wird man begreifen, wie verschieden in der Praxis die zum Kalkbrennen erforderliche Brennstoffmenge sein muß, und daß es hier, wie bei allen anderen gewerblichen Feuerungsanlagen, darauf ankommen muß, Apparate zu ersinnen, bei denen Erzeugung der überhaupt möglichen Wärmemengen durch Verbrennung eines Brennstoffes und größtmögliche Ausnützung derselben für den vorliegenden Zweck vorauszusehen ist.*) Man begreift hiernach, daß die in den älteren Kalköfen benützten Feuerungseinrichtungen höchst unvoll-

*) Vgl. hierüber: Zwick, Natur der Ziegelsteine, 2. Aufl., S. 420 und 460 u. f.

kommener Natur sind und für die Pyrotechniker hier nicht minder wie auf anderen Gebieten eine große Aufgabe zu lösen ist. In welcher Weise man an die Lösung ging, wird aus den unten besprochenen verschiedenen Kalkofenkonstruktionen der Neuzeit klar werden.

Die Kalksteine enthalten neben anderen Verbindungen nicht selten verschiedene Wassermengen, was bei Erhitzung derselben unter Zutritt der Luft zuerst entweicht; mit ihm verflüchtigt sich bei höherer Temperatur bis zu Rotglut ein Teil Kohlenäure. Zur Austreibung aller Kohlenäure ist jedoch Weißglut und ein kräftiger Zug erforderlich. Nimmt die Hitze zu schnell zu, so daß die Erdfeuchtigkeit der Steine nicht nach und nach aus dem Innern verdampfen kann, so erfolgt mit plötzlicher Verdampfung ein Zersprengen der Steine.

Reiner kohlen-saurer Kalk verträgt hohe Hitzegrade, ohne durch das Brennen zu schmelzen; er verliert dabei nur seine Kohlenäure, er wird gar gebrannt, und liefert nachher mit Wasser angemacht einen fetten Kalkbrei. Die meisten Kalksteine sind, wie gesagt, mit anderen Stoffen, wie Ton, Bittererde, Kieselsäure, Eisen zc. verunreinigt; wird bei diesen die Brandtemperatur zu stark gesteigert, so entweicht nicht allein die Kohlenäure, sondern es werden, indem der freiwerdende Kalk an die Kieselsäure tritt und kieselsauren Kalk bildet, oder zersetzend auf die kieselsaure Tonerde wirkt und die Bildung eines Doppelsilikates von kieselsaurer Tonerde und Kalk veranlaßt, Silikate gebildet, welche schmelzen und sich später nicht mehr mit Wasser löschen lassen. Solcher Kalk ist totgebrannt.

War die Hitze beim Brande nicht groß genug, der Zug ein zu geringer, so verliert der Kalk nicht alle Kohlenäure, er ist ungar und löscht sich mit Wasser ebenfalls nicht mehr.

Trotzdem der Gewichtsverlust der Kalksteine durch das Brennen über 40% beträgt, wird das Volumen doch nur wenig vermindert. Der gebrannte Kalk ist zwar porös, aber doch ohne Zerbröckelung transportabel.

Der aus reinem weißen Marmor gebrannte Kalk ist rein weiß; da die gewöhnlichen Kalksteine jedoch immer etwas Ton, Magnesia, Eisenoxyd u. enthalten oder diese Stoffe von dem Brennmaterial aufnehmen, sind sie nach dem Brennen gewöhnlich grauweiß, gelbweiß oder gelbgrau gefärbt. In bezug auf die Größe der Stücke der zum Brande kommenden Kalksteine unterscheidet man bei der Kalkbrennerei den Steinkalk, wie er in Bruchsteingröße aus den Steinbrüchen kommt, den Leisekalk, der an Flußniederungen gelesen wird, den Mergelkalk, der erdig und für den Brand zu Ziegeln gestrichen werden muß, und den Muschelkalk, dessen muschelartige Knollen und Stücke am Meeresstrande auftreten.

Da der gebrannte Kalk eine sehr ausgedehnte Anwendung findet, so wird er in großem Maßstabe aus den oben besprochenen Kalksteinen in den Kalköfen gebrannt und es wird zunächst darauf ankommen, die verschiedenen Brennsysteme sowie die Gesichtspunkte, welche dabei in Betracht kommen, eingehender zu betrachten.

Ursprünglich geschah das Brennen des Kalkes in Gruben oder Meilern, und dieses wird auch jetzt noch vereinzelt in denjenigen wenigen Gegenden ausgeführt, wo der Brennstoff im Überflusse vorhanden, der Kalkbedarf ein vorübergehender ist. In einem in eine Erddachung gemachten viereckigen Einschnitt von zirka 1.5 m Länge und Breite und 2.5—3 m Tiefe, dessen Wandungen mit Lehm oder mit feuerfesten Ziegeln ausgekleidet sind, werden die Kalksteine so bis oben aufgesetzt, daß unten für die Feuerung ein Gewölbe entsteht. Eine Holzfeuerung in diesem erzeugt die zum Brennen nötige Hitze. Ähnliche Meiler sind z. B. noch gegenwärtig im bayerischen Oberlande und in Tirol, auch in Belgien, namentlich aber in einigen waldreichen Gegenden Böhmens, Ungarns, Rußlands, Schottlands in Anwendung.

Der Meiler- und Grubenbrand ist für die Gegenden des Verkehrs und des Gewerbebetriebes heutigen Tages ein überwundener Standpunkt. Bei den hohen Gesteigungs-

preisen und geringer Produktion, bei den höheren Anforderungen, welche der Konsument heutigen Tages an das Produkt stellt, kann sich dieser Betrieb nicht mehr rentieren. Das Doppelbestreben: Ersparung von Brennstoff und Verwendung auch geringerer Brennstoffe einerseits, massenhafte, schnelle und billige Erzeugung eines gebrannten Kalkes hoher Qualität andererseits, fand, wenn das Rohmaterial ein gegebenes — wie es ja bei Ausnützung gebotener Kalklager nicht anders sein kann — seinen Ausdruck in der Vervollkommnung seither gebräuchlicher und Auffindung möglichst rationeller Konstruktionen von Kalkbrennöfen. Eine große Zahl von Ofenkonstruktionen sind diesen Bestrebungen entsprungen und jede Zeitperiode liefert neue. Die kleinen Kalkbrennereien, nur für ihre nächste Umgebung konkurrenzfähig, ebenso diejenigen, welche den Kalk nur nebenher produzieren, verringern sich. Der früher sporadisch über das Land verstreute Betrieb konzentriert sich an Orten, die ein gutes Rohmaterial und den geeigneten Brennstoff zur Verfügung stellen, dabei eine billige und sichere Verfrachtung und regelmäßigen Absatz versprechen. Der Betrieb gestaltet sich zum Großbetriebe, und da dieser über größere Anlage- und Betriebskapitalien verfügt, so kann er möglichst alle von der Technik gebotenen Vorteile aufnehmen, rationell und massenhaft produzieren und sein Produkt selbst auf größere Entfernungen noch konkurrenzfähig erhalten.

Sieht man von den liegenden Brennösen ab, die man zum Ziegel- und gelegentlich auch zum Kalkbrande benützt, wie z. B. von dem sogenannten Kasseler Flammziegelofen*), so hat es der gegenwärtige fabrikatorische Kalkwerksbetrieb nur mit stehenden Kalköfen, Schachtofen von sehr verschiedener Gestalt und Dimension zu tun.

Man teilt dieselben in zwei große Gruppen ein:
 in Öfen zum unterbrochenen Betriebe oder periodische,
 » » » ununterbrochenen » » kontinuier-

*) Zwick, Jahrb. d. Baugew., 1871, S. 220.

liche, je nachdem das Brennen mit Unterbrechungen — die zum Entfernen des gebrannten Kalkes und zu neuer Beschickung dienen — oder fortwährend, ununterbrochen erfolgt, derart, daß gebrannter Kalk in gewissen Zeiträumen gezogen und gleichzeitig frischer Kalk zur Sicht eingegeben wird.

In beiden Öfen kann das Brennen entweder dadurch bewerkstelligt werden, daß man den Kalkstein der Einwirkung einer großen Flamme, die von einer außerhalb des Brennraumes liegenden Feuerstelle ausgeht, aussetzt, wobei also Brennstoff und Kalk einander gar nicht berühren, oder dadurch, daß man in den eigentlichen Brennraum des Ofens abwechselnd Schichten Kalkstein und Brennstoff gibt, welcher letzterer dann mit kleiner Flamme brennt, mehr glüht als flammt (z. B. geringe Kohlenarten, Koks etc.) und das Brennen durch die unmittelbar wirkende Glut des Brennmaterials bewerkstelligt wird.

Wählt man letzteres als Einteilungsgrund, so lassen sich die Öfen in solche mit großer und solche mit kleiner Flamme klassifizieren. Bei der Wahl des einen oder anderen dieser Ofensysteme gibt in erster Reihe das zu Gebote stehende Brennmaterial, dann aber auch die Beschaffenheit des geförderten Kalkes, ob derselbe in kompakten Stücken oder in kleineren Massen bricht, den Ausschlag.

Beide Ofenklassen haben ihre Vorteile und Nachteile.

Die Öfen mit kleiner Flamme produzieren, weil sie den Gebrauch auch geringerer Brennstoffe zulassen, billig, sie geben aber infolge der Berührung von Kalk und Brennstoff ein mit der Asche des letzteren vermengtes Produkt. Läßt sich dieser Nachteil auch umgehen durch eine Art Separation beim Ziehen, indem man nämlich die Sohle der Ausziehkanäle zu Kosten gestaltet, durch deren Öffnungen dann die Asche beim Kalkziehen durchfällt, so daß zwei Produkte erhalten werden, Kalkstücke und Kalkasche, so bleiben doch immer zwei Nachteile, daß erstens durch übermäßige Hitze — der Brand läßt sich schlecht regulieren

— eine Art Verchlackung, ein Zusammenschmelzen von Asche und Kalkstücken, ein totgebrannter geringwertiger Kalk entstehen kann, daß zweitens die Kalkasche schlecht bezahlt, auch weniger begehrt wird.

Die Öfen mit großer Flamme produzieren allerdings etwas teurer als jene, aber sie gestatten eine sorgfältige Regulierung der Flamme infolgedessen einen gleichmäßigeren Brand; das Produkt ist gleichmäßig, von hoher Dualität, findet willige Abnehmer und erzielt höhere Preise. Außerdem kann man bei diesen Öfen den Kalkstein in größeren Stücken anwenden und gleichmäßig durchbrennen, wodurch alle Aufbereitungskosten des geförderten Kalksteines wegfallen. Dies ist um so höher anzuschlagen, da ein in größeren Stücken gebrannter Kalk länger aufbewahrt werden kann, ohne von den Einflüssen der Luft zu leiden und ferner ein Volumen größerer Kalkstücke beim Löschen ein größeres Volumen Kalkmehl gibt, als ein gleiches Volumen kleinerer Kalkstücke.

Unter Berücksichtigung der oben angedeuteten Gesichtspunkte lassen sich also die gegenwärtig in Gebrauch stehenden Kalköfen gruppieren in zwei Hauptarten:

1. Öfen zu periodischem Betrieb mit großer Flamme.
2. Öfen zu kontinuierlichem Betrieb mit kleiner Flamme.
3. Kalköfen zu kontinuierlichem Betrieb mit großer Flamme, woran sich naturgemäß reihen:
4. Der Kaltringofen,
5. Der Gaskalkofen.

Alle diese Ofensysteme sind gegenwärtig in den verschiedensten Konstruktions- und Betriebsformen im Gebrauch, was teils in örtlicher Gewohnheit, teils im Rohmaterial, teils und hauptsächlich in dem zur Verfügung stehenden Brennstoff seinen Grund hat. Ehe wir auf die Öfen eines Näheren eingehen, sei bemerkt, daß zum Bau für Kalköfen ein gutes, womöglich feuerfestes Material dienen muß, namentlich gilt dies für die Ofenteile, welche starker Hitze ausgesetzt sind, also die Feuerstelle, die Schür- und Ausziehlöcher, den inneren, eigentlichen Brennraum. Für diese

Teile werden daher feuerfeste Steine zu verwenden sein, während für die Bekleidung gewöhnliche Hau- oder Backsteine genügen. Da der innere Schachtraum durch die Wärme bedeutend ausgedehnt wird, so muß zwischen ihm und der Rauhmauer ein Raum ausgespart werden, welcher mit die Wärme schlecht leitenden Körpern (Asche, Bruchsteinen u.) ausgefüllt, dem Kernschacht diese Ausdehnung gestattet, auch die Wärme möglichst zusammenhält.

Die Dicke der Mauern wird sich außerdem nach der Größe der Öfen richten müssen. Im Durchschnitte beträgt sie 1.25—1.88 m. Die Mauern müssen äußerlich wohl verankert werden, besonders dann, wenn der Querschnitt des Ofens ein kreisförmiger ist. Falls man Kofstfeuerungen anwendet, ist es vorteilhaft, den Kofst nach dem Innern des Ofens eine geringe Neigung zu geben — auf das laufende Meter zirka 4.6 cm — weil hierdurch das Schüren erleichtert wird. Für die Anlage der Feuerung gelten die Grundsätze, welche bei Feuerungen überhaupt maßgebend sind, deren Ziel: möglichst vollständige Ausnützung des angewandten Brennstoffes für vorliegenden Zweck.

Die Höhe des Kalkofens ist keine beliebige. Ganz abgesehen davon, daß der Betrieb sehr großer gewöhnlicher Öfen schwerfällig und schwierig zu überwachen ist, so wird durch übermäßige Höhe infolge Reibung der Gase der Zug und besonders auch das Entweichen der Feuergase vermindert.

Was die Lage des Kalkofens betrifft, so sind hier örtliche Verhältnisse entscheidend. Besonders kommt es darauf an, alle Transportkosten von Kalkstein, gebranntem Kalk und Brennstoff zu vermeiden, oder doch möglichst zu verringern — es empfiehlt sich von vornherein, die Anlage an einen schiffbaren Fluß oder Bahngleise zu verlegen — und alle ökonomischen Verhältnisse bei Anlage in reifliche Erwägung zu ziehen.

1. Kalköfen zu periodischem Betriebe mit großer Flamme. *)

Diese Öfen, auch Harzer Öfen genannt, sind meist für Steinkohlenfeuerung eingerichtet, und in diesem Falle mit einem oder mehreren Koste versehen, seltener für Holzkohlenfeuerung und ohne Kost. Ihre Form ist sehr verschieden, rund, eiförmig, kegelförmig, trichterförmig u. In der Vorderwand des Ofens ist eine Einkarrtür angebracht, die $\frac{2}{3}$ —1 m über der Ofensohle liegt; größere Öfen haben am Umkreise mehrere derartige Türen, doch so, daß dieselben in verschiedenen Höhen liegen, um auch die oberen Teile derselben besser zu erreichen.

Sehr zweckmäßig legt man diese Öfen an einem Bergabhänge in unmittelbarer Nähe des Kalkbruches an, um die Kalksteine mittels Karren an die Gicht transportieren und einschütten zu können und dadurch Hebewerke zu ersparen. Stehen die Öfen frei, so gibt man ihnen oben wohl eine kuppelartige Überwölbung, mit mehreren Löchern im Umkreise, um durch diese den Kalk einzuschütten und den Gang des Ofens zu beachten, auch den Zug zu regulieren. Das letztere wird häufig noch besser erreicht durch Aufsetzung einer Gasse. Welche Form man den Öfen auch geben mag, immer muß man Ecken so viel als möglich vermeiden, weil sie eben nur verlorene Räume darstellen.

Bei Steinkohlenfeuerung wendet man Koste an, deren Zahl, ebenso diejenige der entsprechenden Feuertüren, sich nach der Größe der Öfen richtet. Man rechnet auf eine Sohlenbreite von 1.6 m einen durchgehenden Kost; bei 3.2 m zwei Koste, bei 4.8 m drei Koste. Über diesen Koste müssen beim Einsetzen aus größeren Kalksteinen Schür-gassen von zirka $\frac{2}{3}$ m Höhe und $\frac{1}{2}$ m Breite ausgespart werden, auch muß man beim Beschießen darauf achten, daß keine Versackung der Kalksteine stattfindet, daß sich die Wärme möglichst gleichmäßig nach allen Richtungen des

*) Zwick, Jahrbuch des Baugewerbes. 1871, S. 221.

Ofen zu verbreiten kann. Falls der Kalkofen in der Nähe von Städten oder in solchen angelegt wird, ist es angezeigt, ihn jedenfalls mit einem 10—13 m hohen Schornstein zu versehen, um den Rauch, der sonst die Umgebung molestieren würde, abzuführen.

Man rechnet für mittelgroße derartige Öfen an Holz zum Feuern das Ein- bis Zwei-, ja bei weichen Hölzern das Dreifache vom Volumen des gebrannten Kalkes; von Steinkohlen 1—1.5 Volumen auf 3 Volumen gebrannten Kalk.

Die Dauer des Brandes hängt ab sowohl von der Beschaffenheit des Brennmaterials als auch von derjenigen der Kalksteine. Im allgemeinen verlangt sie etwa 72 Stunden. Der Gang und das Ende des Brandes lassen sich aus der Beschaffenheit des entweichenden Rauches beurteilen. Zu Anfang ist derselbe schwarz und dick von den entweichenden Rußteilen und hält so zirka 8 Stunden an; nachher wird er heller und heller, bis er zuletzt nur noch wenig sichtbar bleibt. Das letztere tritt ein, wenn der Brand beendet ist. Der Ofen bleibt nun zirka 24 Stunden stehen, erkaltet und wird hierauf durch die Einkarrtüren seines Inhaltes entleert.

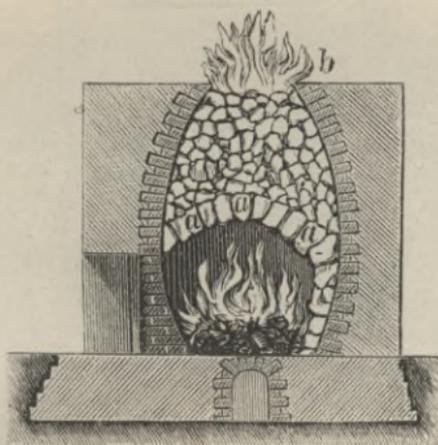
Es ist klar, daß die Einkarrtüren während des Brandes entsprechend verschlossen werden. Dieses geschieht am besten durch eine dünne Mauer, welche sich an die innere Ofenwand anschließt, dann durch eine ebensolche, gut mit Lehm verschmierte äußere Mauer, doch so, daß zwischen beiden ein Zwischenraum bleibt, den man mit Sand oder Asche ausfüllt, um das Ausstrahlen der Wärme möglichst zu vermeiden.

Die weitere Einrichtung und Bedienung dieser Kalköfen wird uns an einigen ausgezeichneten Beispielen klar werden.

Die einfachste Form eines noch vielfach angewandten, sich den Feldöfen in seiner ganzen Anlage nähernden Kalkofens zeigt uns Fig. 1 im Durchschnitt. Es ist ein Ofen ohne Kofst und für Holzfeuerung.

Der Ofen ist an einem Bergabhange angelegt, so daß er bequem von der Gicht aus beschickt werden kann, anderseits auch vor dem Winde mehr geschützt ist. Das Mauerwerk *b* besteht aus Bruch- oder Ziegelsteinen; die Höhe beträgt 4.9 m , der obere Durchmesser des Ofens 2 m , der untere bei dem Widerlager 2.5 m . Zum Aufbau eines solchen Ofens eignen sich auch Basaltstein, Quadersandstein, Grauwacke, unter *a* ist der Schürerraum, 1.2 m hoch und von größeren Kalksteinen gebildet.

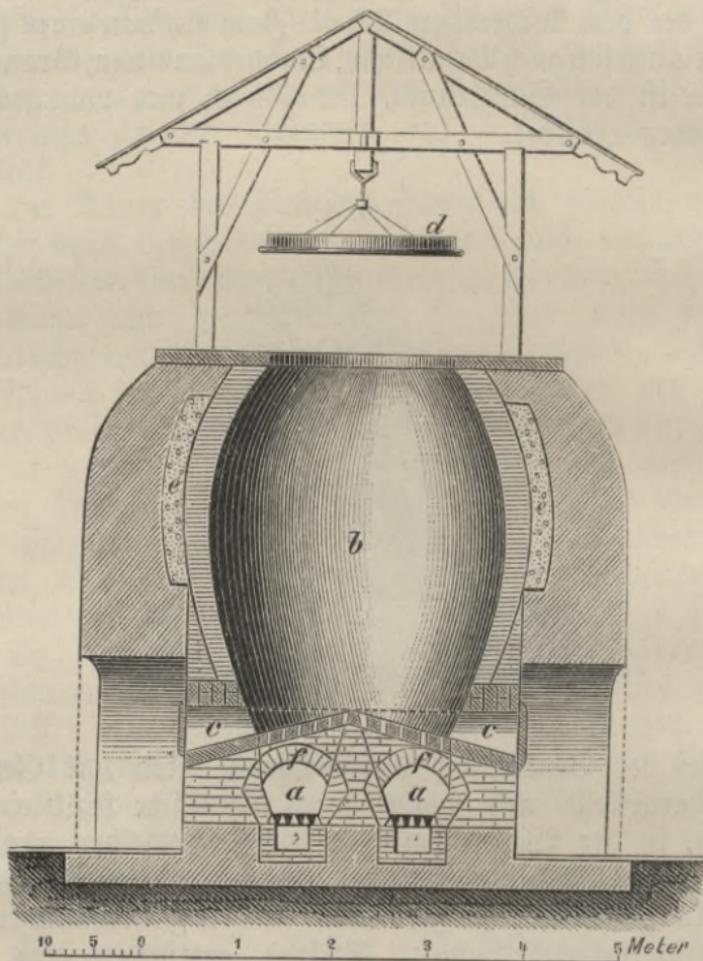
Fig. 1.



Bei der Beschickung dieses Ofens wird das Gewölbe zuerst hergestellt und dann durch die Gicht Kalkstein eingegeben, in der Weise, daß die Größe desselben abnimmt, je mehr die Füllung bis zur Gicht fortschreitet. Ist die Beschickung beendet, so gibt man in den Feuerraum leichtes Brennmaterial (Reisigholz, Späne), entzündet dies, gibt allmählich solides Holz hinzu und steigert die Hitze. Zuerst kondensiert sich an den Steinen der beim Verbrennen des Brennstoffes entstehende Wasserdampf, die Steine werden naß, die Verbrennung ist unvollständig, es scheidet sich Ruß an den Steinen ab und durch die Gicht entweicht ein dicker schwarzer Rauch. Mit der Steigerung der Hitze vermindert

sich der Rauch und erhält eine blaue Farbe, der an den Steinen hängende Ruß verbrennt, sie färben sich heller und gelangen allmählich zu lebhafter Rotglut. Jetzt entweicht

Fig. 2 a.

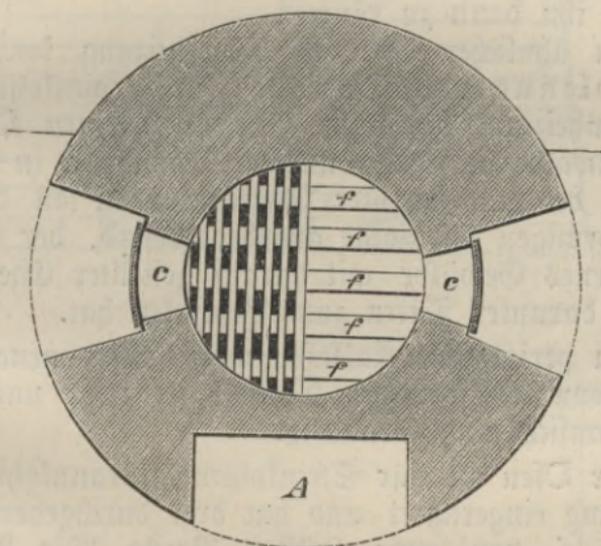


aus der Sicht eine Flamme ohne Rauch; die an der Decke befindlichen Steine sind weißglühend, wollig, locker, der Prozeß ist beendet, der Kalk gar gebrannt. Man unterbricht das Feuer und läßt den Ofen 12 Stunden erkalten, um dann den Kalk zu ziehen.

Ein Ofenbrand verlangt zirka 72 Stunden und inklusive des Beschickens und Kalkziehens etwa eine Woche, so daß mit Abrechnung der Wintermonate im Jahre etwa 30 bis 40 Brände ausgeführt werden können. Man rechnet auf 1 Volumen gebrannten Kalk 2—3 Volumen Buchenscheitholz.

Einen erheblichen Fortschritt in der Konstruktion weist der für Holzfeuerung von Fink angegebene periodische Kalk-

Fig. 2 b.



ofen auf, insofern derselbe durch Anlage eigener Feuerungen und eines aus Ziegelsteinen gebildeten Gewölbes über demselben das gewölbartige Aufschichten größerer Kalksteine umgeht und die gleichmäßige Verteilung der Hitze durch den ganzen Schachtraum ermöglicht. Der Finksche Ofen Fig. 2a, 2b (im Durchschnitt und Querschnitt), hat einen eisförmigen Schacht b mit kreisförmigem Querschnitt, dessen Gicht durch einen an Eisenketten aufziehbaren Deckel d verschließbar ist. Unten befinden sich die Feuerungen mit den Feuerkanälen a a, die zu einem Gewölbe aus Backsteinen führen, welches die Form eines Backsteinrostes hat. Dieser schräge Back-

steinrost gestattet das direkte Auflegen des Kalksteines durch die Gicht und ein Durchziehen der Flamme. Das Abziehen des Kalkes geschieht durch die Öffnungen c c, die Beschickung der Feuerung von A aus. Ist der Ofen durch die Gicht bis zu zwei Drittel seines Inhaltes mit Kalk gefüllt, so wird drei Tage und drei Nächte geheizt, dann das Feuer geschwächt und der Zug durch Herabsenken des Deckels auf die auf die Gicht gelegten Ziegelsteine vermindert. Hierauf wird das Feuer ganz gelöscht, der Deckel fest auf die Gicht aufgesetzt und der Ofen 3—4 Tage der Abkühlung überlassen, um ihn dann zu räumen.

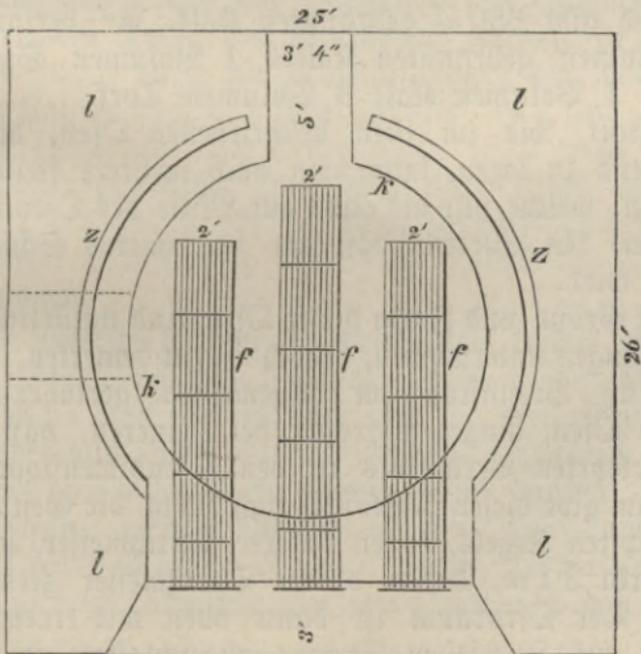
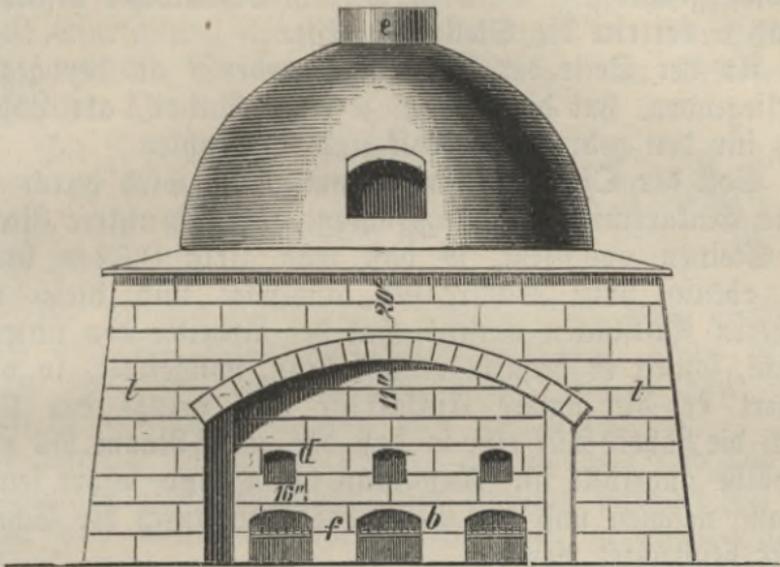
Einen ähnlichen Ofen für Torfheizung konstruieren auch Deplinne und Donop. Für Braunkohlen- und Steinkohlenheizung beschreibt Heeren*) einen Ofen, der in Fürstenwalde bei Berlin und bei Osnabrück in Gebrauch gekommen, bei welchem vier Kofstfeuerungen an der Seite der kreisförmigen Ofensohle angebracht sind, der oben ein durchbrochenes Gewölbe mit darauf gestellter Esse und an der Seite darunter Türen zum Beschicken hat.

Einen periodischen Kalkofen noch vollkommenerer Konstruktion von kreisförmigem Querschnitt zeigt uns Fig. 3 in Vorderansicht und Grundriß.

Dieser Ofen ist für Steinkohlen-, Braunkohlen- oder Torfheizung eingerichtet und hat drei durchgehende Kofstfeuerungen f, von etwa 0.62 m Breite. Die Kofststäbe, etwa 1.9 cm im Quadrat stark und aus starkem Walzeisen gefertigt, ruhen auf starken eisernen Querschienen, treten nach der Arbeitsseite etwas hervor und können bequem ausgewechselt werden; a ist der Mischenfall, b das Schürloch, d die Schürtüre. Die Ofen-Kernmauer k besteht aus Chamottesteinen und hat eine Stärke von zwei Steinen, die äußere l aus gewöhnlichem Mauerwerk; der Zwischenraum z ist mit Asche angefüllt, aus früher erläuterten Gründen. Der Ofen hat seitlich und in verschiedener Höhe

*) Mitteilungen des Gewerbe-Vereines zu Hannover. 1858, S. 317.

Fig. 3.



Einkarttüren, nach oben hin ist er durch ein Tonnen-
gewölbe geschlossen, in welchem sich Schaulöcher befinden;
Ansatz e vertritt die Stelle der Esse.

An der Seite der Feuerungen, ebenso an der gegen-
überliegenden, hat dieser Ofen je einen Anbau, als Lager-
platz für den gebrannten Kalk und die Kohlen.

Soll der Ofen in Gang kommen, so wird durch die
tieffste Einkarttüre Kalk eingefahren und der untere Raum
mit Steinen ausgefüllt, so daß man zirka 0.62 m breite
und ebenso hohe Schürgassen auspart und diese mit
größeren Kalkstücken umsetzt. Hat der Arbeiter den unteren
Raum, soweit er bequem reichen kann, vollgefüllt, so ver-
mauert er die untere Einkarttüre und bringt den Kalk
durch die höhere Tür ein, so daß der ganze Raum bis zum
Gewölbe angefüllt ist. Nun kann der Brand sofort seinen
Anfang nehmen und der Gang desselben durch die Schau-
löcher beobachtet werden.

Der von uns beschriebene (in seinen Maßen aus der
Figur verständliche) Kalkofen faßt zirka 66 m^3 rohe Kalk-
steine und gibt 650 hl gebrannten Kalk. Er verlangt auf
 $3\frac{1}{2}$ Volumen gebrannten Kalkes 1 Volumen Steinkohle,
oder auf 1 Volumen Kalk 3 Volumen Torf.

Anstatt, wie im eben beschriebenen Ofen, die Roste
durchgehend zu legen, kann man auch mehrere kleine Roste
anbringen, welche nur bis etwa zur Mitte des Ofens reichen.
Sie haben den Vorteil, daß ein bequemerer Schüren er-
möglich wird.

Die Größe und Form dieser Ofen sind natürlich großen
Schwankungen unterworfen, jedoch ist zu bemerken, daß der
Bedarf an Brennstoff im allgemeinen geringer ist bei
größeren Ofen, hingegen größer bei kleineren, daß er also
im umgekehrten Verhältnis zu den Ofendimensionen steht.

Man gibt diesen Kalköfen auch wohl die Gestalt eines
abgestumpften Kegels, dessen unterer Durchmesser, sowie die
Höhe zirka 3.1 m , dessen oberer Durchmesser zirka 2.5 m
beträgt. Der Ofenraum ist dann oben mit einem flachen
Gewölbe aus feuerfesten Steinen abgeschlossen, in welchem

sich eine Anzahl Schmauchöffnungen befinden. Über dem Gewölbe setzt sich der Ofen in einer größeren Esse fort. Diese Einrichtung trägt zur Verzehrung des Rauches bei und empfiehlt sich namentlich bei Anlage der Kalköfen in volkreichen Orten.

Die Feuerungen sind keine durchgehenden und werden zu 3—4, je nach der Ofengröße an der Peripherie angelegt; die Roste reichen 1.25 m und weiter in den Ofen hinein.

An einigen Küstenorten Deutschlands und Hollands wird aus den Seemuscheln Kalk gebrannt. Man benützt hierzu Feldöfen oder gemauerte Öfen. Fig. 4 stellt einen Ofen im Grundriß, Schnitt und Ansicht dar. *)

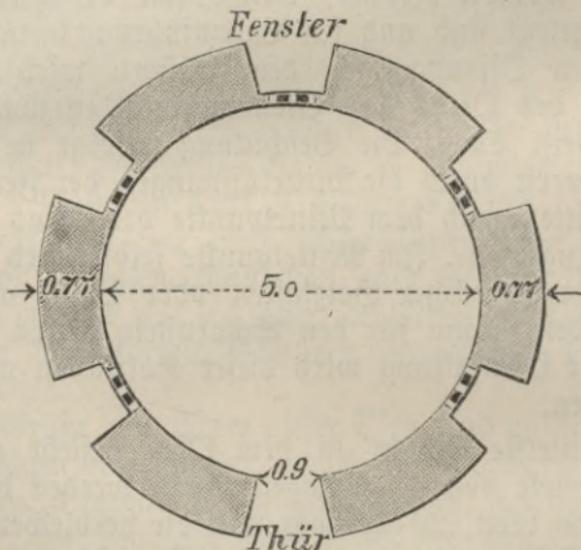
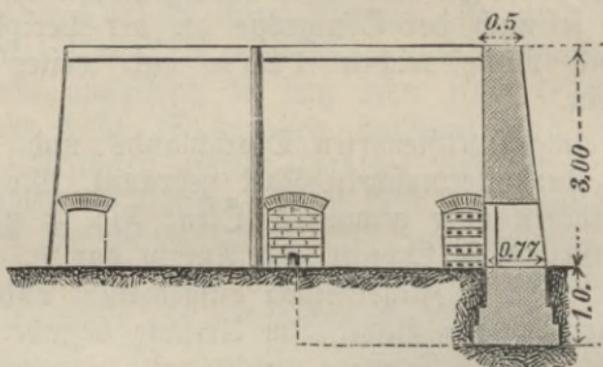
Derselbe ist in Ziegelsteinen aufgemauert und hat 5 m Durchmesser bei 3 m Höhe. Im Umfang befindet sich eine Türe und mehrere Fenster, welche mit versetzten Ziegelsteinen ausgelegt sind und für Luftzuführung dienen. Durch die größeren Öffnungen in den Fenstern wird nach der Beschickung des Ofens das Brennmaterial entzündet. Letzteres ist meist Torf. Die Beschickung erfolgt in der Art, daß man zuerst durch die Mittelöffnungen der Fenster und der Tür Latten nach dem Mittelpunkte des Ofens legt zum Bau der Zugkanäle. Im Mittelpunkte selbst wird ein etwa 1½ m hoher viereckiger Holzkasten oder Pfahl aufgestellt, der später den Raum für den Schornstein bilden soll. Bei zunehmender Ofenfüllung wird dieser Holzkasten mit in die Höhe gezogen.

Die unterste Schicht in dem Ofen besteht aus Torf in einer Stärke von 4—5 Lagen; dann werden die Kanäle gebaut 12 cm breit, 20 cm hoch und die verbleibenden Segmente ebenfalls mit Torf ausgefüllt. Hierauf kommen Muscheln von 20—30 cm Höhe, dann wieder Torf in 3—4 Lagen, hierauf Muscheln und Torf abwechselnd bis der Ofen voll besetzt ist. Nun werden die Latten herausgezogen und in räumliche Zugkanäle sowie in den mittleren

*) Zentralblatt für Bauverwaltung. 1901.

Schornstein der auch in den Höhenlagen der Muschel-
schichten durch Torfwände gegen seitliche Zuschüttungen ge-
sichert wird, Feuer angelegt. Der Ofen kommt bald in

Fig. 4.

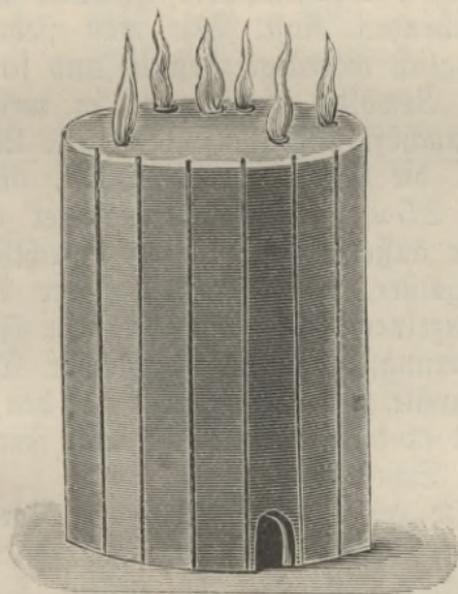


Glut und brennt 3—4 Tage. Zur Abkühlung sind auch
einige Tage erforderlich. Alsdann können die Muscheln die
jetzt in gebranntem Kalk übergegangen sind, sofort gelöst
werden und zur Mörtelbereitung dienen.

Einen eigentümlichen Feldofen, wie er in einigen Flußtäälern der Krainer Alpen Verwendung findet, beschreibt Dr. Mone*) Fig. 5.

In einem Kreise von 3 m Durchmesser werden kräftige Stangen von 4 m Länge in Abständen von zirka $1\frac{1}{2}$ m senkrecht in die Erde gesetzt und durch Faschinenwerk aus groben Reifig miteinander verbunden. Ein etwas engerer

Fig. 5.



Kreis gleich hoher Stangen und mit ähnlichem Flechtwerk verbunden wird innerhalb der ersteren aufgerichtet. Der Zwischenraum wird mit einer Masse aus feinem Kalkschotter und Kalkmörtel ausgefüllt und festgestampft. Zum Beschicken wird eine schiefe Ebene außen angebaut.

Das Einsetzen der Kalksteine erfolgt in der Weise, daß unten ein Gewölbe aus größeren Stücken für den Heizraum geschaffen wird. Auf diesem Gewölbe werden die kleineren Stücke ohne Zufügen von Heizmaterial auf-

*) Tonindustrie-Zeitung vom Jahre 1902, S. 1695.

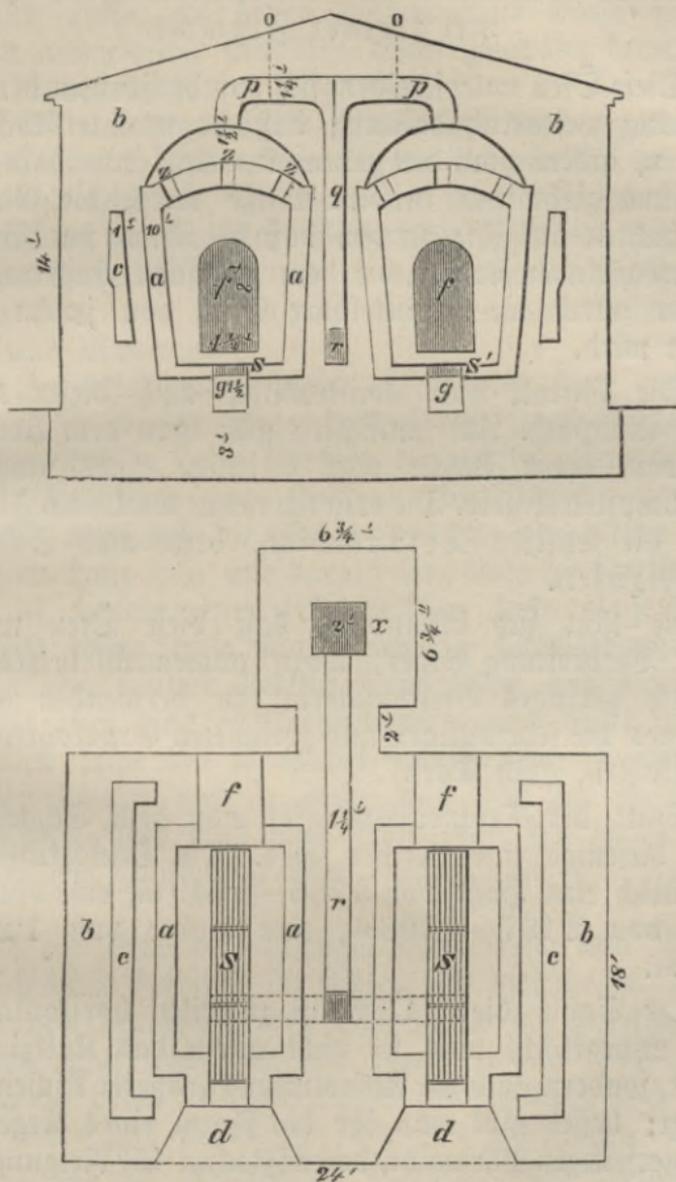
geschichtet bis der Ofen gefüllt ist. Oben wird eine Decke aus Kalkschotter und Mörtel in Form einer Kuppel gewölbt. Für den Abzug der Gase sind regelmäßig verteilte Öffnungen ausgespart. Die Entleerung des Ofens erfolgt von der Seite aus, wo eine Öffnung in den Mantel zu machen ist.

Statt der eben vorgestellten stehenden Kalköfen sind auch liegende periodische Kalköfen zum Östern angewendet. Wir geben in Fig. 6 den Durchschnitt und Grundriß zweier derartiger, nebeneinander gebauter Kalköfen mit je einem durchgehenden Rost. Wie man sieht, haben diese Öfen eine länglich viereckige Gestalt und sind oben je mit einem flachen Gewölbe überspannt, in welchem sich eine Anzahl Schmauchöffnungen befinden. Die Länge der Öfen beträgt 2.8 m , die Breite unten 1.36 m , oben 1.7 m , die mittlere Höhe 2.5 m , a ist die Kernmauer aus feuerfesten Steinen, b die äußere Mauer, c die schlechtleitende Schicht, f die Eintragstüre, s der Rost, g der Aschenfall. Die Maße der einzelnen Teile sind aus der Figur ersichtlich. d ist die Feuerung, z die Schmauchlöcher. Der Rauch zieht durch Rauchkanäle pp ab, gelangt in den Rauchsammlkanal q, zieht in diesem abwärts, nach Fuchs r und aus diesem in den Schornstein.

Die ganze Höhe des Ofens vom Terrain bis zum Gesims beträgt 4.39 m , bis zum First zirka 55.33 m , die des Schornsteines 22.6 m . In beiden Öfen kann ein Quantum von 131.91 hl Kalk per Brand gewonnen werden, wozu man 48.36 hl englische Steinkohle gebraucht. Ein Brand erfordert wegen der geringen Dimensionen nur 50 Stunden.

Wie aus dem vorhergehenden ersichtlich, ist die Bedienung dieser periodischen Öfen mit großer Flamme unständlich; es können im ganzen nur große Steine eingesetzt werden; das Einsetzen erfordert Sorgfalt und ist für den Arbeiter lästig, sobald der Ofen nicht vollkommen ausgekühlt ist; damit das letztere aber geschehe, ist viel Zeit erforderlich, die Folge davon ist eine langsame Produktion; auch erfor-

Fig. 6.



dem diese Öfen einen immer noch verhältnismäßig großen Brennstoffaufwand und geht zudem viel Wärme durch das Zugangsehen und Auskühlenlassen verloren.

2. Ältere Kalköfen zu kontinuierlichem Betriebe mit kleiner Flamme.

Diese Öfen unterscheiden sich von denjenigen der vorigen Abteilung wesentlich dadurch, daß sie ununterbrochen produzieren, indem man den gebrannten Kalk innerhalb gewisser Zeiträume zieht und in dem Maße durch die Gicht neue Kalkschichten aufgibt; ferner, daß bei ihnen der Brennstoff in abwechselnden Lagen mit dem Kalkstein eingetragen und derselbe durch die unmittelbare Glut von jenem gar gebrannt wird.

Die Gestalt und Konstruktion auch dieser Öfen ist sehr mannigfach. Am häufigsten gibt man dem Brennraum die Form einer Flasche oder diejenige eines umgekehrten abgestumpften Kegels. Die ersteren nennt man auch Flaschenöfen, die letzteren Trichteröfen, beide auch Schneller- oder Fixöfen.

Es läßt sich behaupten, daß diese Öfen wohl die größte Verbreitung haben, wozu namentlich beiträgt, daß sie auch geringes Brennmaterial zu verwenden gestatten, besonders die sehr billigen und geeigneten Gruskohlen, ferner Braunkohlen, auch Torf.

Statt der Trichterform gibt man dem Schachte noch besser diejenige eines halben Gies. Die Trichteröfen haben gewöhnlich eine Höhe von 3·766—5·649 *m*, eine obere lichte Weite von 2·197—4·708 *m*, eine untere von 1·255 bis 1·556 *m*.

Die Sohle dieser Öfen ist zuweilen horizontal, was jedoch unpraktisch, weil sie nicht allein das Kalkziehen erschwert, sondern auch zur Ansammlung größerer Aschenmengen beiträgt; besser gibt man ihr die Form eines Kegels oder einer vierseitigen Pyramide, deren Flächen 45° Neigung haben.

Am vorteilhaftesten ist es, wenn man die Pyramide in zwei sich kreuzende Dächer enden läßt, deren Schneiden je den Raum zwischen zwei Zuglöchern ausfüllen (siehe unten).

Bei kleineren Öfen genügen drei Zuglöcher von 0.62 m Breite und Höhe, zu denen der Arbeiter durch in der Ofenwand ausgesparte Gewölbe leicht gelangen kann; bei größeren bedarf man vier Zuglöcher.

Der Mantel der inneren Wandfläche wird zweckmäßig aus feuerfesten tonigen Sandsteinen hergestellt; er muß glatt und gleichförmig sein, um ein gleichmäßiges Sinken der Beschickung zu bewirken. Auch diese Öfen werden womöglich an Bergabhängen und in der Nähe der Kalkgruben anzulegen sein, zur Ersparung der Transportkosten, der Aufzüge und Rampen.

Bei Inbetriebsetzung dieser Öfen gibt man auf die Sohle zunächst eine Holzlage, darauf eine starke Kohlenlage von groben Kohlen, und schichtet darauf in abwechselnden Schichten, Kalksteine und Kohlen. Vorteilhafter verfährt man, wenn man auf die Sohle zunächst eine dünne Lage von leichtem Holz gibt und darauf eine Lage grober Kohlen, endlich auf letztere eine zirka 0.31 m dicke Lage Kalksteine. Erst wenn diese Masse gehörig durchgebrannt ist, fügt man eine weitere Schicht Gruskohlen und Kalksteine hinzu, läßt auch diese in Brand kommen und fährt so fort. Das Füllen kann um so rascher fortschreiten, je lebhafter das Feuer brennt und je mehr man sich der Gicht des Ofens nähert; doch muß man unten von Zeit zu Zeit ein wenig in den Zuglöchern Luft machen, um den Zug zu fördern.

Was die Dicke der aufzugebenden Kalk- und Brennstoffschichten betrifft, so richtet sich dieselbe nach dem Abstände von der Sohle des Ofens und der Dichtigkeit des Kalksteines. Hat der Kalkstein eine größere Dichte und Festigkeit, so bedarf es dickerer Brennstofflagen als wenn derselbe locker und porös ist; die Brennstofflagen können nach oben hin im allgemeinen schwächer, die Kalkschichten hingegen dicker werden, und zwar gibt man die größeren Steine in die oberen Ofenteile, weil hier die Hitze durch das von unten nach oben fortschreitende Feuer anhaltender und stärker wirkt.

Man rechnet die Dicke der Steinschichten durchschnittlich 18·31—39·23 *cm*, die der Kohlenschichten $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{3}$ davon. Am sichersten geht man, die Größe der Kalk- und Kohlenschichten dem Volumen nach zu bestimmen, sie etwa in Kästen oder Körben abzumessen. Hierbei dürften durchschnittlich

auf 3 Volumen Kalksteine	1	Volum	Steinkohle,
» 3 »	»	1·5	» Koks,
» 3 »	»	6—7	» Torf

zu verwenden sein. Freilich ist auch hier nur das Ungefähre in den Mengen anzudeuten, da in letzter Instanz in Hinsicht auf den vorliegenden Kalkstein und Brennstoff doch nur die Erfahrung zutreffende Anhaltspunkte geben kann.

Jedenfalls tritt das Garbrennen der unteren Lagen ein, wenn die Beschickung sich mehr und mehr der Gicht nähert; es kann in diesem Falle das Kalkziehen und mit ihm der regelmäßige, ununterbrochene Betrieb des Ofens beginnen.

Das Kalkziehen erfolgt durch die Ziehlöcher, und zwar abwechselnd, so daß alle nach und nach an die Reihe kommen. Jedoch wird man nicht aus allen in gleicher Menge herausnehmen, sondern namentlich die Gegend des Ofens beachten, wo das Feuer etwaige Unregelmäßigkeiten, hervorgebracht durch Versetzung der Schichten, zeigt. Die Menge des täglich zu ziehenden Kalkes beläuft sich auf $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ der ganzen Ladung des Ofens. Jedenfalls muß die Erfahrung lehren, wie viel auf einmal von dem gebrannten Kalk auszuziehen ist, da ein Zuviel und Zuwenig in diesem Punkte Nachteile sowohl hinsichtlich des Produktes, als auch des Ofenganges nach sich zieht. Die Zeit, welche zwischen dem Kalkziehen bleibt, benützen die Arbeiter, um Kalkstein und Brennmaterialien abzumessen, und namentlich auch jene in kleine Stücke von der Größe einer Kegelfugel zu zerschlagen, um dieselben in die Gicht einzutragen und in gleichmäßigen Lagen übereinander auszubreiten.

Läßt der Kalkkonsum nach und gestaltet sich also der Kalkabsatz zu einem weniger flotten, so kann man den Ofen-

gang verlangsamen, indem man den Zug durch Verschließen der Zuglöcher verringert, auch die Gicht mit einer Ton- oder Steinschicht bedeckt.

Zuweilen (wie z. B. in England) bringt man auch bei diesen Öfen auf der Sohle einen Kofst an, welcher mit dem Schürloch kommuniziert.

Wie leicht einzusehen, können die Kalköfen mit kleiner Flamme nicht bloß für den kontinuierlichen, sondern auch für den periodischen Betrieb benützt werden, was schon einen bedeutenden Vorzug vor dem früher betrachteten Kalkofen gibt.

Die Konstruktion dieser Öfen in ihren einzelnen Teilen und ihre ganze Behandlung soll aus folgenden Beispielen klar werden.

In Fig. 7 ist ein Trichter-Kalkofen für kontinuierlichen Brand und Steinkohlenfeuerung im Vertikaldurchschnitt und oberer Ansicht abgebildet.

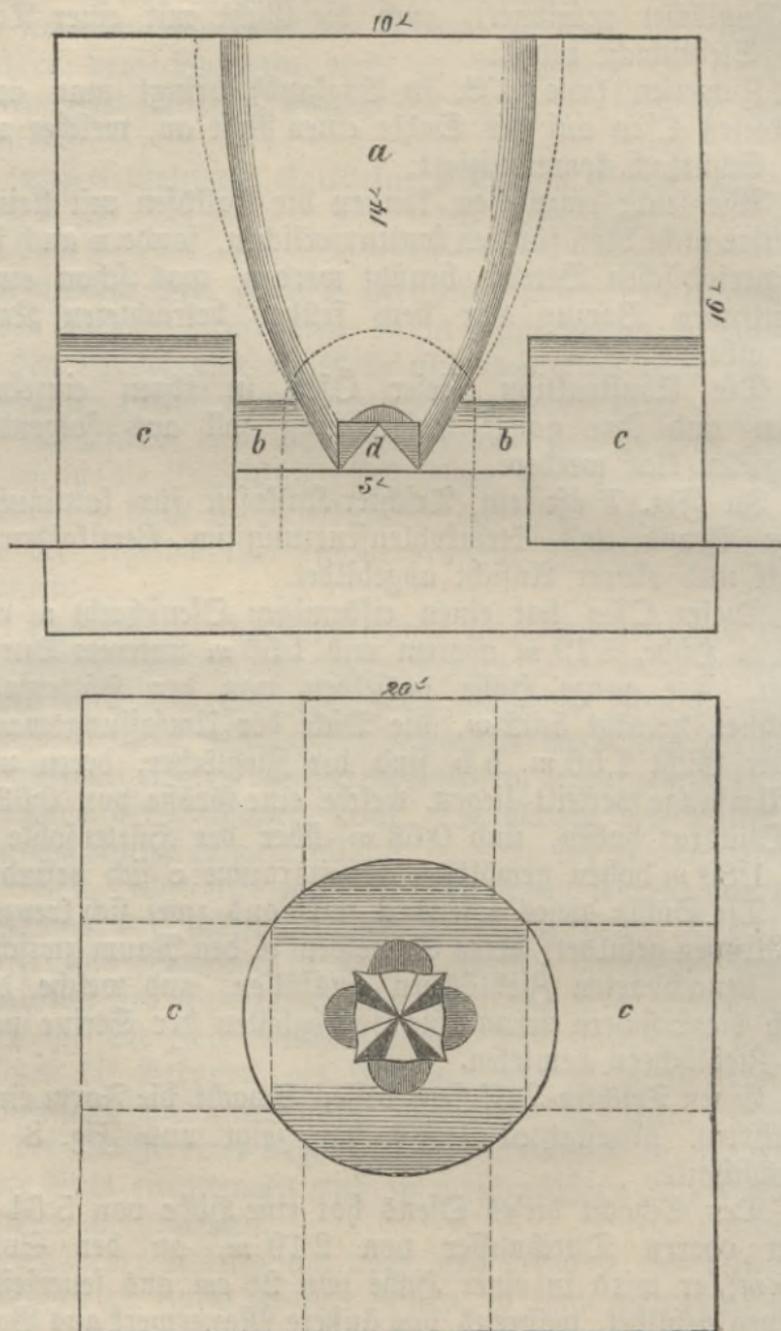
Dieser Ofen hat einen eisförmigen Ofenschacht *a* von 4.39 *m* Höhe, 3.13 *m* oberem und 1.56 *m* unterem Durchmesser. Die ganze Höhe desselben von der Hüttensohle gerechnet, beträgt 5.02 *m*, die Dicke der Umfassungsmauer an der Gicht 1.56 *m*. *b b* sind die Ziehlöcher, deren vier am Umfange verteilt liegen, welche eine Größe von 0.63 *m* im Quadrat haben, und 0.63 *m* über der Hüttensohle in dem 1.89 *m* hohen gewölbten Arbeitsraume *c* sich befinden.

Die Sohle dieses Ofens *d* wird aus zwei sich kreuzenden Rippen gebildet, deren Schneiden je den Raum zwischen zwei benachbarten Ziehlöchern ausfüllen, und welche das durch die Schwere veranlaßte Herabgleiten der Steine nach den Ziehlöchern bewirken.

Einen Trichter-Kalkofen, dessen Schacht die Form eines verkehrten, abgestuften Kegels hat, zeigt uns Fig. 8 im Durchchnitt.

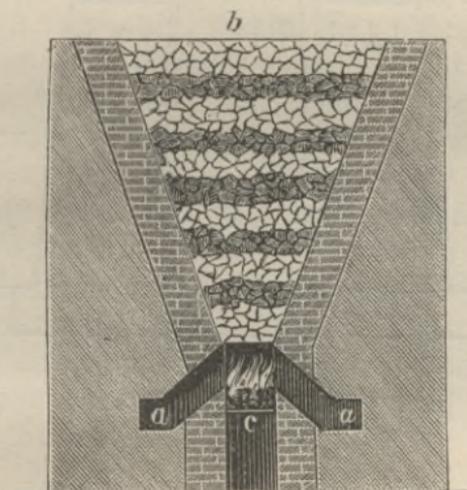
Der Schacht dieses Ofens hat eine Höhe von 5.64 *m*, einen oberen Durchmesser von 2.19 *m*, an der Sohle 1.25 *m*; er wird in einer Höhe von 26 *cm* aus feuerfesten Steinen gebildet, während das äußere Mauerwerk aus Back-

Fig. 7.



steinen besteht und 2·3 m stark ist. Der in der Rauhmauer ausgesparte Raum ist mit Erde vollgeschüttet. Der Ofen hat vier Ausziehlöcher a von 0·46 m im Quadrat, vor denen sich ebensoviele ausgesparte Arbeitsräume von 2·51 m Höhe befinden. Die Sohle des Ofens wird aus einem Krost c gebildet; fehlt derselbe, so besteht er aus zwei sich kreuzenden Dächern mit der Abdachung nach den Zieh- löchern hin und befinden sich über letzteren Luftkanäle. In

Fig. 8.

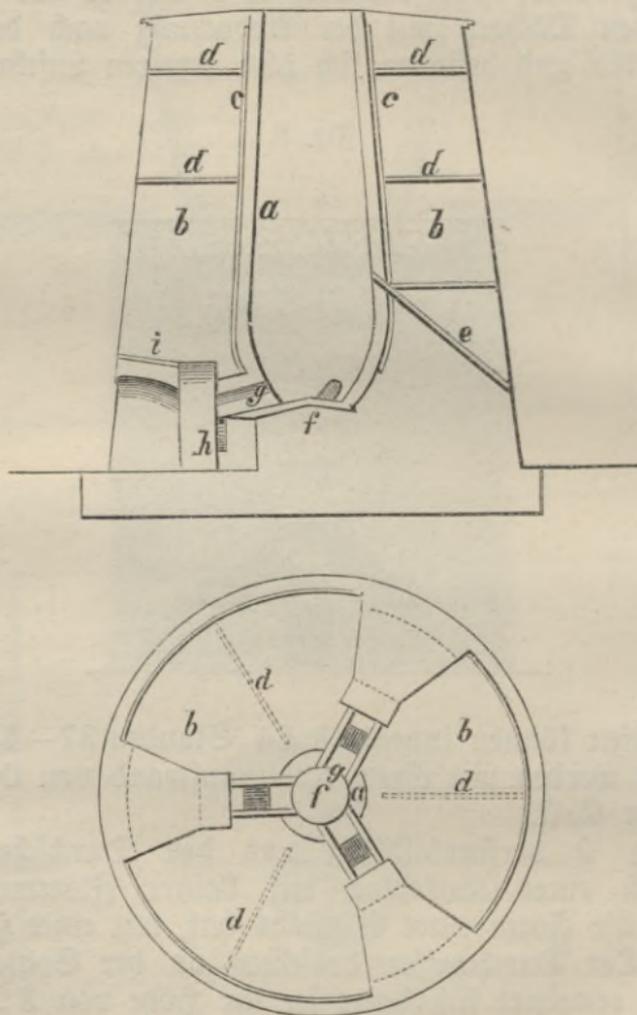


diesen Ofen können innerhalb 24 Stunden 37—41 hl Kalk gebrannt werden mit einem Kohlenaufwand von 0·7 hl pro Hektoliter Kalk.

Fig. 9 verfinnbildlicht uns den Durchschnitt und Grundriß eines Kalkofens mit kleiner Flamme, dessen Schacht die Form eines Ellipsoids hat, mit einer Höhe von 7·0 m. Der Durchmesser desselben an der Sohle beträgt 1·67 m, erweitert sich dann in der Höhe von 3·28 m auf eben diesem Durchmesser und verjüngt sich von hier bis zur 2 m weiten Gicht. Der Kernschacht a und die Sohle bestehen aus feuerfesten Steinen, die Umfassungsmauer b aus Backsteinen, Isolierschicht c besteht aus Asche und steht

durch Kanäle *d* mit der Luft in Verbindung, welche eine Abkühlung und infolgedessen größere Haltbarkeit des äußeren Mauerwerkes bewirken. Kanäle *e* durchsetzen die Kernmauer *a*,

Fig. 9.



erzeugen besseren Zug für die Feuerung und gleichmäßigeres Abziehen der Kohlenäure. Die Sohle des Ofens *f* ist kegelförmig gestaltet und stößt an drei Ausziehlöcher *g*, deren

Sohle von einem Kofst aus Chamottesteinen gebildet wird. Indem der gebrannte Kalk diesen Kofst passieren muß, wird die Kalkasche und die Asche des Brennstoffes abgeondert und fällt in den Aschenfall h. Der Kanal i über dem Arbeitsgewölbe nach außen gehend, führt die heißen Gase und Staub beim Kalkziehen ab und erleichtert so die Arbeit. Die Ziehlöcher lassen sich mit Eisentüren verschließen, welche durch teilweises Öffnen eine Direktion des Feuers nach allen Ofenteilen ermöglichen.

Die Vorteile dieser kontinuierlichen Öfen mit kleiner Flamme liegen auf der Hand: sie haben den großen Vorzug, daß sie auch geringes, überall leicht zu beschaffendes Brennmaterial anzuwenden gestatten, dessen Preis im allgemeinen gering ist; sie produzieren viel in kurzer Zeit; die Betriebskosten verringern sich bedeutend, das Anlagekapital ist nicht bedeutend. Allerdings stehen diesen Vorzügen auch Nachteile gegenüber, namentlich der, daß die Qualität des Kalkes durch die beigemengte Asche des Brennstoffes sich vermindert. Jedoch läßt sich dieser Nachteil teilweise kompensieren, wenn man (wie in Fig. 9) vor den Zuglöchern Kofste anbringt und dadurch Kalkstein und Kalkasche zu zwei Produkten separiert.

3. Ältere Kalköfen zu kontinuierlichem Betriebe mit großer Flamme.

Bei den kontinuierlichen Kalköfen mit großer Flamme ist die Feuerung von dem zu brennenden Kalk getrennt und befindet sich seitlich in der Umfassungsmauer des Ofens, so daß die Steine nur mit der Flamme und den Verbrennungsgasen in Berührung kommen. Man nennt diese Öfen auch wohl Zylinderöfen oder Rumfordsche Öfen und unterscheidet bei ihnen solche, wo die Feuerungen in einer gewissen Höhe über der Ofensohle liegen — Rüdersdorfer Öfen — solche, wo Feuerungen und Ziehlöcher in einem Niveau liegen — Hofmannsche Öfen (Patent

von Hofmann in Döbeln im Königreich Sachsen); endlich solche mit Gasfeuerung — Gasöfen von Siemens.

Die Kalkziehlöcher, deren auch bei diesen Öfen drei und mehrere vorhanden sind, liegen ebenfalls an der Sohle derselben, und es wird in dem Maße, wie man periodisch durch dieselben den gebrannten Kalk entfernt, auf die Gicht roher Kalkstein aufgegeben.

Bei dem Rüdersdorfer Kalkofen, welcher gegenwärtig von den genannten am meisten verbreitet ist und tatsächlich auch die besten Resultate liefert, befinden sich die Feuerungen — gewöhnlich drei an der Zahl — in gewisser Höhe über der Sohle und den Ausziehlöchern, und zwar dort, wo die Basen des aus zwei abgestumpften steilen Kegeln bestehenden Schachtes aneinanderstoßen, also am weitesten Teile des Schachtes.

Indem man dadurch die Garbrennzone in den mittleren weitesten Teil des Ofens verlegt, entsteht zunächst der Vorteil, daß den von oben kommenden Kalksteinen ein größerer Raum geboten wird und sie der Volumenausdehnung ohne Schaden für den Ofen folgen können, auch sich weniger reiben und versetzen; ferner, daß die oben gar gebrannten noch glühenden Steine, indem sie bis zu den Ausziehlöchern abwärts rücken, noch länger im Ofen verweilen und die oben zugegebenen frischen durch ihre überschüssige Wärme mit brennen helfen, und weniger heiß, das Ziehen weniger erschweren. Der sich nach unten hin verjüngende Teil dieser Öfen wird auch Reservator genannt.

Gewöhnlich ordnet man an der Sohle des Schachtes drei Kalkziehlöcher an und gibt denselben eine Neigung nach dorthin, um das Nachrücken des Kalkes und das Ziehen zu erleichtern. Die Ziehöffnungen sind für gewöhnlich durch Eisentüren wohl verschlossen und mit Lehm verschmiert, um das Eindringen kalter Luft zu verhindern und werden nur für das bevorstehende Ziehen geöffnet. Das letztere erfolgt alle 12 Stunden, und zwar morgens und abends, und gleichzeitig auch das Beschießen. Vor den Ausziehöffnungen befinden sich im Gewölbe Luftrohre, um die beim

Öffnen der Eisentüren und beim Ziehen entweichenden Gase und die Hitze ohne Schaden für den Arbeiter abzuleiten. Der durch die Gicht eingegebene rohe Kalkstein gelangt nach 72 Stunden auf die Sohle des Ofens, um hier als garer Kalk gezogen zu werden. Die drei Ziehöffnungen, ebenso die drei Feuerungen werden am vorteilhaftesten auf den ganzen äußeren Umfang des Ofenschachtes gleichmäßig verteilt, um die Nischenfälle und Luftabzugskanäle bequem anbringen zu können.

Was die Größe dieser Ofen betrifft, so stimmt dieselbe bei den meisten so ziemlich überein. Die innere Schachthöhe beträgt zirka 14·123 *m*, und zwar von der 2·197 *m* weiten Sohle bis zu den Feuerungen (2·825 *m*), von hier bis zur ebenfalls 7 Fuß weiten Gicht (11·299 *m*).

Der Kernschacht ist aus feuerfesten Steinen gebildet; zwischen ihm und der äußeren Mauer befindet sich ein Hohlraum von 13·08 *cm*, der mit Asche ausgefüllt ist.

Als Brennstoff dient für diese Ofen meist Braunkohle, weniger häufig Torf und Holz.

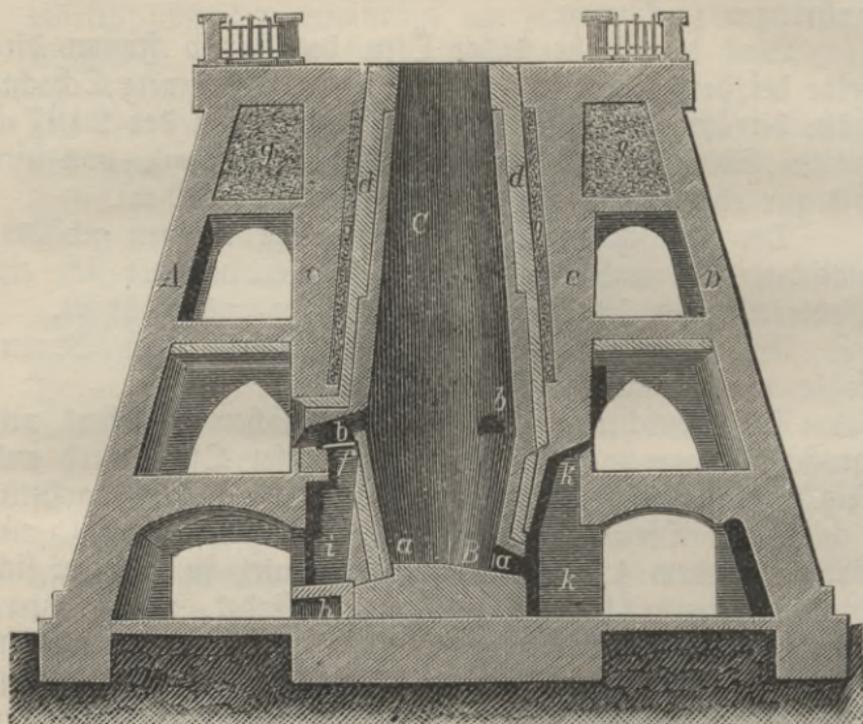
Die Einrichtung eines kontinuierlichen Kalkofens mit großer Flamme nach Art des Rüdersdorfer Ofens wird aus Fig. 10 klar werden, welche einen Vertikaldurchschnitt darstellt.

Dieser Ofen hat einen 14·12 *m* hohen Schacht C mit darauffitzendem 4·7 *m* hohem Rauchmantel, in welchem sich die Einbringtür für die Kalksteine befindet, welche letztere durch eine Hebevorrichtung zur Gicht emporgehoben werden kann. Der Schacht, im Querschnitt kreisförmig, ist an der Gicht und ebenso an der Sohle 2·19 *m* weit, in der Höhe der Feuerungen b hingegen 2·82 *m*. Von der tiefsten Stelle der in der Mitte pyramidal erhöhten Sohle B bis zu den Feuerungen beträgt die Höhe 2·82 *m*, von dort bis zur Gicht 11·29 *m*. Der Kernschacht ist aus feuerfesten Steinen 26 *cm* dick aufgeführt, das ihn umgebende Mauerwerk d aus Backsteinen ist die Isolierschicht. Der ganze Ofen zeigt einen kreisförmigen Querschnitt von 7·21 *m* äußerem Durchmesser und wird von einem achteckigen Ofenhaus A eingefasst.

Der untere Raum des letzteren *h* ist der Ziehraum und dient gleichzeitig als Lagerraum für den gebrannten Kalk, der obere *h* hingegen ist der Schürerraum und dient als Lagerraum für Kalksteine und Brennmaterialien.

Die Rüdersdorfer Öfen stehen zu Rüdersdorf bei Berlin in größter Anzahl im Betriebe zum Brennen der

Fig. 10.



dortigen Muschelschalke (vgl. oben). Bis zum Jahre 1871 waren nach Hausding nur 4 Öfen in Tätigkeit, seit dieser Zeit sind auf dem sogenannten Tiefbaufelde 18 Kalköfen nach Rumfords System*) erbaut worden. Nach der Zahl der etwa 2,2 m über der kegelförmigen Sohle liegenden Roste sind vorhanden 3 Öfen als dreischürige,

*) Jahrbuch der Tonwaren-Industrie. 1878, S. 192.

4 als fünfschürige, 13 Öfen als vierschürige und 2 Öfen mit sonst gleicher Konstruktion mit Gasfeuerung. Ein dreischüriger Ofen hat folgende Dimensionen:

Ofenhöhe zwischen Sohle und Gicht	10·70 m
Regeldurchmesser	1·88 »
Größter Schachtdurchmesser	2·197 »
Gichtdurchmesser	1·569 »
Produktion per Ofen pro Tag	9000 kg Stückkalk.

Die vier- und fünfschürigen Öfen haben folgende Dimensionen:

Ofenhöhe	10·50 m
Regeldurchmesser	2·20 »
Größter Schachtdurchmesser	2·80 »
Gichtdurchmesser	2·12 »

Fassungsraum des Schachtes:

über den Kosten	36·50 m ³
unter den Kosten	12·50 »

Der untere Schacht wird täglich zweimal vom garen Kalk entleert, die Produktion per Ofen und Tag ist bei vierschürigen Öfen über 11.000 kg, bei fünfschürigen 13.000 kg Stückkalk.

Der von Hofmann in Döbeln konstruierte Ofen ist für Steinkohlenfeuerung eingerichtet, also namentlich für kohlenreiche Gegenden von Wichtigkeit. Er unterscheidet sich von dem Rüdersdorfer Ofen namentlich in zweierlei: 1. dadurch, daß die Feuerungen und Ziehöffnungen, deren je vier angebracht sind, in einer Ebene liegen; 2. dadurch, daß die Gicht des Ofens überwölbt und auf die Überwölbung eine Esse gesetzt ist, welche den für Steinkohlenfeuerung notwendigen Zug bewirkt.

Wenn die erste Abänderung auch den Vorteil hat, daß man den eigentlichen Schacht etwas verkürzen, also billiger darstellen kann, so entsteht doch der Nachteil des Ziehens glühend heißer Steine und des Verlorengehens großer Wärmemengen, der Belästigung des Arbeiters.

Diese Öfen sind im Königreich Sachsen mehrfach angewendet und sollen eine Ersparung der Kosten von Brennmaterial ermöglichen.

4. Der Kalkringofen.

Der Hofmannsche Ringofen, welcher mit so bedeutendem Erfolge zum Brennen von Ziegeln und Tonwaren sich einbürgerte, derart, daß er für den fabrikatorischen Betrieb alle anderen Systeme verdrängte und in neuester Zeit nur die auf denselben Grundsätzen beruhenden Ofenkonstruktionen mit ihm in Konkurrenz treten können — ist auch für den Kalkbrand in Aufnahme gekommen. Trotzdem seine Überlegenheit hinsichtlich der Ausnützung der Wärme und Verwendung geringen Brennstoffes gegenüber älteren Öfen auch hier außer Zweifel stand, gingen die Urteile über seine Brauchbarkeit für vorliegenden Zweck anfangs stark auseinander. Ja bis heutigen Tages ist ein definitives Urteil darüber nicht gesprochen, wenn auch die Praxis längst bewiesen hat, daß unter Rücksicht auf die dem Ofen inhärierenden charakteristischen Eigenschaften, namentlich auf die Bewegung der Feuergase, Zugverteilung der Hitze, recht wohl gute Resultate auch beim Kalkbrande sich erzielen lassen, und dabei selbstverständlich auch hier eine Brennstoffersparnis erzielt wird, die gegenüber den älteren Öfen 50% und mehr beträgt.

Bevor wir auf die Eigenheiten des Ringofens, für den Kalkbrand des Näheren eingehen, müssen wir an seine Konstruktion erinnern, die wir mit Hinweis auf ausführliche Beschreibung in Handbüchern für Fabrikation von Ziegeln*) kurz angeben.

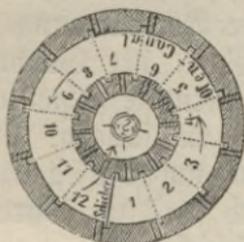
Die Grundlagen des Ringofens**) werden aus Fig. 11 leicht ersichtlich. Ein ringsförmiger Ofenkanal ist durch ein-

*) Siehe: Zwick, Natur der Ziegelsteine. 2. Aufl. Wien, Hartleben 1892.

**) In Preußen patentiert vom 25. Mai 1858, 1870 Patent aufgehoben.

zusetzende Schieber in die Abteilungen 1—12 zu zerlegen, wovon jede von außen durch eine Tür zugänglich ist, anderseits durch einen mit Ventil absperrbaren Fuchs mit dem gemeinsamen Rauchsammelkanal und dieser wieder durch mehrere Züge mit dem Schornstein S kommuniziert. Es werde der Schieber zwischen Abteilung 1 und 12 eingesetzt und es seien alle Füchse geschlossen bis auf denjenigen von Kammer 12; es seien ebenso alle Türen mit Ausnahme derjenigen von Kammer 1 geschlossen. Endlich sei der ganze Kanal mit Kalk besetzt, welcher in den Abteilungen von 1—6 im Abkühlen, in 7 durch von oben einzustreuendes

Fig. 11.



Brennmaterial im Garbrande, in 8—12 im Vorwärmen begriffen ist. Abteilung 1 sei im Entleeren des Einsazes.

Im Schornstein S endlich befindet sich eine aufsteigende Luftsäule. Der Vorgang ist nun folgender: Durch die geöffnete Tür von Kammer 1 tritt kalte Luft ein, dieselbe streicht über die im Abkühlen begriffenen Kalksteine der Kammern bis nach 6 hin, entzieht diesen fortwährend Wärme, wird dabei selbst heiß, kommt nach Kammer 7, liefert hier den zur Verbrennung notwendigen Sauerstoff, bildet nun heiße Verbrennungsgase, diese streichen über Kalk in den Kammern 8—12, wärmen diesen vor, kühlen sich dabei mehr und mehr ab und entweichen schließlich durch Fuchs und Rauchsammelkanal in den Schornstein.

Wie man sieht, ist hierbei bezüglich Verbrennung und Ausnützung der Wärme dreierlei erreicht:

1. Die zur Verbrennung notwendige Luft wird vorgewärmt und so geeignet, vollkommene Verbrennung und größere Hitze zu erzeugen.

2. Die abziehenden Verbrennungsgase geben ihre Wärme an den zu brennenden Kalk ab, die Wärme wird möglichst vollständig ausgenützt.

3. Der vorgewärmte Kalk kann mit weniger Brennstoff gar gebrannt werden, die Brennzeit ist auch eine kürzere.

Der kontinuierliche Betrieb gestaltet sich folgenderweise:

Ist Kammer 7 gar gebrannt und die mittlerweile entleerte Nr. 1 mit frischem Kalk vollgesetzt, deren Türe verschlossen, die Türe von 2 geöffnet, so wird der Schieber zwischen 1 und 2 eingesetzt, der Fuchs in 12 geschlossen, der in 1 geöffnet. Die Vorwärmung beginnt in 1 durch die dort abziehenden Gase, der Garbrand schreitet nach 8 fort, die hinreichend gekühlte Abteilung 2 wird entleert, um neuen Einsatz zu empfangen, und so setzt sich der Betrieb ununterbrochen um den ganzen Ring fort. Eine Abteilung befindet sich stets im Garbrande, eine in Entleerung und Wiederbeschickung.

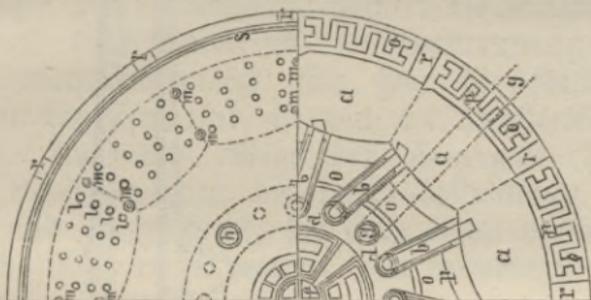
In welcher Weise der Konstrukteur die eben dargelegten Prinzipien zu verwirklichen suchte, geht aus dem in Fig. 12 und 13 dargestellten Ringofen hervor.

Dieser Ofen hat 12 Kammern a, die durch Schieber voneinander getrennt werden. Die Bewegung der letzteren erfolgt entweder von oben oder von der Seite aus. Die Höhe der überwölbten Kammern ist etwa 2.5 m, jede hat einen Rauchabzugskanal b von 0.63 m Breite und 0.78 m Höhe, der nach unten um 0.93 m geneigt, dann wieder aufwärts steigt und in dem ringsförmigen, überwölbten 0.57 m hohen Rauchsammelkanal d mündet. An der tiefsten Stelle dieses Kanales sammelt sich das Kondensationswasser und kann von hier entfernt werden. Zum Absperren des Rauchsammelkanales dient ein Glockenventil c, welches von außen durch eine daran befestigte Eisenstange bewegt werden kann. Da jede Kammer ein solches Ventil enthält, ist es

möglich, sie durch den Rauchsammelkanal mit den Schornstein zu verbinden oder abzusperren.

Der Rauchsammler kommuniziert mit den Schornstein f durch 4 Kanäle. Letzterer hat eine Höhe von mindestens 30 m, um den nötigen Zug herbeizuführen, und ist in der Mitte des Ofens angeordnet. Soll der Schornstein noch die Feuerung eines Dampfkessels aufnehmen, so dient dazu der besondere Kanal g, der vom Rauchsammler unter der Sohle des Ofens durch, nach außen führt. Durch ein Mannloch kann man den Rauchsammler von oben her von Flugasche zc. reinigen.

Fig. 12.



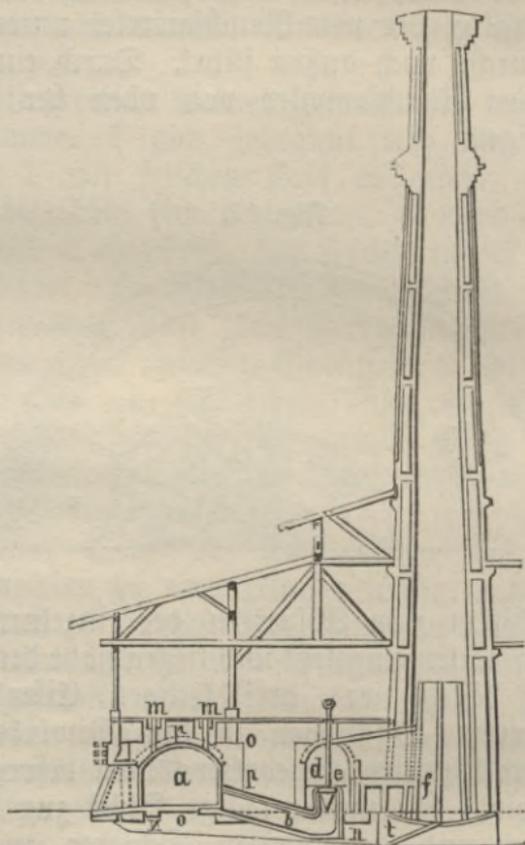
Die Schieber zum Absperren der einzelnen Kammern sind hier von unten eingesetzt und liegen nahe der Eingangstüren. Jeder besteht aus drei keiligen Eisenblechstücken; durch zwei runde Öffnungen in dem Gewölbe wird das Anheben mittels zweier eingehakter Ketten besorgt, wodurch es möglich wird, das untere keilige Stück zur Einkarrtüre herauszuziehen und den ganzen Schieber zu entfernen. Durch Anordnung der Rauchabzugskanäle unmittelbar vor den einzusetzenden Schiebern sind die Feuergase gezwungen, die ganze Abteilung zu durchstreichen und erst am Ende derselben auszutreten.

Jede Kammer hat eine 1.5 m breite und 0.94 m hohe Einkarrtüre. Die Befuerung erfolgt durch die mit Decken verschließbaren Heizlöcher l von oben her. Damit das ein-

gestreute Brennmaterial auf die Sohle des Ofens falle, müssen die eingesetzten Kalkschichten an den betreffenden Stellen unterbrochen rostartig übereinander gesetzt werden.

Der ganze Ofen ist gegen Feuchtigkeit von unten her durch eine Isolierschicht von Asphaltplatten geschützt; das

Fig. 13.



Dach mit Steinpappe überdeckt. Zur Verhinderung der Wärmestrahlung und des Eindringens von Nebenluft ist die Umfassungsmauer des Brennkanales mit Sand und Lehm o p gefüllt. Eine Verankerung an der Außenseite des Ofens bilden die drei Ringe s, die entweder in Holz oder in Eisen ausgeführt werden.

Der Betrieb findet in folgender Weise statt:

Denkt man sich den Ofenkanal a mit Kalksteinen besetzt. Schließt man denselben an einer Stelle m, öffnet die davor liegende Einkarttür r und den Rauchabzugskanal b vor dem Schieber m, so dringt durch Einkarttür r ein kalter Luftstrom ein; derselbe geht, da alle anderen Einkarttüren und ebenso alle sonstigen Rauchabzugskanäle geschlossen sind, von m durch den ganzen Brennring, um bei b den Rauchabzugskanal und durch diesen den Sammler und den Schornstein zu erreichen.

Nehmen wir an, Abteilung 1—6 enthält fertig gebrannten, Abteilung 7—12 ungebrannten Kalk. Die bei m eintretende kalte Luft erwärmt sich an dem noch heißen Kalk, letzteren dabei abkühlend, passiert die Kammern 1—6 und bedingt, in f eintretend, die Verbrennung des eingestreuten Brennmaterials. Da hier die Kalksteine im Garbrennen begriffen sind, ist auch die höchste Temperatur vorhanden. Auf dem Wege der Feuergase durch die Kammern 8—12 werden die darin befindlichen Kalksteine getrocknet und vorgewärmt; die Gase selbst verlassen dann ziemlich abgekühlt die Kammern und entweichen durch den Abzugskanal in den Schornstein.

Die Abteilung 1 wird nach einiger Zeit so weit abgekühlt sein, daß man den fertig gebrannten Kalk entfernen und frischen ungebrannten einsetzen kann.

Ist letzteres geschehen, so schließt man den Schieber der Abteilung 1 hinter dem frisch eingesetzten Kalkstein, öffnet die Tür zu 2, schließt die Tür bei 1 und öffnet den in 1 befindlichen Rauchabzugskanal. Abteilung 2 wird jetzt abgekühlt und dann ausgeräumt, während die Gase schließlich durch den Abzugskanal in 1 in den Schornstein entweichen. Im jetzigen Falle findet in Kammer 8 das Garbrennen statt.

Um die Arbeiten des Ausräumens und Einsetzens ohne Unterbrechung und gleichzeitig ausführen zu können, öffnet man stets zwei Türen gleichzeitig; z. B. 12 und 1, 12 zum Einsetzen, 1 zum Ausräumen.

Bei Inbetriebsetzung des Ringofens nimmt man irgend eine Kammer als Anfangspunkt. In dieser wird eine Stirn- wand mit vier Kofstfeuerungen aufgeführt, hinter der die zu brennenden Kalksteine zu stehen kommen. Das Feuer auf dem Kofst wird so lange unterhalten, bis die Kalksteine glühend sind und durch die Heizlöcher von oben ein- geworfenes Brennmaterial fortbrennt. Nun entfernt man die Stirn- wand, fängt die Befuerung der zweiten Abteilung von oben an und geht nach und nach zu dem oben an- geführten Betriebe über. Das Feuer rückt in bestimmter Frist, die durch den Garbrand einer Abteilung ermittelt wird, eine Abteilung weiter; die Befuerung erfolgt perio- disch in Zeiträumen von 5 zu 5 Minuten, wozu der Heizer durch eine Kontrolluhr angehalten wird.

Seit Patentierung des Ringofens im Jahre 1858 ist der Erfinder unablässig bemüht gewesen, die an sich schon zweckentsprechende Konstruktion in allen ihren Teilen zu vervollkommen, sowie den ganzen Betrieb in einer Weise auszubilden, daß eine große Sicherheit in allen Manipu- lationen und eine regelmäßige Fabrikation gewährleistet ist. Es läßt sich behaupten, daß selten einer Erfindung von ihrem Urheber sowohl wie von denen, die von ihr Gebrauch machten, ein so hingebendes und ausdauerndes Interesse bewahrt wurde als der des Ringofens. Der deutsche Ziegler- verein, den man mit Recht früher einen »Ringofenverein« nannte, da er in seinem Organ, dem »Notizblatt«, in seinen Generalversammlungen fast ausschließlich auf den Ring- ofen nach Konstruktion und Betrieb sich beziehende Fragen diskutierte und auch gegenwärtig vielfach diskutiert, das Zusammenarbeiten Vieler an einem Werke mußte demselben zugute kommen und so dem Apparate das ihm bereits durch die rationellen Grundlagen garantierte Übergewicht über sämtliche zum fabrikatorischen Ziegelbrande benützten Öfen sicherstellen. Die Verbesserungen der Konstruktion beziehen sich a) auf Form, b) Brennkanal (Mauer- und Gewölbeform, Schlize, Schieber, Sohle, Heizschachte), c) Rauchsammelkanal, d) Schmauchkanal, e) Schorn-

stein, f) Baukonstruktion (Mauerung, Isolierung, Schüttung, Schuppen).*)

Die ursprüngliche Form war die Kreisform und ist auch gegenwärtig für kleine Anlagen die vorteilhafteste, doch hat man auch quadratische, elliptische und rechteckige Ringöfen gebaut, wie es gerade die Verhältnisse bedingen. Kreisrunde gestatten eine gleichmäßigere Ableitung der Verbrennungsprodukte als länglichrunde, dagegen ist ihre Anlage schwieriger.

Beim Bau des Ringofens ist vor allen Dingen auf gute Isolierung des Ofenkörpers vom Baugrunde, Beweglichkeit des Mauerwerkes in starker Hitze, sorgfältige Ausführung desselben in Lehmörtel zu sehen. Der Baugrund muß trocken sein; ist dies der Fall, so genügt eine Sandschüttung. Ist der Untergrund feucht, so erfolgt eine Abdichtung durch Sandschicht und Asphaltpplatten, die aber zum Schutze gegen die Hitze 0.8—1 m unter der eigentlichen Sohle liegen müssen. Vielfach benützt man die Isolierung mit Ziegelsteinen.

Die Beweglichkeit des Mauerwerkes nach unten und nach den Seiten hin wird ermöglicht durch Sandschüttung unter den Fundamenten und zwischen dem Mauerwerk sowie durch in letzterem ausgesparte trockene Fugen.

Das Mauerwerk kann in den Fundamenten und Stützmauern aus Bruchsteinen, oder das ganze Mauerwerk aus Ziegeln hergestellt werden. Die der Glut ausgesetzten Wände macht man aus feuerfesten Steinen; die Gewölbe, Rauchkanäle, Heizschächte häufig aus Formsteinen.

Die Anlagekosten stellen sich im Verhältnis zur Leistungsfähigkeit für Ringöfen ungleich niedriger als bei anderen Öfen. Ein zwölfkammeriger Ofen von

9 m ³	Kammerinhalt	jeder	Abt.	stellt	sich	auf	zł.	10.500	W.
18	»	»	»	»	»	»	»	16.500	»
27	»	»	»	»	»	»	»	21.000	»

*) Ausführliches hierüber siehe: Zwick, Natur der Ziegeltonen, 2. Aufl.

36 m ³	Kammerinhalt	jeder	Abt.	stellt	sich	auf	zfl.	24.000	M.
45 »	»	»	»	»	»	»	»	27.000	»
60 »	»	»	»	»	»	»	»	30.000	»

Hierzu kommt etwa:

1 ¹ / ₃ 0/0	auf	Erdarbeiten	(Ausgraben, Hinterfüllen),
5 ⁰ / ₀	»	Maurerarbeitslohn,	
5 ⁰ / ₀	»	Mauersteine,	
7 ⁰ / ₀	»	sonstige Materialien (Kalk, Zement),	
7 ⁰ / ₀	»	Zimmerarbeit und Material,	
8 ⁰ / ₀	»	Dachdeckungsarbeit und Material,	
10 ⁰ / ₀	»	Eisenteile,	
6 ¹ / ₂ 0/0	»	Aufsicht und Nebenausgaben.	

Einen oblongen Ringofen von größeren Dimensionen mit Schuppen zeigen Fig. 14 und 15.

Der Betrieb ist genau derselbe wie beim runden Ringofen, die Detailkonstruktionen sind sich ebenfalls gleich.

Der Ofen hat 16 Abteilungen à 49 m³ Inhalt, die Länge beträgt 52.00 m, die Breite 20 m. Die Kammerdimensionen sind: 4 m Breite, 6 m Länge, 2.6 m Höhe.

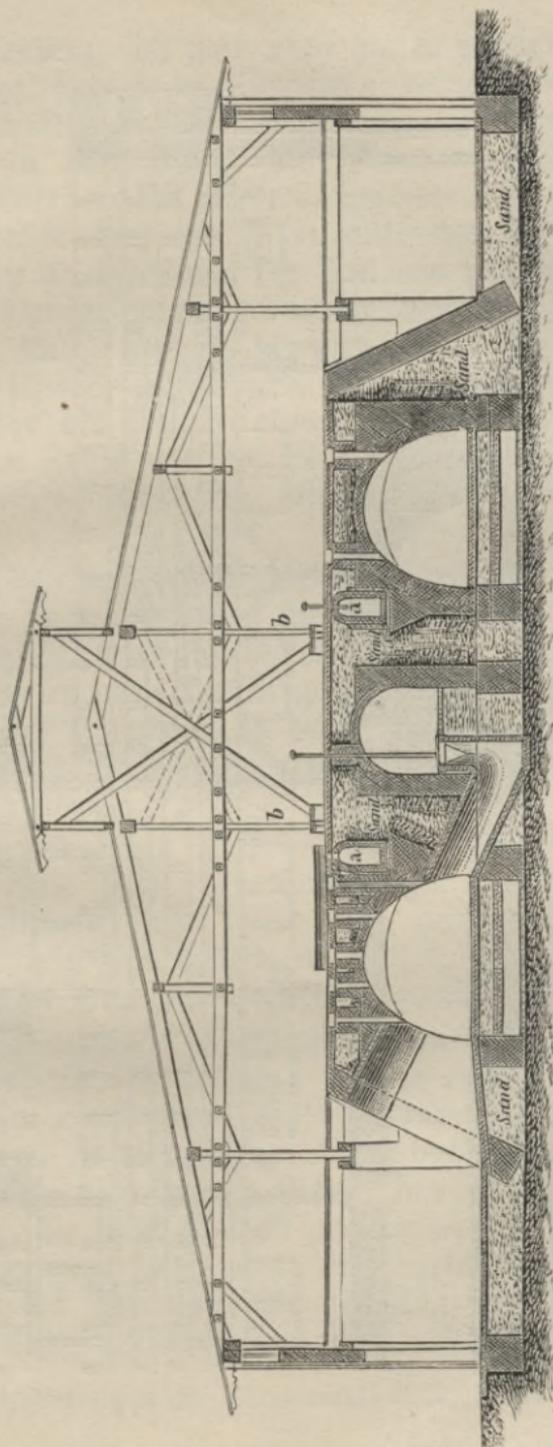
Die Ausführungskosten belaufen sich für

den Ofen	48.300.—	Mark
» Schornstein . .	17.100.—	»
» Schuppen . . .	41.300.—	»
Zusammen . . .	<u>106.700.—</u>	Mark.

Erinnern wir uns, um die Leistungen des Ringofens für den Kalkbrand beurteilen zu können, daß für letzteren zweierlei notwendig ist: 1. Erzeugung eines genügenden Zuges, welcher die Kohlensäure schnell aus dem Bereich des Kalkes führt und deren Wiedervereinigung mit ihm hindert; 2. eine bestimmte Temperatur, welche ausreicht, den Kalk bestimmter Qualität gar zu brennen; nicht zu hoch, um ein Totbrennen, nicht zu gering, um ein Ungarbrennen zu verhindern.

Während bei dem gewöhnlichen Kalkofen die Brenngase von unten nach oben, also vertikal gehen, dieselben

Fig. 14.



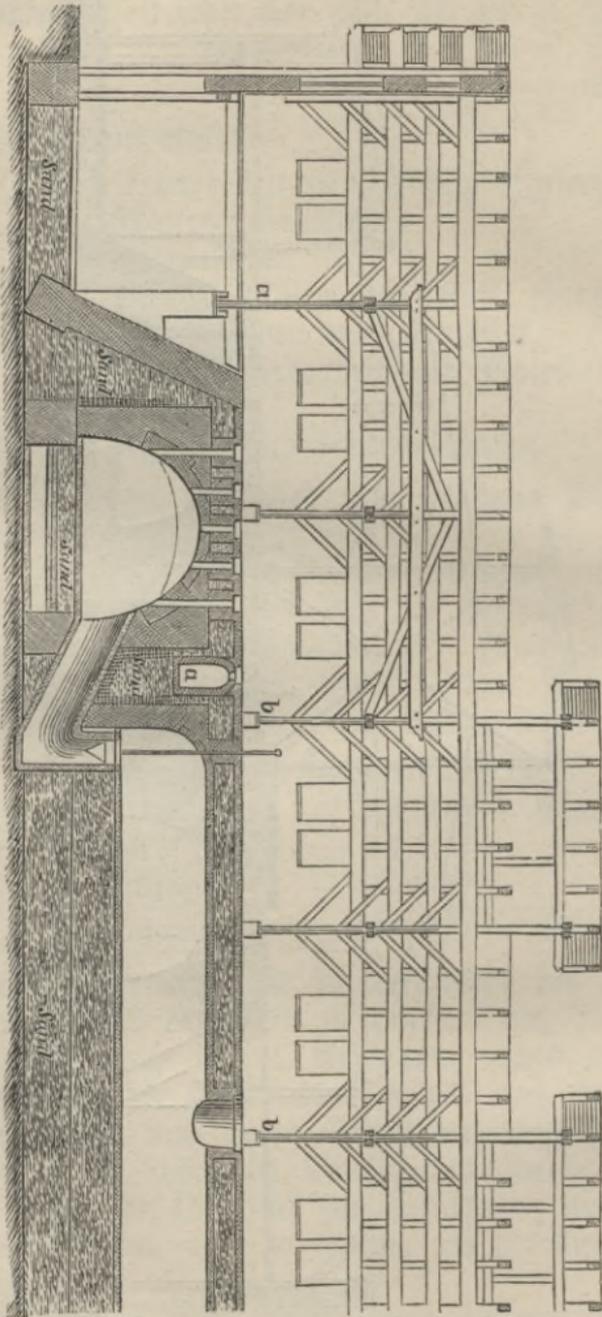


Fig. 15.

also ihrer Tendenz, sich nach oben hin zu verbreiten, Folge leisten können, sind sie im Ringofen gezwungen, mehr horizontal fortzustreben. Die Folge davon ist, daß auch die Hitze nicht in allen Teilen des Ofenquerschnittes dieselbe sein kann. Dort, wo die Verbrennung eine vollkommene, ist sie sehr intensiv, dort wo sie unvollkommen — und das wird teilweise an der Sohle der Fall sein müssen — ist sie zu gering. Daraus folgen bedeutende Nachteile für den zu brennenden Kalk, der in gewissen Lagen zu stark, in anderen zu schwach erhitzt wird. Bei gewöhnlichen Kalköfen ist die Gefahr des Ungar- oder Totbrennens infolge des aufstrebenden Zuges und der Möglichkeit einer gleichmäßigeren Verteilung der Hitze offenbar weit weniger vorhanden.

Beim Ziegelbrennen hat diese Eigentümlichkeit des Ringofens wenig zu bedeuten, da hier ein Sortieren nach dem Brennen möglich, beim Kalkbrennen soll aber nur ein Produkt, nämlich an allen Stellen gar gebrannter Kalk erzeugt werden. Dieser Unterschied in der Richtung des Zuges und Verbreitung der Temperatur erzeugt überdies noch andere Eigentümlichkeiten.

Im gewöhnlichen Kalkofen finden die vertikal aufsteigenden Gase selbst bei Versetzungen noch Auswege, bei horizontalem Zuge wird die geringste Hemmung die Gase sogleich zum Aufsteigen nötigen, größere Unregelmäßigkeiten im Brennen werden die sofortige Folge sein.

Die regelmäßigen Ziegelsteine lassen sich im Ringofen leicht in passender Entfernung und so verteilen, daß den Erfordernissen eines guten Zuges Rechnung getragen wird, viel schwieriger ist dies bei den unregelmäßigen Kalkstücken; hier hat man nicht immer Stücke, sondern auch Brocken und Körner, die leicht so dicht aneinander kommen, daß sie den Zug hemmen. Gibt man im Ziegelofen immer noch ein Fünftel des Raumes*) für den Zug frei, so reduziert sich dieser Raum vielleicht beim Kalk auf die Hälfte. Nun

*) Notizblätter von A. Türschmiedt. 1869, S. 191.

ist aber für das Kalkbrennen eine größere Hitze erforderlich als für das Brennen gewöhnlicher Ziegel, eine Hitze, die bereits zum Klinkerbrennen hinreicht. Es ist leicht ersichtlich, daß infolge ungleichmäßigen Zuges, Versezungen, die Temperatur zu niedrig und der Kalk ungleich gebrannt bleiben wird. Namentlich bei Inbetriebsetzung der Ringöfen ist die notwendige Temperatur nur schwierig zu erzeugen, ja sie muß, falls sie bei noch nicht ausgetrockneten Öfen gewaltsam herbeigeführt wird, Nachteile für den Ofen im Gefolge haben.

Aber selbst wenn es gelungen wäre, den Kalk gleichmäßig garzubrennen, so beginnt wieder eine Schwierigkeit mit der Abkühlung desselben. Dieselbe erfolgt ja nicht wie beim gewöhnlichen Ofen unter möglichstem Luftausfluß, im Gegenteil, die Hitze des Kalkes soll ja nutzbar gemacht werden zur Vorwärmung der für Verbrennung notwendigen atmosphärischen Luft. Diese aber ist kohlenensäurehaltig, wird also immerhin einen Teil des gebrannten Produktes wieder in kohlen-sauren Kalk überführen, mithin Verluste erzeugen. Hierzu gesellt sich ferner der Umstand, daß das eingestreute Brennmaterial seine Asche an den Kalk abgibt, somit, wie bei den Öfen mit kleiner Flamme, denselben verunreinigt.

In der That bringt die Konstruktion des Ringofens erhebliche Nachteile mit sich, und es ist nicht zu verwundern, warum man anfangs den Ringofen für den Kalkbrand für untauglich hielt, warum es erst langer Erfahrungen und eigentümlicher Behandlung bedarf, um seine sonstigen Vorteile für denselben auszunützen. Im folgenden seien einige dieser Erfahrungen mitgeteilt.

Nach R. Ditmar muß das Setzen vor allen Dingen so geschehen, daß die Kalkstücke nicht zu dicht aufeinandergepackt werden, damit genügende Zwischenräume zum Durchzug für Luft und Feuer bleiben. Die größeren Steine werden zum Setzen der Kanäle am Herd entlang und bei den Heizschächten verwendet, und müssen dieselben, namentlich bei letzteren, so gelegt werden, daß sie so viel als möglich

Zwischenräume bieten. Die dabei vorkommenden langen Stücke läßt man etwas in den Schacht hineinragen, damit ein Teil der aufzugehenden Kohle darauf liegen bleiben kann. Sind nun 2—4 sich gegenüberliegende Schachte zirka 5—10 cm aufgebaut, so werden in den dazwischenliegenden Raum kleinere Stücke geschüttet, welche den Seßern am besten in kleinen Mulden oder Schwingen zuzureichen bleiben. Sind dadurch die Zwischenräume ausgeglichen, so werden die Schachte ein Stück weiter aufgebaut, dann wieder das Ganze durch die kleineren Stücke ausgeglichen und so fortgeföhren, bis die Abtheilung bis an das Gewölbe gefüllt ist.

Werden aber die Stücke sehr klein und sind deren viel vorhanden, was je nach der Beschaffenheit des Kalkes öfter mehr oder weniger der Fall ist, so würden diese, in Menge auf einen Fleck geschüttet, zu dicht liegen und den gleichmäßigen Fortgang des Feuers verhindern; deshalb ist es gut, an solchen Stellen einige größere Stücke hohl zu legen, oder noch besser, wenn dazu zirka 1 m langes Scheitholz je nach der Entfernung der Heizschachte verwendet wird. Dieses wird dann hin und wieder, namentlich aber an den Seitenwänden, von Schacht zu Schacht und an den Wänden entlang gelegt. Sind dieselben bei zunehmender Glut erst verbrannt, so werden die dadurch entstandenen hohlen Räume den Zutritt der Luft und den Fortgang des Feuers vermitteln und dazu beitragen, daß eine Stockung des Feuers nicht stattfinden kann.

Als Heizmaterial werden hierbei Steinkohlen immer das beste sein, und zwar ist eine rein ausbrennende, wenig schlackende oder backende Kohle zu wählen, am besten gewöhnliche Nußkohle, da diese wegen ihrer Gleichmäßigkeit auch ein gleichmäßiges Abbrennen zur Folge hat. Keiner Staub oder Grus würden sich nur dort vorteilhaft verwenden lassen, wo Kohlengruben in der Nähe sind, denn bei weiteren Entfernungen, wo die Transportkosten zweibis dreimal höher kommen als die Kohle selbst, würden sich die Kosten, durch den bei schlechteren Kohlen bedingten

Mehrverbrauch von $\frac{1}{3}$, bei sich schwer brennendem Kalk oft $\frac{1}{2}$ und darüber, gegen gute Kohle nur sehr wenig geringer, wenn nicht gar höher stellen.

In dem Maße, wie der Kalk gar wird, brennen die Kohlen immer schneller und reiner ab, die Flamme nimmt nach und nach eine weiße Farbe an und die Masse sinkt mehr und mehr herunter.

Die Dauer des Feuerens richtet sich nach der Beschaffenheit des Kalkes, bei porösem Kalk ist sie kürzer, bei dichterem länger und kann, wenn stets drei Abteilungen im Feuer sind, in 24—36 Stunden um eine weitergerückt werden.

Nach Kaliski empfiehlt es sich, beim ersten Umbrände im neuerbauten zwölfkammerigen Kalkringofen*) zunächst im Interesse der Haltbarkeit des Ofens sich anfangs mit einem etwas geringeren Produkt zu begnügen, auch nicht gleich den allererschlechtesten Brennstoff zu verwenden.

Ebensowenig, wie man in einem neuerbauten Ziegelofen sogleich Klinker brennen kann, ebensowenig sollte man vom Ringofen gleich beim ersten Brande ein vollkommen gutes, gares Produkt verlangen.

Ist es schon beim Ziegelbrennen sehr gut, zuerst in allen Kammern mit einem separaten Schmauchfeuer zu arbeiten, so ist es für den Kalkringofen geradezu erforderlich. Es dürfte sich auch empfehlen, beim ersten Umbrände, ebenso bei Beginn der Kampagne statt des Kalkes Backsteine einzusetzen, weil dieselben nicht einer so große Hitze bedürfen und so die Gewölbe und Ofenwände erst nach und nach auf die erforderliche Hitze kommen.***) Nach den ersten Umbränden ist das vollständige Gelingen der Arbeit in die Hand des Brenners gegeben, unter Voraussetzung, daß der Setzer den Kalk in hinreichend weiten Zügen einsetzte.

Beim Brennen des Kalkes soll also die Kohlensäure ausgetrieben werden und nebenher sollen auch Wasserdämpfe

*) Notizblätter von A. Türschmiedt, 1869, S. 418.

**) Notizblätter von A. Türschmiedt, 1869, S. 307.

und Verbrennungsgase entweichen. Beim Brennen der Ziegel beschränkt sich die Aufgabe auf letztere beiden. Der Kalkofen muß aber nicht nur die im Kalk enthaltene, sondern auch die bei Verbrennung entstehende Kohlensäure unschädlich machen. Das letztere erfolgt bei entsprechendem Zuge, dieser wieder erzeugt größere Hitze und diese zwingt den Kalk zum Gehenlassen der eigenen Kohlensäure. Auf jeden Fall muß also beim Kalkofen der Zug größer sein als beim Ziegelofen, 1. damit die Kohlensäureatmosphäre entfernt werde, 2. damit die Hitze den Kalk befähigt, die Kohlensäure auszugeben.

Daß man den Zug befördern kann durch Verdampfen von Wasser, was man in Tropfenform über die glühenden Kalksteine gibt, oder durch zeitweise Verwendung von feuchtem Brennstoff, wollen wir nebenher erwähnen.

Beginnt die Abgabe der Kohlensäure bereits mit der Austreibung von Wasserdampf, so hält anderseits der Kalk die letzten Kohlensäureanteile bedeutend fest, namentlich wenn er rein ist, und erst die stärkste Hitze vermag sie zu entbinden. Entweicht also ein großer Teil Kohlensäure bei beginnender Glut, so muß diese ein lebhafter Zug auch forttreiben, damit die darauffolgende Weißglut nur die letzten Anteile zu entfernen habe. Anwendung einer bestimmten Hitze allein gibt also kein ausreichendes Kriterium für die Behauptung, der Kalk müsse gar sein.

Nach Ausführung dieser allgemeinen Gesichtspunkte geben wir hier die Erfahrungen wieder, welche Kaliski beim ersten Umbrande im neu erbauten Kalkringofen machte.*)

Kaliski empfiehlt selbst für Kalksteine verschiedener Qualität genaue Kenntniss des Ofengemäuers in bezug auf dessen Trockenheit. Die Stellen, welche bei Regen erbaut wurden, bedürfen eines länger anhaltenden Feuers.

Kaliski empfiehlt eine Schildwand in der zu besetzenden Ofenabteilung aufzuführen und beim Setzen des

*) Notizblätter von A. Türschmiedt. 1869, S. 418.

Kalkes von dieser etwa 39—47 *cm*, von der Außenwand 7 *cm*, von der Innenwand 4 *cm* zurückzubleiben, damit die ganze Kalkmasse in die volle Wirkung der Flamme komme, denn die größte Glut ist beim ersten Umbrände in der Mitte des Ofenraumes, die schwächere an den Wänden.

Die Schürgassen in der Schildwand sollen 78 *cm* hoch und 31 *cm* breit angelegt sein.

Sind die sämtlichen Kammern bis auf zwei vollgefüllt, so beginnt das Feuern in sämtlichen Schürlöchern. In den ersten 2—3 Stunden sieht man aus dem Schornstein fast gar keinen Wasserdampf entweichen, hierauf ist die Dampfsentwicklung sehr stark und hält 6—8 Stunden an. Jetzt wird das Türschürloch der hintersten Schildtür geschlossen und die betreffende Glocke gezogen, das Feuer aber in der Schildwand verstärkt; die Wasserdämpfe treten wieder stärker auf. Das Zu- und Abnehmen der Wasserdämpfe bleibt bei den ersten fünf Kammern wesentlich — also bei einem zwölfkammerigen Ofen bei Nr. 10, 9, 8, 7 und 6. Ist Kammer 5 geschlossen, so haben die Wasserdämpfe erheblich abgenommen, sie verlieren sich beim Schließen von 4 ganz. Hierauf schließt man die Türschürlöcher von Nr. 3 und 2. Inzwischen ist das Schildwandfeuer zum Großfeuer verstärkt und nach einer Zeit von 12—18 Stunden gerät die zweite Hälfte von Kammer Nr. 1 und die erste Hälfte von Kammer Nr. 2 in helle Rotglut. Der Zug ist nun zu regulieren durch Schließen der Glocken 10 und 9, Öffnen von 8 auf das Maximum. Hat sich die Hitze in den genannten Kammern Nr. 2 und 1 zur Weißglut verstärkt, so wird weniger Kohle in die Heizlöcher gegeben. Nach 12 Stunden wird Glocke 8 gesenkt, 9 gezogen, damit Kammer Nr. 8 und $\frac{3}{4}$ von Kammer 9 um so mehr erwärmt werden. Nach abermals 12 Stunden wird Glocke 9 geschlossen und 10 gezogen. Zuerst erscheint dann Kammer Nr. 1 dunkel, weil der Zug auf einmal stark ist; dann wird Glocke 10 heruntergelassen und die erste Hälfte von Nr. 1 in Weißglut gebracht.

Während des Brandes sinkt natürlich der Kalk; die Größe des Sinkens betrug auf eine Höhe von 2.2 *m* bei

verschiedenen Kalksorten 62—78 *cm*. Dieses Sinken ist notwendig, um sicher zu sein, daß der Kalk gar wird. Kaliski betont, daß drei verschiedene Kalke zum Austreiben der Kohlensäure dieselbe Glut brauchten.

Gelegentlich eines Berichtes über das Labatlauer Kalkwerk (siehe weiter unten) macht Kaliski darauf aufmerksam, daß der Praktiker für den Ringofenbetrieb die Struktur des Kalksteines und den Kohlensäuregehalt desselben kennen muß, weil danach die zur Anwendung kommende Wärme, mithin der Zug, zu regulieren ist. Hydraulische Kalke, deren Kohlensäuregehalt unter 40% beträgt, verlangen nach ihm nur Rotglut; Dolomite, deren Kohlensäuregehalt dagegen mehr als 40%, verlangen schwache Weißglut, Urkalke kräftige Weißglut zum Garbrennen. *)

Auch Kalkringofenbesitzer Ketz in Belm verbreitet sich über den Kalkbrand im Ringofen und betont, daß die Zugkanäle, welche beim Einsetzen des Kalksteines auszusparen sind, viel größer sein müssen als beim Ziegelbrennen, weil hier mehr Gase abzuführen und höhere Wärmegrade zu erzeugen sind. Über das Setzen, Anfeuern *z.* läßt sich derselbe folgenderweise aus: das Setzen betreffend: Die Höhe der Zugkanäle beträgt 90 à 80 à 60 *cm* von der Außenseite nach der Innenseite des Ofens; Weite 20—25 *cm*. Die Feuerschachte werden bis zur Höhe der Kanäle zirka 40 *cm* und von da ab zirka 16 *cm* im Quadrat aufgeführt. Um die inneren Auskragungen entbehrlich zu machen, werden selbe nicht ganz vertikal, sondern etwas schräge oder schief, konträr der Zugrichtung ausgespart. Die Abweichung beträgt auf der Herdsohle zirka 20 *cm*. Diese Anordnung gewährt den Vorteil, daß die Heizschachte auf der Vorderseite einen treppenähnlichen Aufbau erhalten, auf dessen Vorsprüngen das Brennmaterial teilweise hängen bleibt. In allen anderen Beziehungen wird das Einsetzen nach der Instruktion exekutiert.

*) Notizblätter. 1873, S. 340.

Das Anfeuern. Die Inbetriebsetzung eines neu erbauten Ringofens gebietet weit größere Vorsicht als die Wiederaufnahme des sistierten Betriebes. In letzterem Falle kann das Verfahren vereinfacht werden, namentlich beim Kalkbrennen. Wir beginnen mit der Befuerung, sobald sieben Abteilungen beschickt sind. Es gewährt dies den Vorteil, daß man ungleich schneller über die Anfangsschwierigkeiten hinwegkommt. Um die erste Abteilung leichter und sicherer gar oder vollständig durchbrannt zu erhalten, sparen wir in der Höhe der Schildwand, etwas unter dem Gurtbogen, eine vierte Feuerstelle aus, welche so lange dicht verschlossen bleibt, bis die Glut in die oberen Partien getreten und dort mit Erfolg gefeuert werden kann. In diesem Feuer kann man eine sehr große Kraft entwickeln und die Glut der ganzen Abteilung mit Leichtigkeit zur Weißglühhitze steigern, da nunmehr die ganze Vorderpartie der Abteilung in energischem Angriff genommen ist.

Auch die Kostfeuerung in den Schürgassen der Schildwand hat sich bei uns nicht vollständig bewährt. Vermöge der notwendigen Höhenlage der Koste bestreichen die darauf erzeugten Feuergase nicht die Herdsohle; sie haben vielmehr das Bestreben, sich zu heben und sich immer mehr vom Herd zu entfernen. Aus diesem Grunde ist es schwer, wenn nicht unmöglich, die Abteilung durch und durch gar zu brennen. Erheblicher ist jedoch noch ein zweiter Übelstand, der hieraus resultiert: dies betrifft die Aufnahme der Schachtbefuerung. Ist nämlich der Herd nicht glühend und heißer als die aufsteigenden Partien, dann brennt das Brennmaterial nicht rein ab und es gibt leicht Übelstände. Um nun von vornherein die Herdsohle möglichst zu erreichen, lassen wir in den Schürgassen die Koste gänzlich weg und beseuern mit gemischtem Brennmaterial: Holz und Kohlen. Jedoch legen wir vorne in den Schürgassen einen starken Eisenstab quer durch, in einer Höhe von 40—45 cm, welcher den Holzscheiten zum Träger dient. Auf diese Holzscheite, welche nach dem Innern der Abteilung den Herd berühren, bringen wir eine Charge von größeren Stück-

fohlen. Diese Holzlagerung ersetzt also gleichsam die Kroststäbe. Bei der nach innen geneigten Lage streicht der horizontale Luftzug in einem gewissen Winkel hindurch und trifft in jedem Punkte die Glut. Nicht allein wird die Herdsohle gehörig ergriffen, sondern es kann auch keine kalte Luft in den Ofen fallen, was aber bei Krostfeuerung in erheblichem Maße der Fall ist, da hier kalte Luft durch den Aschenzug in den Ofen gelangt.

Auch die Schmauchfeuer an den Eingangsthüren werden von uns nicht lange unterhalten. Es erscheint dies beim Kalkbrennen zwecklos, ja sogar nachtheilig. So lange dieselben unterhalten werden, ist keine energische Spannung, kein hoher Wärmeeffekt im Ofen zu erzielen. Wir schließen die Schmauchfeuer bereits nach 24 Stunden bis auf 1 oder 2, und auch diese nach kurzen Intervallen. Sobald der Ofen vollständig geschlossen ist, entwickelt sich das Feuer mit akzelerierter Geschwindigkeit und ein flottes Beschicken ist daher unerlässlich. Gewöhnlich können wir schon am dritten Tage mit der Befuerung von oben herab nachhelfen, bis allmählich der geordnete Betrieb erzielt und das Feuer in den Schür-gassen nur zur Verhütung der raschen Abkühlung, d. h. zur Deckung des anderen mäßig unterhalten wird. Tritt das Feuer aus der zweiten Abtheilung heraus in die dritte, sind also die ersten beiden fertiggestellt, dann werden die Schür-gassen nicht mehr befeuert; es macht sich im Gegenteil der Umstand geltend, die Schildwand oben zu durchbrechen, um nach und nach dem Feuer mehr Speiseluft zuzuführen, deren es in einem erhöhten Maße bedarf. Wollte man beim Kalkbrennen die Schildwand bis zum Eintritte des Feuers in die vierte und fünfte Abtheilung intakt lassen, so würde man nach unseren Erfahrungen nicht vorankommen; das Feuer erstickt.

Befeuerungsmethode. Wir haben normal vier Schachtreihen in der Befuerung. In den beiden letzten steigt das Brennmaterial bis ans Gewölbe; sie werden also gefüllt erhalten, während in den beiden vorderen auf den Herd befeuert wird. Das Chargieren geschieht nach

dem Schlage der Uhr jede Viertelstunde. Die beiden hinteren (gefüllten) Schachtreihen werden in gemessenen Intervallen aufgestakelt und von neuem mit Stückkohlen gefüllt. Der glühende Koks fällt auf den Herd und entwickelt dort eine energische, andauernde Wärme. Wir betrachten die hinterste Schachtreihe als Deckungsreihe der Abtheilung und unterhalten darin zwar ein kräftiges, aber kein zu intensives Feuer. Die Schachte derselben werden daher nicht so oft, wie die folgenden, durchgestakelt und aufgesetzt (wie unsere Brenner dies nennen), etwa alle $1\frac{1}{4}$ — $1\frac{1}{2}$ Stunden. Die folgende Schachtreihe wird dagegen als die Leistungsreihe — welche den Hauptanteil an der Expulsierung der Kohlensäure hat — aufgesetzt und es gilt daher als Regel, dieselben recht nachhaltig und energisch zu beseuern. Diese Schachte werden jede $\frac{3}{4}$ Stunden aufgestakelt und von neuem beschickt. Unabhängig hiervon geht die gewöhnliche Chargierung vor sich, und zwar jede Viertelstunde. In der vorderen Schachtreihe anfangend, werden die Feuerschachte alle auf einmal befeuert, vorne schwach, hinten mäßig stark, in der Mitte stark.

Hier noch folgende Anmerkung: Ist die sogenannte Weißglut an eine Schachtreihe herangetreten, dann gilt es ganz besonders, dieselbe so lange recht lebhaft zu unterhalten, bis die Zone der Schachtreihe zur Gare übergeführt ist. Vernachlässigt der Brenner diese Vorschrift und die Weißglut schreitet im Ofen weiter, ehe sie ihre Arbeit gehörig vollbracht hat, dann ist das Versäumte nicht mehr nachzuholen. Die Weißglut läßt sich, um mich so auszudrücken, zum zweiten Male nicht wieder vorsehren; alles fleißige Bedienen, alle Mühe ist vergeblich; die Schachtzone wird nicht durchgar und es gibt sogenannte Dreckschachte. Wird aber der rechte Zeitpunkt auch jedesmal in der rechten Weise wahrgenommen, so gibt es wahre Musterbrände; das Feuer schreitet erstaunlich rasch voran und die gebrannten Abtheilungen sind rein und tadellos. Ganz besonders bewahrheitet sich der Satz: »Je kürzer der Brennprozeß, desto besser löscht der Kalk und desto ergiebiger ist er und — desto weniger Brennmaterialverbrauch«.

Die Zugstärke und das Voranschreiten des Feuers. Ein doppelter Grund macht die Anwendung eines starken Zuges beim Kalkbrennen durchaus notwendig. Die trägen kohlenfauren Gase können nur durch einen kräftigen Zug fortgetragen werden. Zudem erfordert auch die Erzeugung der zum Kalkbrennen nötigen Wärmegrade einen lebhaften Zug. Ist der Zug zu schwach, um die austretenden kohlenfauren Gase schnell und gründlich zu entfernen, so gibt es ein mangelhaftes Fabrikat, das nur träge und unvollständig löscht. Desgleichen ist die Entwicklung des Feuers behindert und schreitet nur langsam voran. Ein guter Brenner operiert in der Regel mit starkem Zuge; nur selten werden Moderationen bei ihm nötig. Mit der Stärke des Zuges hängt auch die Bewegung der Wärme, respektive das Fortschreiten des Feuers innig zusammen, es sei denn, daß die Zugkanäle zu klein seien oder aber sich unverbrannte Kohlenreste darin angesammelt haben würden. Aber auch dieser Übelstand kommt bei einem guten Feuer nicht vor, wenn anders die Kohle keine sehr backende und unreine ist. Sollten aber hin und wieder einzelne Schachte fest (verstopft) werden, so lasse man sie so lange ruhig stehen, bis sie hell werden, d. h. die Kohlenmasse darin durchbrannt ist.

Sowohl mit der Aufnahme neuer Schachte in den Turnus der Befehuerung als mit dem Absetzen der fertig gebrannten sei man vorsichtig; erstere dürfen nicht zu früh und nicht zu stark beschickt, letztere nicht zu lange unterhalten werden. Wir setzen die letzte Schachtreihe ab, wenn die vorletzte beinahe das nötige Schwindmaß — das untrüglichsste Kennzeichen für die Gare des Kalkes — aufweist, und sehen zu, daß die letzte reichliche Chargierung auch vollständig abbrennt und die Zugwege nicht behindert.

Bei einer Zugregulierung von zwei Glocken hoch, die dritte halb hoch, brennen wir in 24 Stunden eine Abtheilung ab, und wenn nötig, in 20 Stunden. Fehlbrände kennen wir nicht mehr, und unser Kalk, der meistens nach dem Rhein hin abgesetzt wird, ist gesucht.

Was die Erfolge des Ringofens anbetriefft, so liegen darüber Erfahrungen vor u. a. von dem Kalkwerke Dornap (Westphalen). Der Besitzer H. Meyberg vergleicht die Brennresultate des Kalkringofens mit demjenigen eines Trichterofens.*)

Der Trichterofen liefert täglich zirka 30.000 kg gebrannten Kalk.

Der Ringofen liefert täglich zirka 23.300 kg gebrannten Kalk.

Der Trichterofenkalk	beträgt per Waggon	46·46 hl
» Ringofenkalk	» » »	54·96 »

ist also beinahe $\frac{1}{10}$ leichter als ersterer. Die Wiederverkäufer verlangen daher Trichterofenkalk, wenn sie nach dem Gewicht verkaufen; Ringofenkalk, wenn sie nach dem Volumen verkaufen.

Bei Gelegenheit des Baues einer Ruhr-Brücke lieferte das Werk 20 Waggon Kalk im gelöschten Zustande.

Jeder Waggon Ringofenkalk, à 54·96 hl, lieferte 18·53—18·70 m³ gelöschten Kalk, jeder Waggon Trichterofenkalk, à 49·46 hl, dagegen nur 12·36 m³.

Weitere Ergänzungen gibt Meyberg**) über den Betrieb seines Kalkwerkes im Jahre 1871.

Es wurden in diesem Betriebsjahre gebrannt:

Im Ringofen.

2397 $\frac{5}{12}$	Waggon Kalk	à 5000 kg mit
292 $\frac{1}{2}$	»	Kohlen für
9888·25	Mark	Löhne.

Im Trichterofen.

2066	Waggon Kalk	mit
348·88	»	Kohlen für
4955·—	Mark	Löhne.

*) Notizblätter. 1870, S. 211.

**) Notizblätter v. A. Türschmiedt. 1871, S. 127.

Sie ergaben an gebranntem Kalk:

im Ringofen:	im Trichterofen:
1120 Waggon \bar{s}	918 $\frac{1}{2}$ Waggon \bar{s} .

Davon erforderten 5000 *kg* gebrannten Kalkes:

1.300 <i>kg</i> Kohlen besserer Qualität	1.900 <i>kg</i> Kohlen geringerer Qualität
8.82 Mark Löhne	5.52 Mark Löhne
10.700 <i>kg</i> Kalksteine	11.250 <i>kg</i> Kalksteine,

wobei der Ringofen fast keine Kalkasche, der Trichterofen dagegen großen Verlust an Kalkasche brachte.

Es kostete somit ein Waggon Kalk:

im Ringofen;	im Trichterofen:
Kohlen . . . 15.75 Mark	Kohlen . . . 15.90 Mark
Löhne . . . 8.20 »	Löhne . . . 5.50 »
Steine . . . 12.85 »	Steine . . . 13.50 »
Summa 36.80 Mark	Summa 34.90 Mark.

Der Waggon Ringofenkalk wurde um 3.35 Mark teurer als Trichterofenkalk verkauft; Kalkasche, wenn sie überhaupt verkäuflich, kostet $\frac{1}{4}$ vom Trichterofenkalk.

Da der Ringofenkalk leichter und ergiebiger als der Trichterofenkalk (siehe oben) — jener erlaubt 54.96 *hl* per Waggon zu laden, dieser nur 49.46, jener gab 0.74 bis 0.77 *m*³ per Tonne gelöscht, dieser nur 0.52—0.55 — so hält der Ringofenkalk die Konkurrenz somit auf ganz erheblich größere Entfernungen aus und bringt ein kulanteres und lukrativeres Geschäft als Trichterofenkalk.

Auch Kaliski hat neuerlich Erfahrungen über verschiedene Ringofenkalkwerke veröffentlicht, aus welchen zunächst hervorgeht, daß der Ringofen die alten periodischen und Trichteröfen mehr und mehr verdrängt.

So arbeitet das Kalkwerk Sezdorf in den nordöstlichen Ausläufern der Sudeten mit 5 Ringöfen und brennt einen sehr reinen Kalkstein, der zu chemischen Zwecken, für Zucker- und Gasfabriken zu verwenden und welcher einen

zwar langsam erhärtenden, aber sehr festen Mörtel gibt. Der Kalkstein brennt sich schwer, verträgt die stärkste Weißglut; $1 m^3$ gebrannten Kalkes gibt über $5 m^3$ gelbsten Kalk von schneeweißer Farbe.

In Labatlan an der Donau (Komorner Komitat) arbeitet ein 16kammeriger Ringofen mit 50.000 kg Inhalt und gibt befriedigende Resultate.*)

5. Der Kanalofen.

Bekanntlich beginnt neuestens dem Ringofen in der Ziegelbrennerei Konkurrenz zu machen der auf gleichen Grundsätzen beruhende Kanalofen von D. Bock. Bei demselben ist das Brenngut beweglich, das Feuer festliegend, während bei dem Ringofen das Entgegengesetzte der Fall ist, nämlich das Brenngut festliegt, dagegen das Feuer wandert.

Der Bock'sche Kanalofen besteht aus einem gemauerten Kanal von zirka 40 m Länge, der an einer bestimmten, nahe der Mitte seiner Länge befindlichen Stelle einen feststehenden Herd hat und durch dessen Feuer erhitzt wird. Die Brennobjekte gelangen auf beweglichen Plattformen in den Kanal, erwärmen sich auf dem Wege zur Feuerstelle durch die abziehenden Feuergase sukzessive und schmanchen so ab, werden dann an der Feuerstelle gar gebrannt und durchlaufen, sich allmählich abkühlend und dabei die über sie streichende Verbrennungsluft erwärmend, das entgegengesetzte Ende des Kanales, um beim Heraustreten aus demselben verladen zu werden.

Das Prinzip dieses Ofens war bereits früher von Borrie in Commercy bei Paris für Konstruktion eines Tonwarenbrennofens benützt worden, ohne daß derselbe reussierte.

Die Figuren 16—21 versinnlichen uns die Konstruktion des Bock'schen Kanalofens.

*) Notizblätter. 1873, S. 390.

Derselbe bildet einen geradlinigen horizontalen Kanal von 50—60 *m* Länge, 1—1·5 *m* Breite und 1—1·4 *m* Höhe. Er ist aus Bruchsteinen oder Ziegelsteinen aufgemauert und im Feuerraum mit Schamottesteinen ausgefüllt (Fig. 16, 17, 18).

Fig. 16.

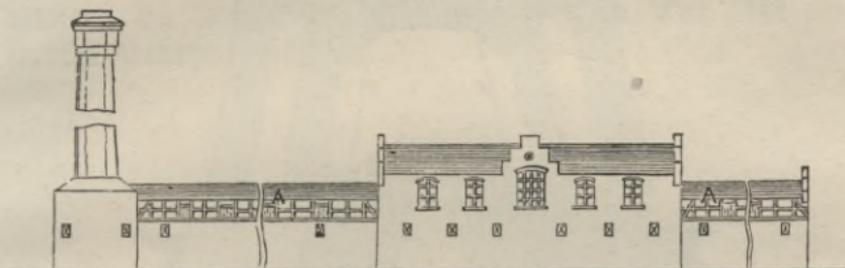


Fig. 17.

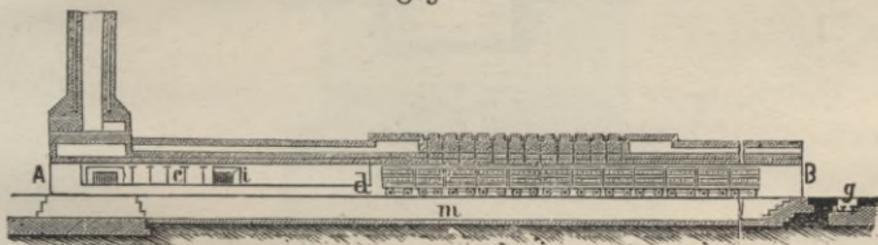
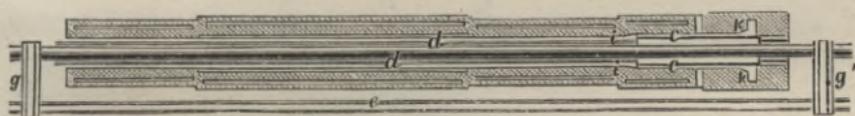


Fig. 18.



Wie aus dem Querschnitt Fig. 19 hervorgeht, ist der Kanal nach unten hin mit treppenförmigen Absätzen versehen. Auf dem oberen Absatz liegen die gußeisernen Rinnen *a a* zu beiden Seiten des ganzen Ofens; der untere trägt die Schienen *d d*, die durch Schiebebühnen *g g'* an beiden Ofenenden mit dem Geleise *e* in Verbindung stehen.

Auf die Schienen im Innern des Ofens werden kleine Wagen geschoben, die aneinandergeschlossen, den Ofen seiner

ganzen Länge nach ausfüllen. Diese Wagen werden vorher außerhalb des Ofens mit dem zu brennenden Kalkstein beladen.

Fig. 19.

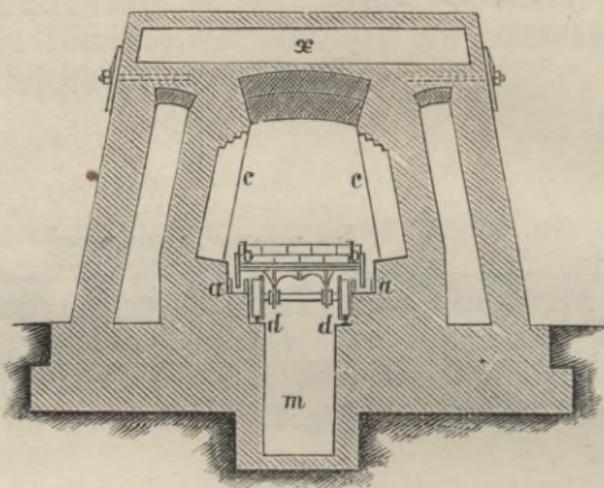
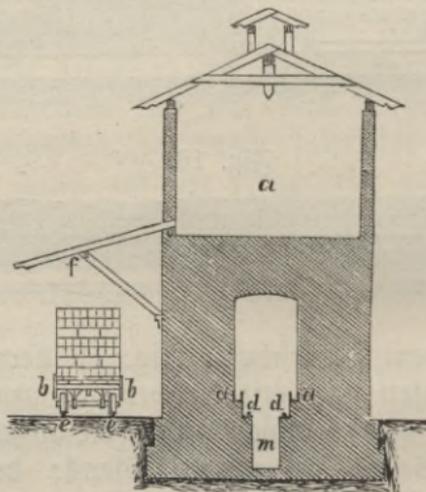


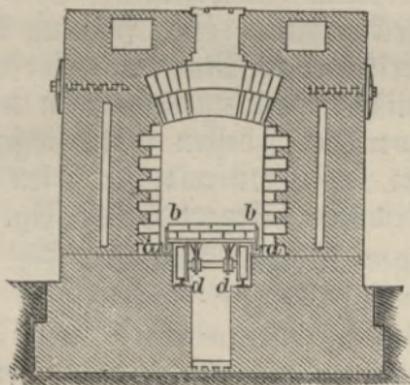
Fig. 20.



Die Seiten des Wagens haben noch unten die Ränder *b b*, die in die mit Sand gefüllten Rinnen *a a* eingreifen und hierdurch beim Betriebe den ganzen Ofen in zwei

luftdicht getrennte Teile scheiden (Fig. 19 und 20). Die Wagen sind untereinander durch Federn und Nuten o verbunden. Die Nuten werden mit weichem Lehm ausgeschmiert, in letzteren drücken sich die Federn fest ein und bewirken einen luftdichten Verichluß (Fig. 20). Um ein Verbrennen der Eisenteile des Wagens zu verhüten, wird derselbe von oben mit zwei Schichten Ziegelsteinen bemauert, die Luftströmung in dem unteren Teil läßt ein zu starkes Erhitzen nicht zu.

Fig. 21.



Die Intriebssetzung des Ofens erfolgt nun in folgender Weise. Von dem Schornsteinende her werden ein mit Koft versehener Feuerwagen und ein mit Kalk beladener Wagen in den Ofen eingefahren und derselbe dann mit einer transportablen Tür verschlossen. Nachdem das Mauerwerk an der betreffenden Stelle erwärmt, schiebt man weitere Wagen ein, bis man zu dem Brennraum gelangt. Von hier aus findet das Feuern von oben statt durch Einstreuen von Brennstoff zwischen die glühenden Massen. Den Feuerwagen kann man nun entfernen. Die Heizöffnungen sind schlitzförmig und treffen immer auf den Zwischenraum, den zwei aufeinanderfolgende Wagen bilden (Fig. 21).

Die Kalksteine werden auf ihrem Wege zum Feuerraum allmählich angewärmt bis zur Rotglut, über diesen Raum hinaus findet wieder ein Abkühlen statt durch die an der Ausfahrt des Ofens eintretende frische Luft. Die Ausfahrtsöffnung am Kühlende ist ebenfalls mittels einer auf Räder und Schienen laufenden Tür verschließbar. Dieselbe liegt unmittelbar vor dem letzten Wagen und hat eine verstellbare Öffnung zur Regulierung des Luftzutrittes. Die eintretende Luft erwärmt sich hierbei an den gebrannten und abzukühlenden Steinen und gelangt mit hoher Temperatur in den Feuerraum.

Es wird hierdurch eine wesentliche Ersparnis an Brennmaterial und Zeit erzielt. Zur Heizung ist ein möglichst trockenes und zerkleinertes Material erforderlich. Um dies immer zu haben, hat man den Kanalofen mit einem Unterbau (Fig. 16) versehen, dessen höherliegende Mitte das Brennhaus bildet, von wo aus der Ofen durch die Heizöffnungen im Gewölbe befeuert wird (Fig. 21).

Der niedriger liegende Teil A (Fig. 16—19) dient als Trockenraum für Kohlen. Vorteilhaft ist es ebenfalls, das äußere Schienengeleise zu überdachen (Fig. 19), damit die mit Isolierschichten von Mauerwerk versehenen Wagen bei Regen nicht leiden.

Innerhalb einer, respektive zwei Stunden wird ein frischer Wagen eingebracht; die ganze Reihe ist in dieser Zeit durch einen Mechanismus um eine Wagenlänge vorwärts gebracht. Dieser Mechanismus ist meist eine Schraube mit Hand-, Göpel- oder Dampfbetrieb.

Die Tür der Einfahrtsöffnung wird von dem bewegenden Motor mittels einer Druckstange so lange auf den Schienen mit fortbewegt, bis der Wagenzug um eine Wagenlänge vorwärtsgebracht und der Raum für einen nun wieder einzufahrenden Wagen frei ist. Nach Entfernung der Druckstange wird die Tür zurückgerollt, der neue Wagen eingeschoben und der Ofen wieder durch die Tür verschlossen.

Die zuletzt eingeführten Kalksteine erwärmen sich allmählich, wobei das Schmauchen der Steine eintritt, d. h. das dem Kalk mechanisch und hygroskopisch beigemengte Wasser entweicht in Dampfform.

Um die Flugasche unschädlich zu machen, hat Bock folgende Konstruktion angewandt. In einer gewissen Entfernung von der Einfahrt des Ofens, nach dem Feuerraum zu, treten die Seitenwände des Kanalofens etwas zurück (Fig. 17) und gehen in der neuen Breite bis zu den Schornsteinkanälen. Die ursprüngliche Breite läuft aber ebenfalls bis zur Ofeneinfahrt, wie aus Fig. 15 ersichtlich, und ist nur an der Erweiterungsstelle i des seitlichen Mauerwerkes durch eine abgeschrägte Öffnung i durchbrochen. Diese geradlinige Fortsetzung des seitlichen Mauerwerkes wird durch ineinandergeschobene Eisenplatten c gebildet, zwischen denen und dem zurückspringenden Mauerwerk ein kanalartiger Raum entsteht, der durch einen seitlichen Rauchkanal K mit dem Schornstein kommuniziert.

Feuergase und Flugasche treten nun in die Ausströmungsöffnungen i und gelangen zwischen dem eisernen Einsatze und den erweiterten Ofenwänden durch i ins Freie. Die eisernen Wände entziehen daher den Feuergasen viel Wärme und geben sie zum Erwärmen der Kalksteine und zum Verdampfen des eingeschlossenen Wassers wieder her. Die sich bildenden Wasserdämpfe sind nun gezwungen, denselben Weg wie die Feuergase zum Entweichen zu nehmen, müssen also wieder rückwärts streichen. Dabei passieren sie den heißen Teil, die Mitte des Ofens, werden höher erwärmt und verlieren das Bestreben, sich zu kondensieren. Durch Einführen erwärmter Luft in seitliche Öffnungen des Ofens wird das Entweichen der Wasserdämpfe wesentlich beschleunigt.

Die Schmauchzeit ist hier eine sehr kurze, ebenso die Abkühlungszeit, da andere Öfen zu diesen Prozessen so viel Tage wie der Kanalofen Stunden gebrauchen.

Statt der anfangs gußeisernen Wagen, welche vielfach sprangen, benützte der Erfinder später schmiedeeiserne und

ließ dabei die Kanten an der Plattform weg; die Bewegung wurde nicht mehr durch eine Schraube, sondern durch eine hydraulische Presse oder einen Flaschenzug hervor gebracht. Der Querschnitt der Öfen war ferner auf $1\frac{1}{2} m$ verbreitert.

Für einen zum Kalkbrand bestimmten Ofen zu Hildesheim sind die Wände schräg konstruiert; derselbe ist 1 m breit und soll mit 1500 kg Kohle 10.000 kg Kalk brennen, allerdings auch die Schwierigkeiten bieten, den Kalk rein zu erhalten.

Über den Wert des Kanalofens gegenüber dem Ringofen sind die Praktiker verschiedener Meinung. Man hebt hervor, daß eine wesentliche Brennstoffersparung wohl nicht, aber auch kein Mehraufwand zu erwarten, daß die Leistungsfähigkeit, auch der Betriebsaufwand und die Qualität der Ware die gleichen des Ringofens sein dürften, dagegen erleichtere er das Ein- und Aussetzen der Ware bedeutend, lasse sich leicht translozieren, da fast das ganze Anlagekapital bis auf den Kanal beweglich, und sei leicht zur Gasfeuerung einzurichten, auch mit Trockenöfen zu verbinden.

6. Gaskalköfen.

Die Verbrennung in unseren gewöhnlichen Feuerungen hat bekanntlich bei vollkommener Ausnützung der Brennstoffe mit zwei Schwierigkeiten zu kämpfen, nämlich:

a) ist sie eine vollkommene, so bedarf sie großen Luftüberschuß und die Folge derselben ist Herabdrückung der Verbrennungstemperatur;

b) ist sie eine unvollkommene, bei nicht ausreichender Luftzufuhr, so entstehen zwar hohe Temperaturgrade, aber infolge unvollkommener Verbrennung der Brennstoffe auch bis zu $\frac{1}{3}$ steigende Wärmeverluste.

Bei Konstruktion der Verbrennungsapparate ist also die Aufgabe zu lösen, durch passende Luftzufuhr die Verbrennung zu einer möglichst vollkommenen zu machen und dabei Temperaturgrade zu erzeugen, wie sie für einen be-

stimmten Zweck verlangt werden. Wie sie für einen bestimmten Zweck verlangt werden deshalb, weil manche Industrien große Wärmemengen und verhältnismäßig niedrige Temperaturen, andere dagegen weniger große Wärmemengen, dagegen intensive, hohe Hitzegrade verlangen.

Am vollkommensten gelingt es, die Schwierigkeiten dieser Doppelforderung, wovon die eine die andere bis zu gewissem Grade ausschließt, durch die Gasfeuerung zu überwinden. Bei dieser erzeugt man durch eine unvollkommene Verbrennung eines Brennstoffes zunächst und abgesehen brennbare Gase (Kohlenoxyd), und erst diese werden mit einem leichter zu bemessenden, auch vorzuwärmenden Luftquantum vermischt an der Brennstätte zur Verbrennung gebracht. Das Vorwärmen der zur Verbrennung notwendigen Luft ist deswegen von hoher Bedeutung, weil kalte Luft sich erst auf die Entzündungstemperatur des Brennstoffes zu erwärmen hat, ehe sie diesen verbrennen kann, weil sie während dieser Erwärmung sich in dem Verbrennungsraume ausdehnt, fortbewegt, so daß nicht allein eine ziemliche Zeit zur Verbrennung nötig ist, sondern auch die Wärme über einen größeren Raum verteilt und aus der Nutzzone des Verbrennungsraumes fortgeführt wird.

Die Wichtigkeit solcher Vorwärmung der Speiseluft zur Erzeugung hoher Temperaturen erkannte bereits Leuchs 1822, sie hat im Hüttenwesen seit dieser Zeit die ausgedehnteste Anwendung gefunden.

Der Gedanke, statt fester Brennstoffe gasförmige anzuwenden, rührt von Aubertôt 1812 und Lampadius 1830 her und wurde zuerst von Favre du Faur für die Industrie nutzbar gemacht. Seine Ausführung ist von eminenter Bedeutung geworden, denn die Gasfeuerung macht auch die Ausnützung fester Brennstoffe geringerer Qualität (bröckeliger Torf, Braunkohle, Steinkohlengrus), die für sich die notwendige Hitze nicht entwickeln oder verunreinigende Stoffe in das Brennobjekt überführen, noch für technische Zwecke möglich. Denn brennbare Gase

können ebenso aus schlechten wie aus guten Brennstoffen erzeugt werden; sie liefern ein von schädlichen Stoffen freies Feuer, hohe Temperaturen und, was die Hauptsache ist, ihre Verbrennung läßt sich sehr leicht regulieren, so daß man es in der Hand hat, nach Bedürfnis alle möglichen Hitzegrade mit Leichtigkeit hervorzubringen. Allerdings darf dabei nicht vergessen werden, daß von der aus dem Brennstoff überhaupt erzeugbaren Wärmemenge durch diese Vergasung ein Teil verloren geht, der eben für den Prozeß notwendig, daß also die aus dem festen Brennstoff überhaupt erzeugbare Wärmemenge größer ist als diejenige, welche durch das daraus hervorgegangene Gas hervor gebracht werden kann.

Hat die Pyrotechnik von der Gasfeuerung für die verschiedensten Industrien Gebrauch gemacht, so lag es auch nahe, dieselbe für den Kalkbrand in geeigneter Weise auszunützen. In der That ist dieser Weg bereits seit Anfang der sechziger Jahre betreten worden und hat sich zuerst der Ingenieur Ferd. Steinmann in Dresden bemüht, rationelle Kalköfen für Gasfeuerung zu konstruieren und in die Praxis einzuführen. Seinen Bemühungen ist es namentlich zu danken, daß gegenwärtig in einer Anzahl Fabriken, namentlich Zuckerfabriken, der Gaskalkofen in Tätigkeit sich befindet.

In den Zuckerfabriken wird gebrannter Kalk zur Läuterung des Zuckersaftes, die beim Brennen des Kalkes erzeugte Kohlensäure dagegen zum Entkalken des Saftes benützt. Die zur Herstellung größerer Mengen Kohlensäure benützten älteren Kalköfen litten an dem Übelstande, daß zur Verbrennung des Brennmaterials eine weit größere Menge von atmosphärischer Luft erforderlich ist, als die theoretisch berechnete Menge beträgt. Die Folge davon ist, daß die aus den Öfen entweichende Kohlensäure mit erheblichen Mengen Luft verdünnt ist und deren Sauerstoff einen Verlust an kristallisierbarem Zucker im Saft erzeugt. Bei Anwendung der Gasfeuerung läßt sich dieser Übelstand beseitigen, denn diese gestattet, mit dem denkbar kleinsten

Zuftüberschuß zu arbeiten und den Brennstoff der Gase in Kohlensäure überzuführen.

In einer bereits 1868 von Steinmann herausgegebenen Arbeit*) wurde darauf aufmerksam gemacht, daß bei der Kalkbrennerei, deren Rohmaterial einen sehr geringen Wert hat, es mehr als anderswo auf Ersparung von Brennstoff ankomme, und daß hier mehr als irgendwo die Qualität des Produktes durch die Qualität des Brennstoffes beeinflusst werde.

Den Kalk mit geringer Kohle und Torf zu brennen, sei fast unmöglich wegen des massenhaften Verbrauches und der Gefahr für das Produkt, während Holz zu teuer ist. Dieser Umstand, verbunden mit der Tatsache, daß die Kalköfen mit direkter Feuerung die Umgebung stark belästigen, führten auf die Anwendung der Gasfeuerung, deren Vorzüge in Kürze folgende sind:

1. Sie gestatten die Anwendung jeden Brennstoffes für die Kalkbrennerei (starkbackende Steinkohle ausgenommen);
2. die Rauchverzehrung ist vollständig;
3. daher braucht man nur etwa 25—40% Brennstoff (auf 100 Kalk), während gewöhnliche Öfen 60 bis 100% bedürfen;
4. hier hört auch die Belästigung der Umgebung auf;
5. das Produkt ist rein, frei von Schlacke und Asche und hat größeren Wert;
6. der Betrieb ist einfacher;
7. Holz wird entbehrlich;
8. die maximale Leistung des Ofens läßt sich um 30% verringern, was ein erheblicher Vorteil für den Brenner, welcher sich nach der schwankenden Nachfrage zu richten hat.

Die Versuche, welche Steinmann 1862 auf dem Dreikönigschacht bei Tharand anstellte, ergaben, daß das Gas nur seitliche Einleitung in den Ofen gestatte, was

*) Compendium für Gasfeuerung von Ferd. Steinmann, Freiberg, 1868. Dinglers Journal 1871, S. 144 und 200.

eine gewisse Weite des kreisrunden Schachtes voraussetzt; die später 1864/65 wiederholten Versuche in der Zuckerfabrik zu Gröbzig bei Cöthen führten zu besseren Resultaten. Diese ersten Versuche (1862) wurden auf Veranlassung von Hans Siemens angestellt, der sich die Aufgabe gestellt hatte, die Verbrennungsluft vor ihrer Mischung mit dem Gase durch die gebrannte Kalkmasse zu leiten und damit einen doppelten Zweck zu erfüllen: nämlich die dem Kalk innewohnende Temperatur auf die Luft zu übertragen und denselben zugleich auf diese Weise abzukühlen.*)

Gasalkofen und Basteiofen von Steinmann.

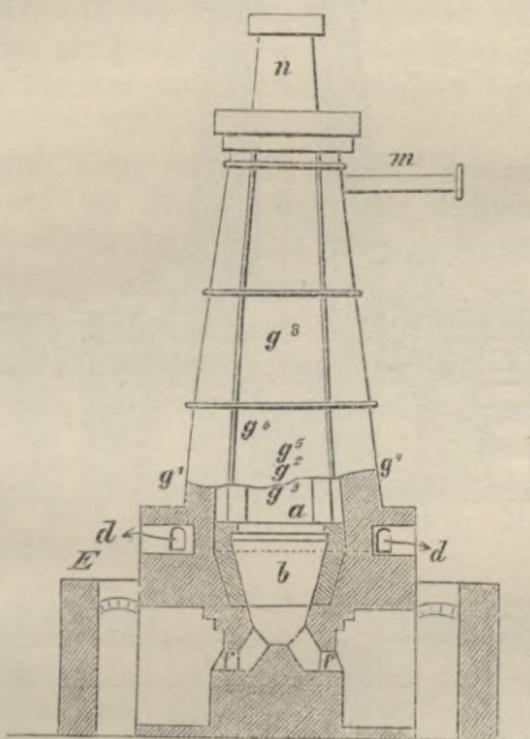
Die Anwendung des Kalkes in der Zuckersiederei zur Sättigung des rohen Zuckersaftes und Reinigung desselben von organischen und anorganischen Körpern ist bekannt; die Schwierigkeit, einen reinen Ätzkalk und zur Versehung des Zuckerkalkes eine reine Kohlenäure zu beschaffen, den Zuckersiedern ebenfalls. Bis in die Gegenwart benützte man hierzu die Koksöfen und zu deren Betriebe, beste englische Koks; die Gasfeuerung gestattet die Verwendung jedes anderen Brennmaterials. 1864/65 errichtete Steinmann den ersten Gasofen für die Duxer Zuckerfabrik-Aktiengesellschaft; seit dieser Zeit hat sich derselbe für die Zwecke der Zuckerfabrikation und der Kalkbrennerei mehr und mehr eingebürgert und Anerkennung erworben. Als Feuerungsmaterial dienen Braunkohlen, Lignit, Torf, Holz. Der weiter beschriebene Ofen (Fig. 22 und 23) erläutert das Prinzip und ist mit Braunkohle oder Lignit zu betreiben; er dient zum Kalkbrennen wie zur Produktion von Kohlenäure.

a Gicht, deren Futter vom Mantel durch eine Isolierschicht aus Sand getrennt, b Kof (dieser enthält bereits gebrannten Kalk), c c die Gasdüsen, die mit Ringanal

*) Kompendium für Gasfeuerung von Ferd. Steinmann, Freiberg 1868, S. 96. Dinglers Journ. 1871, S. 144, 200.

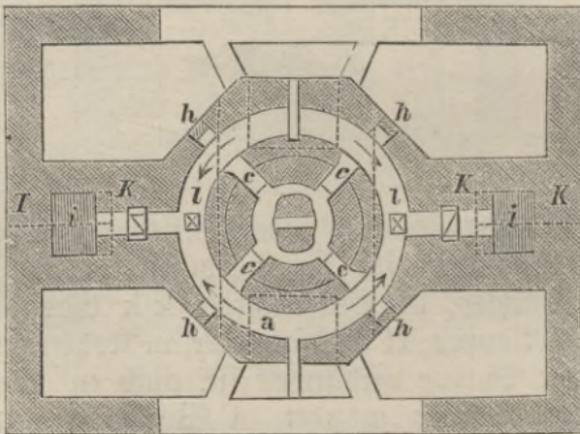
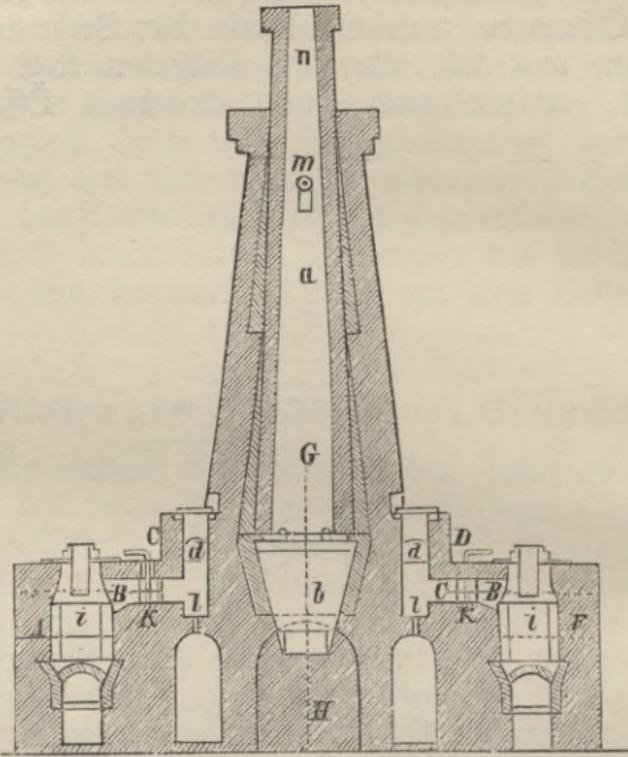
d d kommunizieren. B Gaszuleitung, ff Falltüren zum Ziehen des gebrannten Kalkes (sie sind mit 10—13 cm weiten Öffnungen versehen, damit die Verbrennungsluft eindringen und sich, über den glühenden Kalk der Kasten strömend, erhitzen auch durch beliebiges Öffnen oder

Fig. 22.



Schließen die Verbrennung nach Belieben geregelt werden kann). h h Fußlöcher für die Gasdüsen, g_1 bis g_5 Schaulöcher mit Büchsen, i i Generatoren, k k Gasabsperr- und Regulierungsflappen, ll Teersammler, m Kohlensäureleitung, die mit einer Pumpe verbunden ist, auch in einen Wasserwäscher oder Laveur mündet, n Windfang mit der Beschickungstür.

Fig. 23.



Der neugebaute Ofen ist zunächst durch ein 72stündiges Schmauchfeuer bei Öffnung der Generatordedeckel auszutrocknen; hierauf das Kanalsystem von der Flugasche zu säubern.

Bei Beginn des Brandes wird nun Kalkstein in Kopfgröße mittels Kübeln eingegeben und durch einen Arbeiter gleichmäßig und unter Freilassung der Abzüge verteilt. Ist dies bis zur halben Gicht erfolgt, so sind die Falltüren auf 13—15 cm Weite zu schließen und es beginnt das Vorfeuer, ein Holzfeuer, das 2—3 Tage ununterbrochen dauert und die vier unteren Schaubüchsen dunkelrotglühend macht.

Während dieser Zeit füllt man die Generatoren derart, daß man auf die Koste zuerst eine Schicht Hobelspäne, darüber Scheitholz, dann Kohle bis zum Rande der Zargen eingibt.

Jetzt wird das Vorfeuer gelöscht und der Brand in den Generatoren begonnen. Zur raschen Gasentwicklung öffnet man den Zargendeckel eine halbe Stunde, setzt ihn dann auf und öffnet die Absperrklappen wenig, um die Gase allmählich zu entzünden. Die Zargen der Schüttverschlüsse sind stets voll Wasser zu halten, die der Reinigungsverschlüsse voll Sand.

Nach zwei Stunden seit Zulassung des Gases zur Gicht beginnt zu beiden Seiten des Ofens rasch und gleichmäßig das Kalkziehen und wird nun in Pausen von wenigstens 1½ und nicht über 3 Stunden regelmäßig wiederholt, auch an der Gicht Kalkstein nachgefüllt. Für die Bedienung der Generatoren empfiehlt der Verfasser: Anwendung lufttrockener Kohle, je 4—6 Körbe (à 20—25 kg) für beide Generatoren. Beim Aufschütten wird zunächst die betreffende Klappe geschlossen, um die Bildung von Knallgas zu vermeiden. Das Füllen muß rasch geschehen, auch die Zarge sogleich nach Eingabe eines Kübels wieder mit einem Deckel verschlossen werden; ist dies geschehen, so wird sogleich die Klappe wieder geöffnet.

Die Koste sind vor dem Füllen zu schüren; der Schürer öffnet dazu zwei kleine Kapseln der Generatorplatten nacheinander und stößt die Schlacken vorsichtig ab, geht dann in die Grube und reißt die Schlackentrümmer heraus. Ein zum Brennen taugliches Gas zeigt eine strohgelbe bis olivengrüne Färbung, unreife, nicht brennbare Gase sind rauchschwarz bis weißlich und entstehen bei starker Verschlackung des Generators. Der normale Gang des Generators läßt sich stets daran erkennen, daß sämtliche Deckel, Platten und Klappen sich nur handwarm anfühlen und nicht heißer werden. Das Gasschüren ist in 8—12 Tagen zu erlernen; der Schürer darf nie das Gesicht über die Schüttöffnung halten. Die Generatoren werden alle 3 bis 6 Stunden gefüllt.

Die Verbrennungsluft wird durch die Löcher der Falltüren zugeführt; die zum Kalkbrennen notwendige Hellrotglut läßt sich leicht erzielen und einhalten.

Das Reinigen der Kanäle *cc.* wird zirka alle zwei Monate notwendig. Hierzu läßt man die Generatoren bis zur Glühschicht herunter brennen zur Entzündung des Teers, öffnet dabei die Puzlöcher *hh*, reißt den Schwund aus den Düsen, bringt darauf alles in frühere Ordnung und füllt auf gewöhnliche Weise. Soll eine Reparatur stattfinden, so wird an der Seite der Schieber in dem Ringkanal eingesetzt. Soll der Betrieb auf 4—6 Tage stillstehen, so füllt man die Generatoren, schließt alle Klappen, verschmiert die Luftlöcher und bedeckt den Windfang. Bei Beginn ist wieder alles zu öffnen. Die bei diesem Ofen gewonnene Kohlen säuremenge beträgt durchschnittlich 19%. Der Gichtdurchmesser darf nicht über 1.5 m hinausgehen.

Soll der Generator mit Steinkohle oder Torf beheizt werden, so muß man ihm einen Treppenrost geben.

Der Preis der Gaskalköfen ist nicht höher als jener der Öfen mit direkter Feuerung (Rüdersdorfer, System Rumsford, Perrier-Bossoz).

Nach D. Cech in Prag*) arbeitet der beschriebene Ofen in den Kalksteinbrüchen um Prag und Beraun, sowie u. a. in der Zuckerfabrik Bdic zur großen Zufriedenheit.

Die Kosten eines Ofens zur täglichen Erzeugung von 4000 kg Kalk betragen daselbst:

	Mark
Für Grundaushebung . . .	40
40.000 rote Ziegel	1600
3000 Chamotteziegel . . .	480
Kalkmörtel	240
Chamottemörtel	240
Armatur	1600
Arbeitslohn	800
	5000

Das Patenthonorar beträgt je nach der Größe 400 bis 600 Mark. Der Ofen war bereits 1870 in zirka 20 Zuckerfabriken Osterreichs und zirka 20 Fabriken Ostböhmens eingeführt, welche durchschnittlich 50 kg gut gebrannten Kalk mit 20 kg Brennstoff erzielen.

Während der Zentner Kalk im Koksofen für 1.00 Mark Brennfohlen verlangte, reduzierten sich die Kosten bei Steinmanns Ofen auf 0.4—0.48 Mark.

Basteiofen.

Steinmann hat den eben beschriebenen Gaskalkofen**) mehr und mehr vervollkommenet. Er nennt denselben zum Unterschiede von dem Ringofen Basteiofen (Fig. 24) und beschreibt ihn folgendermaßen:***)

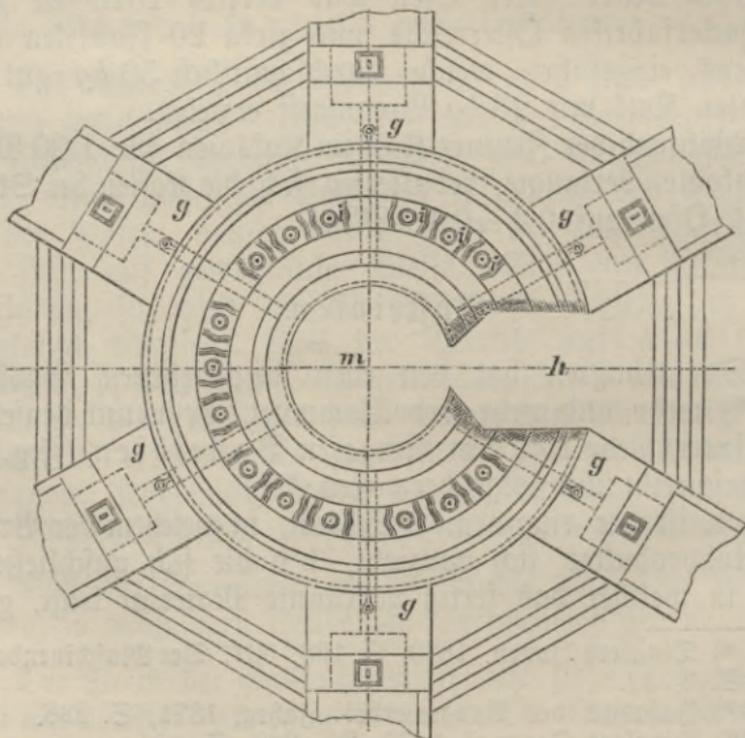
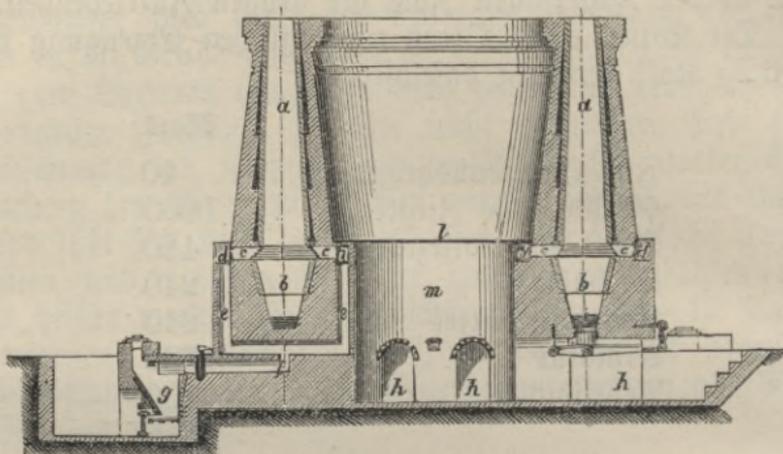
a a ist der ringförmige Schacht, in welchem der Brand des Rohproduktes sich vollzieht, b b die sich anschließende Kasten, in welcher das fertig gebrannte Material liegt, g die

*) Dingers Journ. 1870, S. 198, 501. Der Maschinenbauer. 1871, S. 3, 39.

**) Jahrbuch des Baugewerbes. Jahrg. 1871, S. 238.

***) Dingers Journal. 1876, Bd. 220, S. 151.

Fig. 24.



Gaszerzeuger oder Generatoren, f die Gasableitung, e die Zweigkanäle, d die Ringkanäle, aus denen in entsprechender Verteilung der Düsen c auf der ganzen Peripherie in den Schacht einmünden. i sind die mit einem scharfgebrannten Chamottekonus verschließbaren Abzüge für das Brenngut. Den Konus dirigiert man mittels eines Hebels in der Weise, daß man je nach dem größeren oder geringeren Bedarf an Brennungsluft, welche eben ihren Weg durch i zu nehmen hat, denselben mehr oder weniger scharf anpreßt. Um einer vorzeitigen Abnützung der Passagen i vorzubeugen, sind diese, wie Fig. 24 zeigt, mit starken gußeisernen Trichtern ausgefüttert. Die Verbrennungsluft nimmt Wärme aus dem in der Kaste b stehenden Brenngute auf und vereinigt sich stürmisch mit dem den Düsen entströmenden Gase zur Flamme. Sie erfüllt also gleichzeitig zwei Zwecke; sie heizt sich selbst vor und entzieht damit dem Brenngute die hohe Temperatur, so daß dieses ohneweiters verladungsfähig ist.

Unter den sechs Einfahrten h gelangt man nach dem inneren Raume m, welcher als Stapelplatz für das Rohprodukt dienen kann, von wo aus letzteres durch geeignete, von dem Podium l aus betriebene Hebevorrichtungen bequem und schnell nach der Gicht befördert werden kann. Die Passagen der Trichter i sind übrigens durch sattelförmige Scheiden voneinander getrennt, so daß damit ein konstantes Rollen des Brenngutes nach links und rechts ermöglicht wird.

Der abgebildete Ofen ist leicht auf eine Produktion von 15.000 *kg* Kalk pro 24 Stunden zu bringen. Da, wo es etwa die Örtlichkeit erheischt, ist natürlich die kreisrunde Form des Ofens unbedenklich durch eine elliptische zu ersetzen.

Zur Inbetriebsetzung eines derartigen Basteiofens sei nachstehendes bemerkt:

Bevor der Schacht mit Kalkstein gefüllt wird, muß man alle Teile des Ofens, also Generatoren, Kanalsystem und Schacht, mehrere Tage hindurch mittels gelinder Schmauchfeuer behufs Austrocknung ausheizen. Es ist dies

bei Gasfeuerungsanlagen um so notwendiger, weil andernfalls die Entzündung des Gasstromes nicht allein schwierig, sondern unter Umständen sogar unmöglich wird.

Hat man die Überzeugung gewonnen, daß das Mauerwerk auf ungefähr 300 mm Tiefe trocken ist, so belegt man zuvörderst den Boden der Kask, d. h. die Sättel, kreuzweise mit einer Schicht trockenen Holzes, darauf schüttet man zirka 300—500 mm hoch Kohle oder Torf, alsdann die erste Schicht Kalkstein in gleicher Höhe und fährt mit dem Wechsel von Kohle und Kalkstein in gleicher Weise fort, bis etwa 600 mm über die Gasdüsen hinaus, von wo ab der Schacht bis zur Gichtmündung ausschließlich mit Stein gefüllt werden kann. Innerhalb dieser Zeit sind auch die Generatoren zu beschicken. Man breitet zu dem Ende erst eine Schicht Hobelspäne auf den Planrosten aus, legt darauf eine Lage gespaltenen Scheitholzes und beschüttet dieselbe bis zum Rande der Zargen mit dem zu verwendenden Brennmaterial. Bevor man das Feuer in den Generatoren in Gang bringt, muß die Glut in dem Schachte bereits die unteren Schaubüchsen erreicht haben, denn nur dann wird die Entzündung des Gases eine zweifellose und konstante sein. Das erste Kalkziehen hat spätestens drei Stunden nach Zutritt des Gases zur Gicht zu beginnen, und von da an, je nach dem Bedarf an Kalk, in Pausen von nicht unter $1\frac{1}{2}$ und nicht über 3 Stunden möglichst rasch nach einem bestimmten Maße zu erfolgen; nach einem jeden Abzuge ist bei der Gicht sofort wieder an dem ganzen Umfange des Ofens Kalkstein nachzufüllen.

Gut wird es sein, bei gewöhnlichen Öfen mehrere aneinander zu stellen und sie mit einem gemeinschaftlichen überdachten Umbau zu versehen, welcher als Kohlenplatz und Lagerplatz für den gebrannten Kalk und als Aufenthalt für die Brenner dient, außerdem noch den Vorteil hat, daß die Feuerungen weniger von Windstößen beeinflusst werden.

Gaskalkofen von Rehse.

Trotz der Tatsache, daß der im Gaskalkofen erzeugte Kalk sich durch besonders gute Eigenschaften gegenüber dem in anderen Öfen erbrannten auszeichnet und die Gasöfen gegenüber den mit Kostfeuerung arbeitenden noch sonstige bedeutende Vorzüge besitzen, haben sie nur in der Rübenzuckerindustrie, nicht aber auf dem Gesamtgebiet der Kalkbrennerei sich Eingang zu verschaffen vermocht. Diese auffallende Tatsache hat ihren Grund zunächst in den komplizierten und teuren Einrichtungen, die eine Gasfeuerung verlangt, dann aber in der Konstruktion der Kalkschachtöfen im allgemeinen, der Gasöfen im besonderen.*)

Die schachtförmigen Brennöfen mit seitlichen Feuerungen haben nämlich den Übelstand, daß die aus den Feuerkanälen eben in den Öfen tretende Flamme das Bestreben zeigt, nach oben zu schlagen, in vertikaler Richtung abzubiegen, sich also mehr an den Wänden des Ofens hält. Die Folge davon ist, daß in der Mitte des Ofens eine geringere Temperatur entsteht als an den Punkten, wohin die Flamme nicht oder weniger reicht.

Dieses Umstandes wegen muß die Größe des Horizontalquerschnittes der mit seitlicher Feuerung arbeitenden Schachtöfen in der Gegend der Feuerungen innerhalb gewisser Grenzen und so liegen, daß die eintretende Flamme die Mittelpartien noch wirkungsvoll trifft, will man sicher vor nicht gar gebranntem Kalk sein.

Dieser Übelstand tritt besonders bei dem Gasofen hervor, und Steinmann sah sich veranlaßt, seinen Öfen in der Höhe der Feuerungen nur eine Maximalweite von 1.57 m zu geben, während man bei Öfen mit direkter Feuerung bis zu 2.8 m gehen kann. Durch den geringen Querschnitt wird nun aber die Leistungsfähigkeit der Öfen herabgedrückt, die bei gleichen Baukosten sonst erheblich

*) Zeitschrift für die gesamte Tonwarenindustrie. 1878, S. 468 und 489.

größer sein würde. Die Versuche, diesem Übelstande abzuhelpfen, sind nach drei Richtungen erfolgt:

1. Man versuchte die Flamme durch Pressung mit Hilfe eines Gebläses eine bis nach der Mitte reichende Ausdehnung zu geben;

2. man ging von der Kreisform des Schachtes ab zu der ovalen;

3. man versuchte, die Flamme im Zentrum des Schachtes von unten her eintreten zu lassen.

Die Pressung der Flamme mittels des Gebläses erfüllt zwar den Zweck, erzeugt aber den schwerer wiegenden Nachteil, daß infolge großer Hitze des eingepreßten Flammenstrahles der stets mehr oder weniger mit Kieselsäure und Tonerde verunreinigte Kalk infolge Silikatbildung totgebrannt wird, daher als Abkalk unbrauchbar ist.

Der vorgeschlagene länglich runde Querschnitt des Schachtes, derart, daß der größte Abstand der parallelen Seiten 1·57 m nicht übersteigt, bringt konstruktive Schwierigkeiten mit sich, welche seiner Ausführung entgegenstehen. Der dritte Weg, zentrale Einführung des Gases, wurde bereits 1861 von Siemens in Vorschlag gebracht. *) Von Steinmann zu seiner Realisierung angestellte Versuche zeigten indes, daß der zur zentralen Einführung des Gases hergestellte eiserne Schlot, trotz aller erdenklichen Vorsichts- und Sicherheitsmaßregeln, nicht zum Ziele führte, weil alle noch so soliden Überdachungen desselben, nach einigen Wochen durch die von Zeit zu Zeit herabstürzenden Kalkmassen zertrümmert, verstopft und damit unbrauchbar gemacht wurden. Steinmann ließ daher den Vorschlag fallen und schritt zur seitlichen Einführung des Gases.

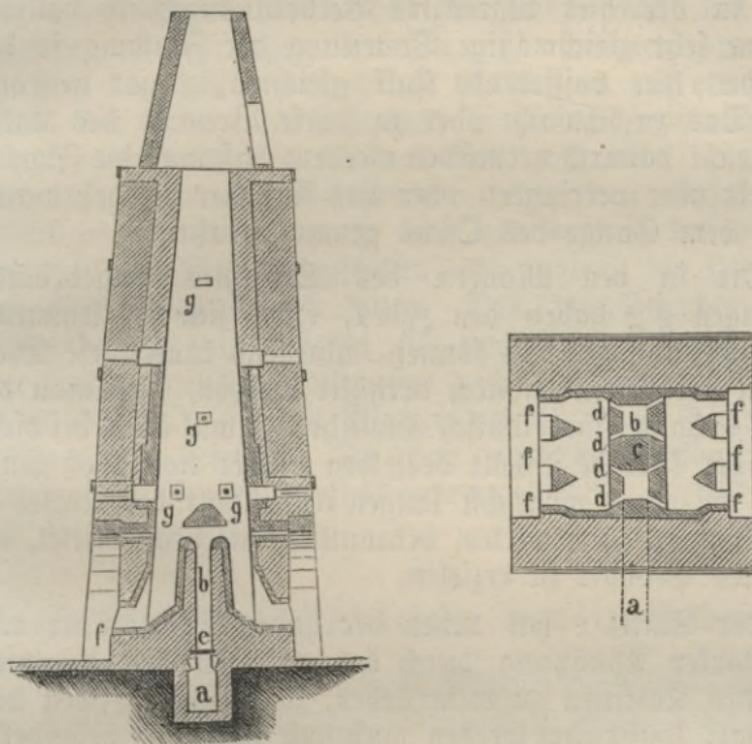
Später ist genannter Weg abermals betreten worden von C. Meise in Dresden und von Jean Adrien Berkonteren in Amsterdam.

*) Zeitschrift für die gesamte Tonwarenindustrie. 1878, S. 426.

Bei dem Gaskalkofen von C. Mehlse ist die Form des Schachtes viereckig, doch läßt sich derselbe auch oval oder mit gebrochenen Ecken ausführen (Fig. 25).

Die Zuführung des Gases von den Generatoren zum Ofen geschieht durch den Kanal a, es können demnach die

Fig. 25.



ersteren beliebig weit vom Ofen entfernt angelegt werden, so daß die Zugänglichkeit zu diesem in keiner Weise behindert wird.*) Vom Gaskanal a zweigen sich die vertikalen Kanäle b b ab, welche in einem die Mitte des Ofens einnehmenden Sattel c aufsteigen, aus welchem das Gas durch die Öffnungen d d in den Ofen einströmt. Beim Regulieren

*) Zeitschrift für die gesamte Tonwarenindustrie. 1878, Seite 469, 489.

des Gases dienen die in *b b* befindlichen Schieber *e e*, während die Menge der einzulassenden Verbrennungsluft, die wie bei früher beschriebenen Kalköfen durch die Abzugsoffnungen *f f* eintritt, hier reguliert wird.

In der Höhe der Öffnungen *d d* findet durch die Berührung des Gases mit der von unten aufsteigenden Luft, die sich an dem gebrannten Kalk erhitzt, die Verbrennung statt; in der hier begrenzten Verbrennungszone vollzieht sich eine sehr gleichmäßige Verteilung der Flamme, so daß auch der hier passierende Kalk gleichmäßig gar gebrannt wird. Das zu schwache oder zu starke Brennen des Kalkes kann leicht dadurch vermieden werden, daß man die Flamme verstärkt oder verringert, oder das Abziehen des gebrannten Kalkes dem Gange des Ofens genau anpaßt.

Die in den Mauern des Schachtes angebrachten Öffnungen *g g* haben den Zweck, etwa sich festklemmende Kalksteine abstoßen zu können, übrigens kann diese Eventualität am besten dadurch verhütet werden, daß man den oberen Schacht stark konisch ausführt, zumal auch bei dieser Form der kubische Inhalt desselben immer noch groß genug bleibt, um einen möglichst langen Aufenthalt des Kalkes in der Glühhitze zu bewirken, bekanntlich das beste Mittel, um ein gutes Produkt zu erzielen.

Der Sattel *e* hat neben der hohen Temperatur auch einer starken Abnützung durch den an demselben heruntergleitenden Kalkstein zu widerstehen, zu welchem Zweck derselbe stark konstruiert werden muß und mit einer besonderen Einrichtung versehen ist, deren Details in den Abbildungen nicht dargestellt werden konnten.

Der Schacht des beschriebenen Ofens hat vom Sattel bis zur Gicht eine Höhe von 10 *m*, einen Durchmesser in der Ebene des Sattels von 3.90×3.20 *m* und an der Gicht 2.26×2.00 *m*; er faßt etwa 150 *m*³ Kalkstein, welches Quantum leicht auf 200—250 *m*³ vergrößert werden kann, ohne daß die Gleichmäßigkeit des Brandes eine Beeinträchtigung erfährt und die Anlage- und Betriebskosten

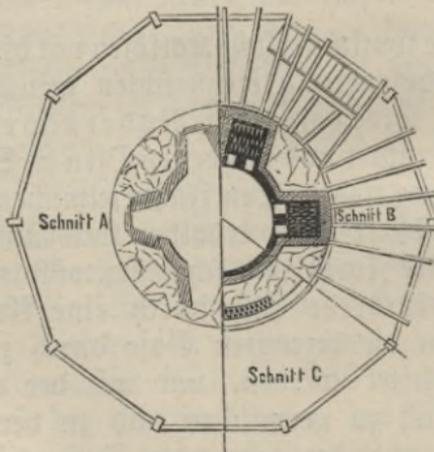
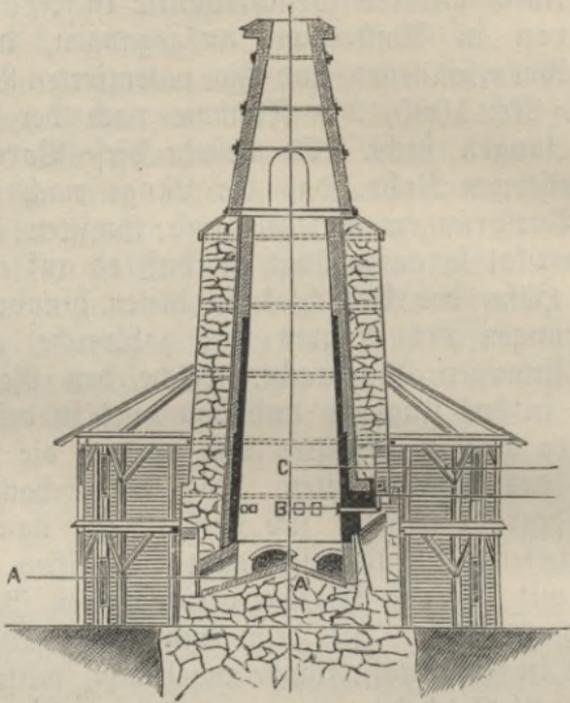
sich im Verhältniß zu der größeren Leistungsfähigkeit steigern.

Von einem anderen Gesichtspunkte ist Jean Adrien Berkonteren in Amsterdam ausgegangen, der mittels einer von ihm erfundenen und ihm patentierten Vorrichtung (D. R. P. Nr. 1000) die Flamme nach der Mitte des Ofens zu saugen sucht. Es besteht diese Vorrichtung in einem gußeisernen Rohr, das der Länge nach mit sektorförmigen Vorsprüngen versehen und inmitten des Ofenschachtes vertikal so aufgehängt ist, daß es auf etwa Zweidrittel der Höhe des Schachtes in diesen hinabreicht. In den Vorsprüngen des Rohres sind zahlreiche, angemessen verteilte Öffnungen angebracht, welche den Gasen freien Durchgang in das Zugrohr und von dort in dessen schornsteinähnlichen Aufsatz gestatten und zugleich die Hitze nach der Mitte des Ofens leiten. Das im Schachte herabhängende Zugrohr verengt sich nach unten, damit es von den herabgleitenden Kalkmassen nicht mitgerissen wird, und ist an der mit eisernen Platten verschlossenen Gicht zweckentsprechend befestigt. In dem aus Blech konstruierten Schornstein ist eine Drosselklappe angebracht, mittels welcher der Zug reguliert wird.

Gasalköfen von Fahnejem und in Rüdersdorf.

Auch andere kontinuierliche Kalköfen mit direkter Feuerung hat man für Gasfeuerung einzurichten gesucht. So hat D. Fahnejem in Stockholm den Rüdersdorfer Kalkofen für dieselbe eingerichtet und soll dessen Ofen in Schweden mehrfach in Anwendung stehen. Den Fahnejem'schen Ofen verdeutlicht Fig. 26. Größere Ofen erhalten kreisrunde, kleinere dagegen rektanguläre Form mit schwachgewölbten Seiten. Die gewöhnlichen Feuerherde sind durch eine Art Generatoren ersetzt, aus denen die erzeugten Gase durch je zwei Kanäle in den Ofen geleitet werden, um mit der von unten zutretenden Luft sich zu vermischen und zu verbrennen. Die Luft passiert zunächst die gebrannte Steinmasse und wärmt

Fig. 26.



sich an derselben vor; ihr Zutritt wird durch Schraubventile so reguliert, daß eine oxydierende oder reduzierende Flamme entsteht. Die größeren Öfen haben 4—6 Feuerplätze mit 8, respektive 12 Feuerkanälen, wodurch gleichmäßige Verteilung der Flamme ermöglicht und tote Ecken verhindert werden sollen. Die Öfen erhalten zum Schutze gegen Windwirkungen einen 6·3—9·5 m hohen Schornstein. Zur Ersparung der Kosten der teureren Chamottesteine stellt man den Schacht doppelt her und nur den inneren Teil von Chamotte, den oberen von gut gebrannten Mauersteinen.

Bei dem größten Fahnejmischen Ofen stellte sich die Produktion in 24 Stunden auf 15—20 m^3 ; der Bedarf an Brennstoff für je 10 m^3 gebrannten Kalk betrug 9·37 m^3 lose aufgestapeltes Holz. Ein ganz neuer Rüdersdorfer Ofen für Gasfeuerung kostete 10.500 R. M. *)

Auch in Rüdersdorf wurde durch Berginspektor Gerhardt 1875 ein neuer Kalkbrennofen mit Gasfeuerung konstruiert, welchen Hausding beschreibt**), aus welcher Beschreibung deutlicher als aus dem Berichte über den Fahnejmischen Ofen die Konstruktion hervorgeht. Nach Hausding werden bei diesem Ofen die Gase in fünf Generatoren, welche an Stelle der Roste des Rumfordschen Ofens liegen, erzeugt. Die zur Gaserzeugung verwendeten Kohlen bestehen aus einer Gattierung von oberschlesischer Förderkohle, böhmischen Mittelfohlen und erdigen (märkischen) Braunkohlen und werden durch einen gemauerten, mit luftdicht schließendem Deckel versehenen Hals auf eine 45° geneigte Kohlenrutsche und anschließenden Treppenrost von gleicher Neigung geschüttet. Die Generatoren werden mit Schlackenrost betrieben, d. h. es wird als Unterlage der auf den Treppen verbrennenden Kohlen eine Schlackenschicht erhalten, welche man nur in dem Grade lüftet und entfernt, daß stets eine regelmäßige Verbrennung mit Hilfe

*) Baugewerkszeitung. 1876, S. 571.

**) Tonindustriezeitung. 1877, Nr. 31.

der dadurch vorgewärmten und feinverteilten Luft erfolgt. Die Vorwärmung der Vergasungsluft wird ferner dadurch bewirkt, daß der Mischenfall mittels Tür vergeschlossen ist und vor dem Treppenrost eine doppelte Blechvorlادتür mit Öffnungen für die durchströmende Luft gestellt wird.

Jeder Generator ist von dem Innern des Schachtofens durch eine Feuerbrücke getrennt, welche der zerstörenden Einwirkung der Hitze von drei Seiten ausgesetzt ist und deshalb durch einen kalten Luftstrom gekühlt wird. Zu diesem Zwecke führen durch die beiden Seitenwände des Generators 5—6 Reihen Hohlziegel bis zu der in der Feuerbrücke liegenden eisernen Rinne, mittels deren die kalte Luft aus der unteren Etage nach einem auf dem Generator stehenden Rohre angesaugt wird.

Die Kofstfläche des Treppenroftes enthält nahezu 62% lichte Einströmungsöffnung, welche letztere sich zum größten Schachthorizontalschnitt wie 0.35 : 1 verhält und per Quadratmeter und Stunde 91 kg Kleinkohle verzehrt.

Die erzeugten Gase strömen aus jedem Generator durch einen Gaskanal, der hier zugleich die Düse bildet, in den Kalkbrennofen. Der Düsenquerschnitt beträgt nahezu $\frac{2}{5}$ von der lichten Lufteinströmungsöffnung des Kofstes oder 0.139 vom größten Schachthorizontalschnitt. Es verbrennen deshalb per Quadratmeter Düse und Stunde etwa 230 kg Kohlen. Die Regulierung der Gaseinströmung erfolgt teils durch Schließen der Mischenfalltüren, teils durch einen feuerfesten geraden Stein, welcher in die Düse hineingeschoben wird, deren Querschnitt sich nach dem Schachte verengt. Soll die Gaseinströmung ganz abgeschlossen werden, so öffnet man die Kalkabzugsöffnungen, wodurch der Ofenzug in den Generatoren aufgehoben wird, die Gase dringen dann durch die Kofste zurück.

Die Zuführung der Verbrennungsluft erfolgt mittels eines gußeisernen Luftverteilungsapparates in der Mitte des Kalkofens, in welchem durch ein unter der Ofensohle gelegenes Ventilationsrohr aus Eisenblech die Luft von außerhalb des Gebäudes hineingeleitet wird. Der Luftver-

teilungsapparat dient zugleich zur Erhizung der Luft und besteht in einem aus der Mitte der Ofenohle vertikal aufsteigenden gußeisernen Rohre, welches mittels eines gußeisernen kegelförmigen Schirmes so bedeckt wird, daß unter dem letzteren in einem ringförmigen Querschnitt die Luft nach unten ausströmt. Im Innern des Rohres ist ein Blechzylinder mit kegelförmigen Enden befestigt, um die Luft an die durch Berührung mit dem gar gebrannten, hellrotglühenden Kalk erhizten Rohrwände zu drängen. Die Querschnitte der Luftwege sind so konstruiert, daß die Luft von 0—300° C erhizt werden kann, ohne von dem kalten Ventilationsrohre bis an die hellrotglühenden Schirmwände Spannungsverluste zu erleiden. Die Regulierung der Verbrennungsluft erfolgt mittels einer Drosselklappe, welche in das Ventilationsrohr eingeschaltet, und über welcher eine Explosionsklappe an dem Luftverteilungsapparat angebracht ist.

Der Schacht des Ofens ist so konstruiert, daß der aus einer Düse dringende Gasstrom, seinem natürlichen Zuge nach oben entgegen, möglichst nach der Schachtmitte und nach den Seiten getrieben wird, um in einem Horizontalschnitt des Schachtes möglichst gleichmäßige Hitze zu erzeugen. Zu diesem Zwecke ist der Schacht in der Höhe der Düsen von 2·80 m auf 2·60 m Durchmesser treppenartig zusammengezogen. Die Düsen sind im Gewölbe herabgezogen und in der Sohle auf 25 cm Tiefe ausgekehlt, so daß eine Nase entsteht, welche die expandierenden Gase nach unten und nach beiden Seiten der Düse in den ausgekehrten, ringförmigen Schachtraum unter den Treppenabjaz drückt.

Der Fassungsraum des Schachtes beträgt über den Düsen 32·81 m³, unter den Düsen 11·47 m³.

Durch die angegebenen Einrichtungen werden Gas- und Luftstrom auf ihrem Wege durch den glühenden Kalk so vorgewärmt, daß sie beim Zusammentreffen in der Schachtmitte mit dem höchsten pyrometrischen Wärmeeffekte verbrennen. Die Temperatur vermindert sich nach den Schacht-

wänden hin, was durch die Schaulöcher leicht beobachtet werden konnte, und die Verbrennungsprodukte bilden sowohl vor als nach dem Ziehen des Kalkes weiße Dämpfe.

Der Gasofen gestattete eine um die Hälfte längere Kampagne als die Rumfordschen Öfen und war zuletzt ausschließlich mit einer auf den Heizeffekt der böhmischen Braunkohlen mit 3400—3600 Kalorien oder 5·3- bis 5·6facher Verdampfung wirkliche Nutzleistung berechneten Gattierung von: 40 Maß obereschlesischer Backkohle und 60 Maß märkischer, erdiger Braunkohle im Betriebe, und zwar bei einer Kohlenersparnis gegen die mit böhmischer Braunkohle betriebenen Rumfordschen Öfen von 10—12 Pfennig per 100 *kg* Stückkalk. Die Produktion des Gasofens von 10.600 *kg* pro Tag ist nach dem Verhältnis des kleineren Schachtraumes von 32·18 *m*³ gleich groß wie bei den anderen Öfen. Die Gleichmäßigkeit des Brandes ließ ebenfalls nicht viel zu wünschen übrig.

Der gare Kalk wird nach je 6—8 Stunden in einer nach der Glut in den Schaulöchern erfahrungsmäßig zu bemessenden Menge gezogen. Die Sicherheit, den besten, eben garen Kalk darzustellen, ist auch bei Gasheizung nach einiger Übung der Arbeiter unschwer zu erreichen.

Zum Schlusse unserer Mitteilungen über Gaskalköfen machen wir noch auf den in Frankreich patentierten Ofen von Bonsard aufmerksam, bei welchen den Generatorgasen behufs ihrer Verbrennung stark erhitzte Luft zugeführt wird, und zwar die Erwärmung der letzteren mit der Abkühlung des erzeugten Kohlen säuregases vereinigt worden ist. Bonsard glaubt, in seinem Ofen mittels 1 *kg* Kohlenstoff 11 *kg* kohlen sauren Kalk zersetzen zu können, und fand in den aus dem Ofen abziehenden Gasen im Durchschnitt nur 2% Sauerstoff. Den Kohlen säuregehalt derselben schätzt er auf 34%, während die Öfen älterer Art nur ein Gas von 16—24% Kohlen säure lieferten.

Einen neuen Schachtofen hat sich Ernst Schmatolla, Berlin, patentieren lassen.

Bei demselben wird der größte Teil der Sekundärluft am Umfange des Kühlschachtes, unterhalb der Gaseintrittsöffnungen zugeleitet. Ein anderer, genau regulierbarer Teil der Sekundärluft tritt in stark angewärmtem Zustand oberhalb der Gaseintrittsöffnungen in den Schacht ein, ein dritter Teil wird kurz vor dem Eintritt des Gases mit letzterem dem Schachte zugeführt.

Die von unten eintretende Luft wärmt sich hierbei an der Hitze des gebrannten Kalkes stark vor und bringt bis zur Mitte des Ofenschachtes.

Die Luft, die kurz vor dem Eintritt des Gases in den Schacht dem ersteren zugeführt wird, hat den Zweck, das Gas vor dem Eintritt in den Generatorschacht zu entflammen. Hierdurch wird der an dieser Stelle befindliche, schon gebrannte Kalk stark glühend erhalten. Die Zufuhr von Sekundärluft ist hier gering und es könnten unverbrannte Gase namentlich an den Wänden des Brennschachtes in die Höhe steigen, wenn nicht kurz oberhalb der Gaseintrittsöffnungen eine gewisse Sekundärluftmenge in hoch erhitztem Zustande eingeleitet würde. Die hohe Erhitzung ist nötig zur Verbrennung des Gases, das an dieser Stelle schon stark verdünnt auftritt und mit kalter Luft überhaupt nicht brennen würde.

Es geht hieraus der Vorteil dieser dreifachen Luftzuführung zur Genüge hervor.

Der Brennschacht a_1 und Kühlschacht a (Fig. 27) sind kleiner als Vorwärmschacht b . Das Brenngut wird in dem Brennschacht gleichmäßig erhitzt. Die ausgestrahlte Wärme dieses Schachtes dient zum Anwärmen der oberhalb eingeführten Sekundärluft und durch die eigenartige Führung der Luft gleichzeitig zum Abkühlen des an dieser Stelle stark erhitzten Mauerwerkes.

Fig. 27 zeigt einen Vertikalschnitt des Ofens; Fig. 28 einen horizontalen Schnitt oberhalb des Hauptgaskanals C ; Fig. 29 einen Schnitt durch diesen Kanal; Fig. 30 einen ab-

Fig. 27.

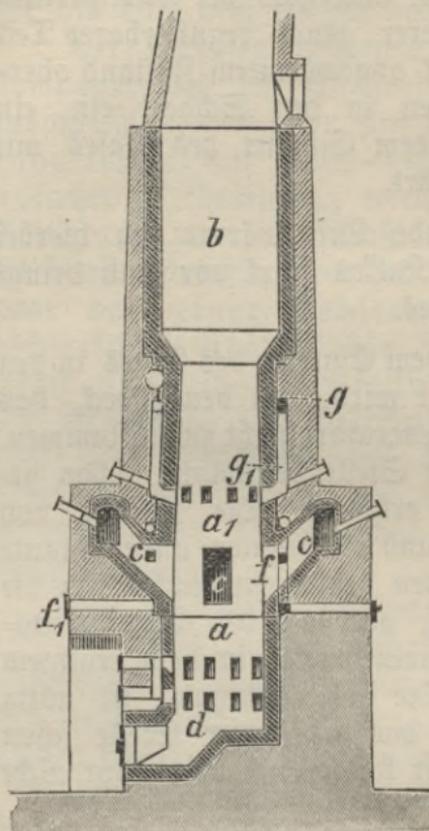


Fig. 29.

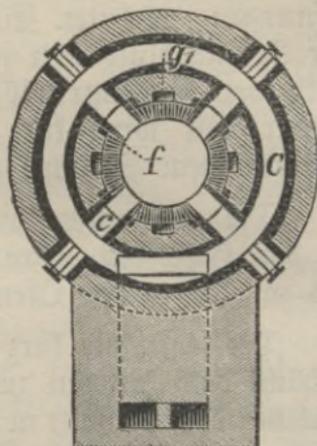


Fig. 28.

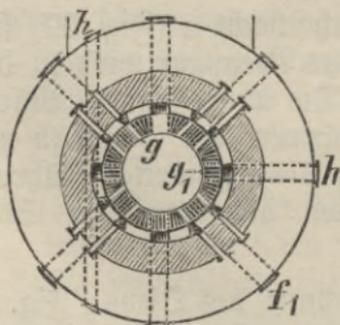
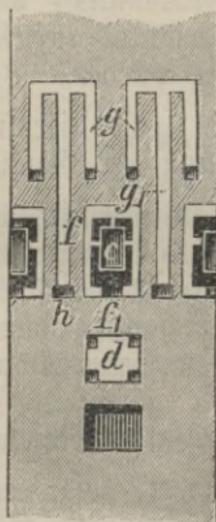


Fig. 30.



gewickelten senkrechten Schnitt durch die Luftkanäle außerhalb des feuerfesten Schachtmauerwerkes. Das Generatorgas tritt vom Hauptgaskanal C aus, durch die vier radial angeordneten Kanäle c in den Schacht ein. Die Sekundärluft wird zum größten Teil von unten durch die Düsen d eingeführt. Ein um das feuerfeste Futter des Schachtes laufender Kanal führt durch die Öffnungen f dem Gaskanal Luft zu. Die Zuleitung dieser Luft erfolgt von außen durch die Kanäle f.

Die durch die Düsen g oberhalb der Gaskanäle c eingeführte Sekundärluft streicht durch die horizontalen Kanäle h und ist durch Schieber regulierbar. Auf ihrem Wege hinter dem feuerfesten Futter des Schachtes steigt sie in den Kanälen g in die Höhe und dann wieder abwärts durch die Kanäle g. Wie aus Fig. 30 ersichtlich, haben die Kanäle g und g₁ eine T-förmige Gestalt. Diese lange Führung der Luft bezweckt, dieselbe auf ihrem Wege hinter dem glühenden Mauerwerk hochgradig anzuwärmen.*)

Durch diese Führung und Einteilung der Sekundärluft in Verbindung mit den verengten Brennschacht ist es möglich, die eigentliche Kalkbrenntemperatur in dem Schachte an einer verhältnismäßig eng begrenzten Stelle zu konzentrieren und auf diese Weise den Kalk mit ziemlich geringem Brennstoffverbrauch garzubrennen. Einen großen Wert wird diese Führung der Sekundärluft bei minderwertigem Brennmaterial, wie erdiger und nasser Braunkohle haben.

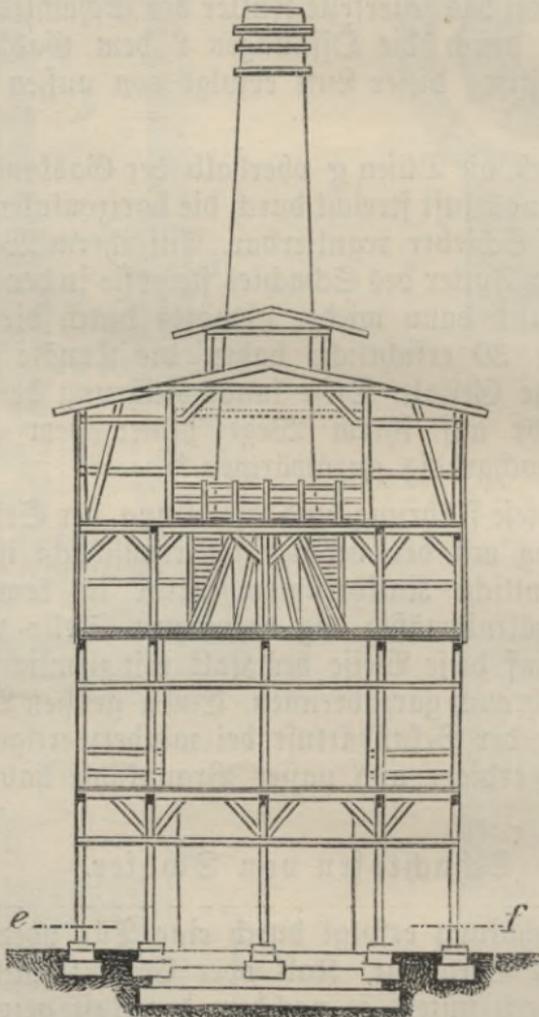
Schachtofen von Schöfer.

Die Beschickung erfolgt durch eine Tür oben im Vorwärmer. Das Brenngut, Kalk oder Cement fällt langsam durch diesen nach unten, je nachdem der Rost gezogen wird, und gelangt in den Brennraum. Um den Vorwärmer sind oben zwölf seitliche Öffnungen angebracht, durch welche der

*) Praktischer Maschinenkonstrukteur. 1904.

Brennstoff eingefüllt wird; die Öffnungen sind zugleich Schaulöcher, um den Gang des Ofens zu beobachten. Durch

Fig. 31.



das abwechselnde Ziehen der Koste, Aufschütten von Kohlen und Nachfüllen von Brenngut im Vorwärmer wird ein kontinuierlicher Betrieb eingeführt.

Aus den beistehenden Fig. 32—34 (Längenschnitt, Querschnitt und Grundriß) ist das Nähere ersichtlich.

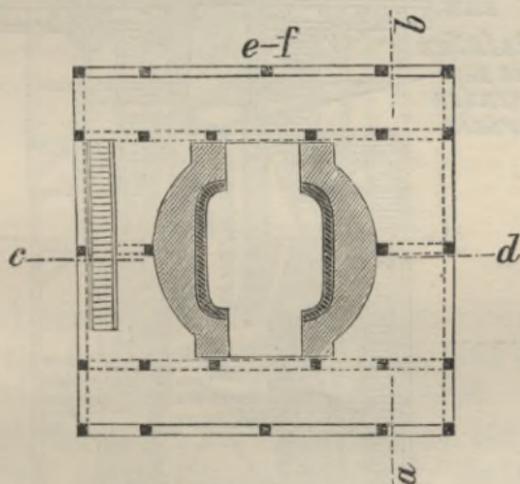
7. Resultate und Untersuchung der Vorgänge beim Kalkbrennen.

Die Frage:

Welchem von den betrachteten Öfen gebührt der Vorzug?

läßt nur eine relative Beantwortung zu, und namentlich sind es drei Faktoren, welche ihre Beantwortung in der

Fig. 32.



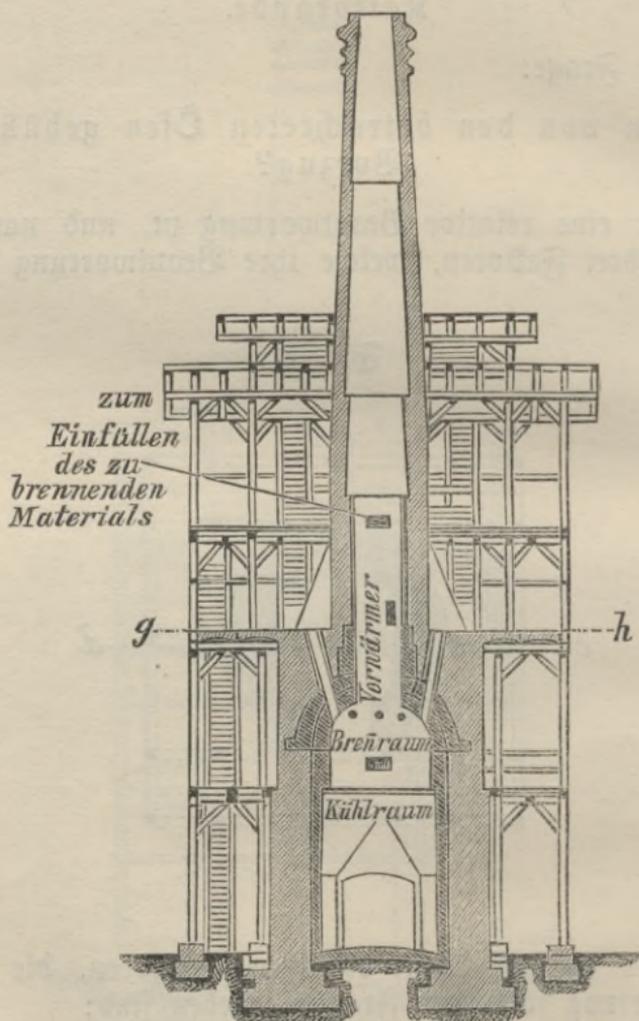
einen oder anderen Weise bedingen, Faktoren, die in der Beantwortung folgender Fragen gegeben sind:

1. Was für ein Kalkstein soll zum Brennen kommen?

2. Was für Brennstoff steht zu Gebote und zu welchem Preise?

3. Ist die Nachfrage jahraus jahrein eine starke und welche Kalkqualität wird verlangt?

Fig. 33.

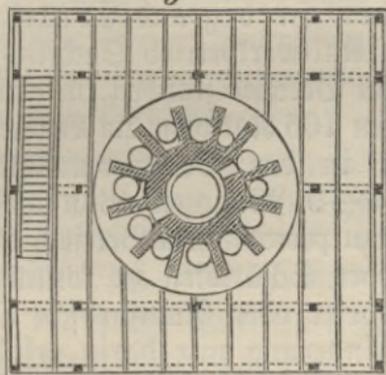


Je nachdem eine oder zwei oder alle drei Fragen in dem einen oder anderen Sinne beantwortet werden, wird auch die Antwort auf die Hauptfrage anders ausfallen.

Ohne hier auf die eventuelle Beantwortung in dem einen oder anderen Sinne eingehen zu können, läßt sich jedoch Folgendes als feststehend annehmen:

1. Alle bewährten Kalköfen werden auch in Zukunft noch miteinander konkurrieren, weil ihnen allen mit Berücksichtigung örtlicher Verhältnisse gewisse Vorzüge innewohnen.

Fig. 34.

g-h

2. Dort, wo der Kalkbedarf ein vorübergehender, wo der Brennstoff zudem billig ist, sind die kompendiösen periodischen Kalköfen angezeigt.

3. Dort, wo es sich um Anwendung eines geringen Brennstoffes, wo es sich um möglichste Ersparung desselben handelt, zudem der Absatz einer mittleren Kalkqualität während des größten Theiles des Jahres ein geregelter ist, sind kontinuierliche Öfen mit kleiner Flamme am Orte.

4. Dort, wo es auf ausgedehnte fabrikatorische Gewinnung ankommt, wo die Nachfrage nach bester Kalkqualität jahraus jahrein eine bedeutende (volk- und gewerbreiche Städte, Zuckerfabriken) und der Betrieb

nicht eingestellt zu werden braucht, sind die kontinuierlichen Öfen mit großer Flamme und Gaskalköfen angezeigt.

5. Dort endlich, wo Nr. 4 zutrifft, die Kalkqualität zudem eine mittlere sein darf, dürften die Ringöfen und diesen ähnliche, kontinuierlich arbeitende Konstruktionen mit Erfolg anzuwenden sein.

Diese früher ausgesprochenen*) Behauptungen werden auch heute im ganzen noch zutreffend sein. Sie waren es entschieden für die sechziger Jahre vorigen Jahrhunderts, wie aus dem Berichte ersichtlich, welchen eine aus den Technikern G. Wunder, Herbig und Couliß bestehende Kommission über den Kalkwerkbetrieb Sachsens 1867 veröffentlichte. Nach diesem Berichte standen im genannten Jahre im Königreich Sachsen 466 Kalköfen im Betrieb; der beiweitem größte Teil nur in den Sommermonaten und nur ein kleiner während 8—9 Monaten. Von diesen 466 Kalköfen waren 178 solche zu periodischem Betrieb, 265 meist trichterförmige Kessel- oder Schüttöfen zu kontinuierlichem Betrieb und 23 Rüdersdorfer oder Rumsfordsche Öfen. Seit dieser Zeit dürfte eine Änderung nur darin erfolgt sein, daß sich die Ringöfen und die Gaskalköfen wie anderwärts so auch hier ein größeres Terrain erobert haben.

Über die Erfolge des Betriebes einer bestimmten Kalkofenkonstruktion muß die Rechnung unzweideutigen Aufschluß geben. Jedoch wird dieselbe erst dann anzustellen sein, wenn nach mehreren Versuchsbränden der Betrieb sich zu einem normalen herausgebildet hat. Türrschmiedt**) hat mit Bezug auf den Ringofen bereits vor langen Jahren die Punkte angedeutet, auf welche es bei einer solchen Kalkulation ankommen wird.

Er nimmt einen vieltammrigen neuen Ringofen mit zwei Feuern an und zieht das Resultat, nachdem acht Kammern

*) Jahrbuch der Baugewerbe. 1871, S. 246.

**) Notizblätter 1869, S. 306.

abgebrannt waren. Die Resultate werden sich natürlich bei den weiteren Bränden günstiger gestalten müssen.

Es ergaben demnach die acht ersten Brände an verkäuflicher Ware $95\frac{1}{7}\%$, von denen 79% gut gebrannter Kalk und $16\frac{1}{7}\%$ Würfelkalk und Nische waren.

Bei den Kammern 7 und 19 ist die Bemerkung beigefügt: lange gefüllt gestanden, daher viel zerfallener Kalk. Bei Nr. 20: feuchte Stellen im Ofen, daher ungarer Kalk.

Nach der Bauzeichnung war der Kammerraum $60\cdot65\text{ m}^3$. Danach wurde zunächst angenommen, daß die Kammer mit 17 Klafter Kalk à 334 m^3 befahren war, so daß auf die Heizschächte und Kanäle 387 m^3 Raum kamen. Das Quantum Kalk bedurfte einer genaueren Bestimmung und solche erfolgt am Schlusse des Berichtes.

Aus der Kammer wurden gewonnen $37\cdot83\text{ m}^3$, welche, im Waggon gemessen, 172 t entsprechen würden. Das Schwindemaß des Kalkes ist demnach ungefähr $\frac{1}{3}$ und eine Tonne Kalk würde pp. $0\cdot35\text{ m}^3$ Brennraum erfordern.

Das Gewicht des rohen Kalksteines ergab per Sch.-R. 6000 kg , d. h. per Kubikmeter 1340 kg .

Diese 6000 kg Kalk gaben nach dem Verladungsschein 2700 kg oder 297 m^3 oder $13\frac{1}{2}\text{ t}$ gebrannten Kalkes.

Beim Bahntransport werden nämlich 200 kg Kalk gleich 1 t ohne Faß gerechnet. Nach dieser Annahme wöge somit der Kubikmeter gebrannten Kalkes 900 kg inklusive hohler Räume.

Bei einem Vergleich in bezug auf die Ergiebigkeit beim Löschen des Kalkes mit einem benachbarten Kalkwerk ergab die Tonne à 200 kg $0\cdot53\text{—}0\cdot56\text{ m}^3$ gelöscht beim eigenen Kalk, während der benachbarte nur $0\cdot4\text{—}0\cdot48\text{ m}^3$ auslöschte.

Beim ersten Abbrennen von 18 Kammern wurden 1236 t Kleinkohle und 107 t Stückkohle teilweise in sehr nassem Zustande verbrannt. Davon rechnete man, daß auf

die Kammer 60 t Kohlen à 183 kg fielen. Das Mehr ist zum Ausschmauchen verbraucht.

Rechnet man aus jeder Kammer 172 t Kalk, die mit 60 t Kohlen durchschnittlich gebrannt worden sind, so ergab der erste Umbrand auf 1 t Kalk rund $\frac{1}{3}$ t Kohlen.

Aus den alten im Gange befindlichen Öfen liegt die Erfahrung vor, daß 30 t Kalk mit 12 t Kohlen gebrannt werden, d. h. die Tonne Kalk mit $\frac{2}{3}$ t Kohlen.

Es ergab sich demnach als Resultat für den ersten Umbrand unter recht ungünstigen Umständen, daß 50 kg Kalk

im alten Ofen . . .	18·35 kg Kohlen,
» Ringofen . . .	15·55 » »

gebrauchten.

Nach genauerer Ermittlung gehen in eine Kammer nur 51·77 m³ Kalk.

Das Einsetzen und Ausziehen des Kalkes wurde im neuen Ofen gleich hoch wie im alten bezahlt und stellte sich

für Einsetzen 2 Mann auf 6 Tage à 1·00 Mark =	12·00 Mark
» » 6 Weiber » 2 » à 0·96 » =	7·20 »
» Brennerlohn	2 40 »
» Ausziehen 4 Mann auf 2 Tage à 1·00 Mark =	8·00 »
	<hr/>
	29·60 Mark

Das Brennen des Kalkes ist die wichtigste, aber gleichzeitig auch schwierigste Operation der Kalkindustrie. Die Wichtigkeit bedarf keiner Diskussion, denn die Rentabilität hängt zur Hauptsache von dem Ausfall und den Kosten des Brandes ab.

Sie ist die schwierigste, weil es noch an hinreichend genauer Kenntnis aller Vorgänge beim Brande, ganz besonders aber bei den verschiedenen neueren Kalköfen-Konstruktionen fehlt, die Kenntnis, soweit solche überhaupt vorhanden ist, sich auf eine Anzahl durch die Erfahrung gewonnener empirischer Regeln beschränkt, deren theoretische Begründung noch fehlt, die auch nur für die Verhältnisse gelten, unter denen sie erhalten wurden.

Für das auszuwählende Brennverfahren ist notwendig:

1. Kenntniß des Rohstoffes nach seinem Gehalt an kohlenäurem Kalk und den Begleitern Magnesia-, Tonerde-, Kieselsäure- u. Verbindungen.

2. Kenntniß der Zusammensetzung des Brennstoffes.

3. Kenntniß aller Faktoren, welche die eigentümliche Konstruktion des Brennapparates im den Brennprozeß hemmenden oder fördernden Sinne mit sich bringt.

In erster Linie handelt es sich also um genaue Untersuchung des Kalksteines in bezug auf Struktur, Härte u. und chemische Zusammensetzung. (Siehe weiter unten.)

Nach Kaliski verlangen Kalksteine, deren Kohlen säuregehalt unter 40% nur Rotglut, Dolomite, deren Kohlen säuregehalt über 40% schwache Weißglut, endlich Wiener Kalk eine kräftige Weißglut zum Garbrennen. Die Temperatur im letzteren Falle dürfte 1400—1500° C erreichen, also den Schmelzgrad des Eisens, wenigstens denselben nicht viel übersteigen.

Alle Feuerungsanlagen, welche technischen und gewerblichen Prozessen dienen, erfordern einen dem vorliegenden Zwecke angepaßten Betrieb, soll sich größte Ausnützung des Brennstoffes mit möglichster Schonung des Brennapparates und hoher Qualität des Produktes vereinigen; ein solch rationeller Betrieb ist nur möglich, wenn die Überwachung und Leitung des Feuers eine sachverständige und sichere, so daß der Pyrotechniker in der Lage ist, Störungen von dem Brennapparate möglichst fern zu halten oder, wenn solche ja eintreten sollten, sofort zu erkennen und abzustellen. Was für jede Feuerungsanlage gilt, gilt natürlich auch für die Kalkbrennöfen.

So lange man in hergebrachter Weise in den periodischen Öfen Kalk in kleinen Quantitäten brannte und guter Brennstoff zu billigen Preisen zur Verfügung stand, war man des Erfolges sicher, die Einfachheit des Brennapparates, die Erfahrungen der Vergangenheit garantierten denselben; um große Ersparung des Brennstoffes brauchte man kaum

besorgt zu sein. Als aber die Kalkbrennöfen sich vervollkommneten, man zum kontinuierlichen Betriebe, zum Ring- und Gaskalkofenbetriebe überging, zu Brennapparaten, die auf wissenschaftlichen Prinzipien basieren, komplizierterer Natur sind, bei denen auch alle Erfahrungen mangelten — da konnten für jede einzelne Konstruktion Mißerfolge nicht ausbleiben, Mißerfolge, die für jeden einzelnen Apparat auf andere Ursachen zurückzuführen, durch andere ihm entsprechende Mittel zu beseitigen waren. Für jeden dieser Brennapparate bildete sich dann aus der Erfahrung ein Brennreglement, dem sich das Brennpersonal zu unterwerfen hat.

So verschieden aber auch die Brennapparate sein mögen, der Verbrennungsprozeß des Brennstoffes ist doch in allen derselbe, insofern durch den Sauerstoff der Luft die Verbrennung und dabei Hitze erzeugt wird, welche man ausnützt.

In allen Anlagen handelt es sich hierbei um Zufuhr des zur Verbrennung und Wärmeerzeugung notwendigen Luftquantums, also Regelung des Zuges und damit der Hitze, Ausnützung der letzteren, Fortführung der bei dem Brennprozesse zu beseitigenden Stoffe, hier namentlich der Kohlensäure des Kalkes.

Wie für die ganze Pyrotechnik, so spielen für jeden einzelnen Zweig derselben, also auch für die rationelle Kalkbrennerei, alle jene Momente eine hervorragende Rolle, welche sich auf Regelung des Feuers, des Zuges, der Hitze, Fortführung gewisser Stoffe beziehen und sie muß von den Forschungen, welche jene Momente klar legen, von den Apparaten und Methoden Akt nehmen. Mit Bezug hierauf sind wir gezwungen, an dieser Stelle auf einige Apparate kurz hinzuweisen, welche zur Zugregulierung, namentlich bei Ringöfen, sowie zur Untersuchung der Rauchgase angegeben worden sind, sowie auf die Resultate, welche sich bei Kalkofenbetrieb ergaben.

Die Erfahrung lehrt zwar, wie viel Brennstoff beispielsweise zum Garbrände einer Abteilung des Ringofens

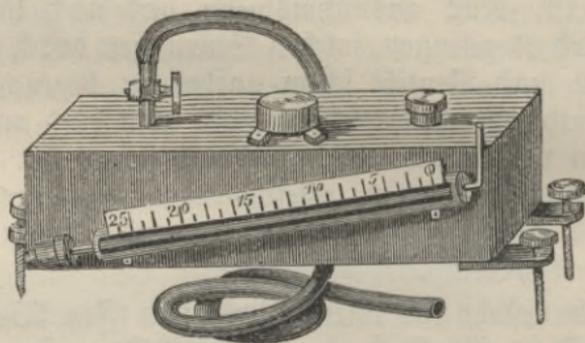
ebenso wieviel bei anderen Öfen für ein gewisses Kalkquantum, notwendig, dennoch aber bleibt für den Heizer die Schwierigkeit, die Hitze durch Regulierung des Zuges so zu leiten und zu regeln, daß an allen Stellen ein Produkt möglichst gleichbleibender Qualität entstehe. Der Zug des Schornsteines wird aber ungemein beeinflusst durch die Zustände der Atmosphäre, und zwar bald in unterstützendem, bald in hinderndem Sinne. Sache des Heizers ist es, diese Wirkungen durch teilweise Öffnung oder Schließung der Register und Glocken so zu kompensieren, daß immer derselbe Zug statthat; die Kompensation kann aber erst eintreten, wenn bereits eine Störung bemerkt wurde, also wirklich erfolgt ist. Nur ausnahmsweise und nach langer Erfahrung wird es gelingen, solchen Störungen durch Direktion der Klappen und Ventile schon vorher zu begegnen. Zugstörungen sind aber Betriebsstörungen und sind mit Brennstoffverlusten verbunden. Scheurer-Kestner hat einen die Zugregulierung ungemein erleichternden Zugmesser erfunden und dieser ist von Seger und Aron für die Praxis etwas vereinfacht worden.*)

Derselbe besteht aus einem Blechkasten (Fig. 35), der mit Hilfe einer Doppellibelle horizontal aufstellbar ist, oben links ein durch einen Hahn verschließbares Messingröhrchen, oben rechts einen durch einen Messingdeckel luftdicht verschraubbaren weiteren Röhrenansatz trägt. Vorn ist ein knieförmiges Röhrenstück an den Kasten eingesetzt, darin sitzt eine mit der Atmosphäre kommunizierende, mit einer Messingröhre mit Schlis geschützte Glasröhre; an der Messingröhre sitzt ein Maßstab zur Ableseung des Standes der Flüssigkeit in der Glasröhre. Der Apparat wird, nachdem er horizontal aufgestellt ist, mit Petroleum bis zum Nullpunkte der Teilung gefüllt. Man gießt dasselbe in die Öffnung oben rechts und verschraubt dieselbe wieder luftdicht. Über das Rohr links zieht man einen Gummischlauch, den man mittels einer

*) Notizblätter. 1885, S. 191. Zwick, Natur der Ziegelstone, 2. Aufl., S. 515, 516, 517.

eisernen Röhre mit dem Punkte in Verbindung bringt, an den man den Luftzug messen will. Wird nun der Hahn geöffnet, so wird durch den Schornstein die Luft im Kasten über dem Niveau des Petroleums in dem Maße verdünnt, wie es der Wirkung des Schornsteines an der beobachteten Stelle entspricht. Auf das Petroleumniveau in der Glasröhre aber wirkt der volle Druck der Atmosphäre und infolgedessen wird dasselbe in der Glasröhre um ein dem Überdruck der Atmosphäre entsprechendes Maß zurückgedrängt, und zwar gibt die Ableseung den Höhenunterschied des Niveaus

Fig. 35.



in der Glasröhre und im Kasten zehnfach vergrößert an, weil die Glasröhre am Apparate mit einer Neigung wie 1:10 angebracht ist. Hierdurch wird es selbst ungeübten Beobachtern, wie Brennern, Heizern zc., möglich, mit möglichster Schärfe den Zug abzulesen und in einer durch die Erfahrung oder etwa durch ein für allemal gemachte wissenschaftliche Vorversuche normierten Stärke zu regulieren.

Es ist bekannt, daß ein bestimmter Schornstein nicht immer gleichmäßig funktioniert. Es hängt das von den verschiedensten Umständen, besonders aber von den Witterungsverhältnissen und der herrschenden Windrichtung ab. Auch lokale Umstände, wie die gleichzeitige Einführung von Rauchgasen aus Brennöfen und Dampfkesselfeuerung, können den Zug wesentlich beeinflussen. Es wird z. B. nicht gleichgültig

sein, ob die Gase des Vollfeuers in die Esse einsteigen oder die stark mit Wasserdämpfen belauenen Rauchgase eines schmauchenden Ofens.

Dort, wo die Feuerungen feste sind, kann man dem Apparate eine feste Stellung geben, und zwar derart, daß ihn der Heizer vor Augen hat. Beim Ringofen muß er stets in einer bestimmten, durch die Zahl der Heizlöcher abzumessenden Entfernung vom Feuer aufgestellt werden. Für diesen Zweck stellt man ihn auf einen Holzchemel und führt den Gummischlauch auf ein eisernes Röhrchen, das in einem durchbohrten Heizdeckel eingeschraubt ist. Mit Hilfe dieses Apparates kann man den Heizern durch Zahlen den Zug vorschreiben, mit welchen sie arbeiten müssen.

Eine rationelle Verbrennung wird bekanntlich vorzugsweise durch ein passendes Luftvolumen eingeleitet; ist dieses nicht vorhanden, so geht dieselbe nicht allein unvorteilhaft vor sich, sondern die zu brennenden Produkte leiden nicht selten. Der Sauerstoff der Luft bewirkt die Verbrennung, der Stickstoff (zu 79 Volumen vorhanden) nimmt keinen Teil daran und vermindert den Wärmeeffekt, da er das Volumen der Verbrennungsgase vergrößert, die Temperatur infolgedessen herabstimmt.

Die größte Wärmeentwicklung wird bei Verbrennung eintreten, wenn der zugeführte Sauerstoff den im Brennstoffe vorhandenen Kohlenstoff und Wasserstoff in beziehungsweise Kohlenäure und Wasser überführt: dies ist aber der Fall, wenn auf 6 Gewichtsteile Kohlenstoff 16 Gewichtsteile Sauerstoff und auf 1 Gewichtsteil Wasserstoff 8 Gewichtsteile Sauerstoff zugeführt werden, im anderen Falle, bei Luftüberschuß, entsteht eine Vergrößerung der Volumen und Herabstimmung der Temperatur, oder bei Mangel, eine unvollkommene, weniger Wärme erzeugende Verbrennung, in beiden Fällen Verlust an Wärme.*)

Ein sicheres Mittel zur Erkennung einer rationellen Verbrennung kann nur die chemische Analyse der Ver-

*) Notizblätter 1875, S. 145, D. Jahrb. d. Baug. 1875, S. 285.

brennungsprodukte liefern, diese ist aber schwierig auszuführen. Der Franzose Orsat hat einen Apparat erfunden, welcher in wenigen Minuten gestattet, eine für technische Zwecke hinreichend genaue Analyse der Rauchgase auszuführen in bezug auf deren Gehalt an Kohlensäure, Sauerstoff, Kohlenoxyd und Stickstoff.

Der von J. Salleron in Paris angefertigte Apparat hat in dem Laboratorium der Töpfer- und Ziegler-Zeitung in Berlin einige Abänderungen, die ihn praktisch brauchbarer machen sollen, erfahren; in dieser letzten Form zeigt ihn Fig. 36.

Die Benützung des Apparates beruht darauf, daß ein gemessenes Quantum der Rauchgase aus dem Ofen ausgezogen wird und dieses nach und nach mit auf einer großen Oberfläche verteilten Natronlauge, dann mit pyrogallus-saurem Natron und schließlich mit einer ammoniakalischen Kupferchlorürlösung zusammengebracht wird. Die erstere nimmt die Kohlensäure daraus fort, das zweite den Sauerstoff, das dritte ist ein Lösungsmittel für das Kohlenoxydgas, so daß als Rest Stickstoff bleibt. Werden 100 cm^3 Rauchgase abgemessen und nach jeder Behandlung derselben mit den verschiedenen Absorptionsflüssigkeiten die Volumenabnahme gemessen, so erhält man direkt ohne Rechnung die Volumprocente der einzelnen Hauptbestandteile durch die in Kubikzentimeter ausgedrückten Volumenabnahmen.

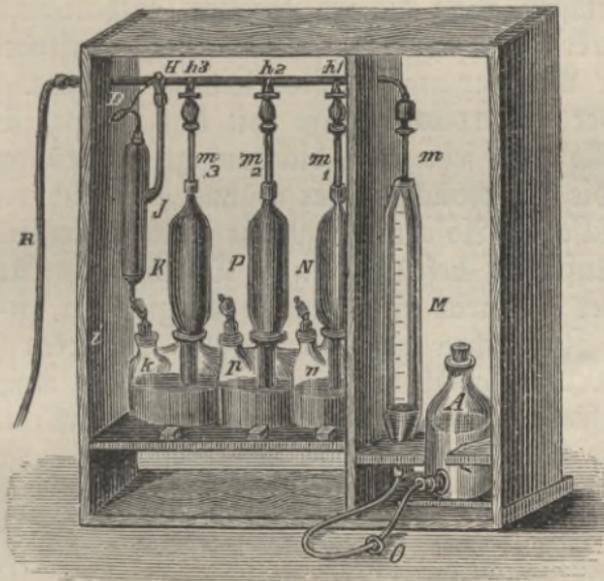
Der Orsatsche Apparat für Rauchgasanalyse hat nun folgende Einrichtung (Fig. 36):*)

Eine zylindrische, graduierte Glasröhre M steht einerseits mittels eines durch einen Quetschhahn verschließbaren Kautschukschlauches mit einer Flasche A in Verbindung, anderseits läuft sie in ein sehr enges Glasrohr aus, welches durch eine Stopfbüchse mit einem sehr eng gebohrten Zinnrohr luftdicht verbunden ist. Dieses Zinnrohr hat vier Abzweigungen, von denen drei, h_1 , h_2 und h_3 , durch Zinn-

*) Notizblätter 1875, S. 145.

Hähne verschließbar sind, unter welchen sich wiederum drei Stopfbüchsen befinden. Senkrecht unter diesen Hähnen finden sich drei zweihalsige Glasflaschen, n, p, k, welche als Reservoirs für die Absorptionsflüssigkeiten dienen und in deren mittelsten Hals die Absorptionsgefäße N, P, K mittels Gummipropsen eingesetzt sind. Die letzteren sind zylindrische Glasgefäße von etwa 150 cm³ Inhalt, die unten in ein

Fig. 36.



Rohr auslaufen, welches bis nahe auf den Boden des Reservoirs n p k hinabreicht und oben zu einem engen Halse zusammengezogen sind. Diese Gefäße sind ganz mit engen Glasröhren angefüllt, welche, benezt, der Absorptionsflüssigkeit eine große Oberfläche geben. In dem das Auffaugen des Kohlenoxydes bestimmten Gefäße K befindet sich außerdem noch eine Quantität Kupfer- oder Messingdrähte. Die vorerwähnte Zinnröhre ist bei der vierten Ableitung mit einem dreifach durchbohrten Hahn H verschließbar, dessen Bohrungsrichtung am Griff durch einen kleinen angefügten Dorn D sich schon durch das Gefühl markiert. Durch den

Hahn H kann die Zinnröhre und damit der ganze Apparat abgeschlossen, resp. mit dem zum Ofen führenden Gummischlauch R und mit dem kleinen Luftinjektor J in Verbindung gebracht werden. Der Injektor J hat den Zweck, vor der Benützung des Apparates die in der Rohrleitung R enthaltene Luft oder Stickstoff auszupumpen und sie mit dem Rauchgase zu füllen. Bläst man kräftig durch das an einem Gummischlauch hängende Mundstück i, so treibt man durch eine kleine Glasspitze einen kräftigen Luftstrahl in einen kleinen Trichter, reißt die im Injektor enthaltene Luft mit und bewirkt dadurch in demselben eine Luftverdünnung, welche zur Ausfaugung der Rohrleitung R dient. Die Verbindung der Absorptionsgefäße mit den Hähnen h_1 , h_2 , h_3 ist hergestellt durch sehr enge, dickwandige Glasröhren, welche oben in die Stopfbüchsen der Hähne luftdicht eingelassen, an die Hülse der Absorptionsgefäße mittels kleiner Gummischläuche luftdicht befestigt sind. Durch diese Anordnung gewinnt der Apparat eine gewisse Biegsamkeit, so daß er vor einem Zerbrechen geschützt ist. Zu bemerken ist noch, daß das Milchrohr M mit einem Glasmantel umgeben ist. Der Zwischenraum ist mit Wasser gefüllt, um etwa noch übergehende Wasserdämpfe aus den Rauchgasen zu kondensieren und Temperaturschwankungen während des Versuches zu verwenden. Der ganze Apparat ist in einem Holzkasten mit Schiebedeckel angeordnet, so daß er vor Verletzungen geschützt ist; außerdem sind die Reservoirs für die Absorptionsflüssigkeit verschließbar, so daß bei dem Transport desselben ein Verlust nicht stattfinden kann. Über die praktische Handhabung ist folgendes zu bemerken:

Es ist dafür Sorge zu tragen, daß die Flüssigkeiten in den drei Absorptionsgefäßen und in der graduierten Röhre bis zu den an ihnen eingetränkten Marken emporreichen, also die Natronlauge in N bis m_1 , das pyrogallusjaure Natron in P bis m_2 , und die Kupferlösung in K bis zu m_3 , und endlich das Wasser M bis zur Marke m stehen. Dies geschieht in folgender Weise: Man entfernt den Gummipfropfen von A und nimmt die Glaspfropfen von den

Flaschen n, p und k ab; die Hähne h_1 , h_2 und h_3 werden geschlossen, H so gestellt, daß die Zinnröhre mit der äußeren Luft kommuniziert. Letzteres ist der Fall, wenn der Handgriff des Hahnes H horizontal ist, also in der Richtung der horizontalen Zinnröhre steht; man hebt die Aspiraturflasche A mit der rechten Hand, öffnet den Quetschhahn Q mit der linken und läßt aus A so lange Wasser in die Röhre M fließen, bis die Marke m erreicht ist, worauf man Q wieder schließt. Nunmehr sperrt man die Kommunikation der Zinnröhre mit der äußeren Luft ab, indem man den Hahn H so stellt, daß sein Handgriff senkrecht zur Röhre steht, während der Dorn D nach links zeigt. Zunächst ist nun die Natronlauge in N bis zur Marke m_2 zu bringen. Zu diesem Behufe öffnet man h_1 , so daß die Meßröhre M mit dem Gefäße N kommuniziert. Senkt man nun die Flasche A und öffnet den Quetschhahn Q, so sinkt das Wasser in M und es steigt infolge der Luftveränderung die Natronlauge in N in die Höhe. Das Auge hat stets die steigende Flüssigkeit zu fixieren. Man läßt die Natronlauge nur genau bis m_1 steigen, indem man in dem Momente, wo dieser Punkt erreicht ist, den Quetschhahn Q schließt. Dieses Einstellen erfordert einige Aufmerksamkeit, damit man die Natronlauge nicht als über die Marke oder gar in die Zinnröhre hineinzieht. Ist die Natronlauge nur etwas über die Marke hinausgegangen, so hat man nur A zu heben, Q zu öffnen und die Natronlauge vorsichtig bis zur Marke m sinken zu lassen. Sollte aber unvorsichtiger Weise die Natronlauge bis in das Zinnrohr gezogen sein, so muß man dasselbe wieder reinigen. Dies geschieht in der Weise, daß man durch Heben von A mit geöffnetem Quetschhahn einige Tropfen Wasser durch die Röhre spült. Ist aber die Lauge gar bis in die Meßröhre M gezogen worden, so bleibt nichts übrig, als das Wasser in M durch reines Wasser zu ersetzen, weil sonst Fehler in der Analyse entstehen würden. Dies würde in der Weise auszuführen sein, daß man sofort h_1 schließt, H öffnet, A senkt, Q öffnet und sämtliches Wasser aus M in die Flasche A ausfließen läßt. Man kehrt

dann A um, gießt das Wasser fort und ersetzt es durch neues. Mit diesem Wasser spült man die Zinnröhre aus, indem man durch Heben von A dasselbe in die Röhre eintreten läßt, zieht es durch Senken von A wieder in die Flasche A und schüttet auch dieses Wasser aus. Nachdem man nun nochmals frisches Wasser in A gegeben hat, ist der Apparat als gereinigt zu betrachten. Um solche Wirkungen zu vermeiden, beachte man sorgfältig die Regel, daß das Auge auf die steigende Flüssigkeit zu richten ist, damit die Flüssigkeit nur genau bis zur Marke emporgesogen werde. Deshalb agiere man, sobald die aufsteigende Flüssigkeit sich dem engen Rohre, auf dem die Marke eingekätzt ist, nähert, sehr vorsichtig mit dem Quetschhahn und wende nur leichten Druck und in kleinen Intervallen an. Ist die Natronlauge ordnungsgemäß bis m_1 emporgehoben, so schließe man den Hahn h_1 .

Es handelt sich nun darum, das pyrogallusäure Natron in P bis Marke m_2 zu heben. Dies geschieht in der oben geschilderten Art. Man öffnet zuerst H, so daß der Handgriff dieses Hahnes horizontal steht, hebt A, öffnet Q dabei und läßt das Wasser in M bis zur Marke m steigen, dann schließt man H, öffnet aber diesmal h_2 statt h_1 und verfährt sonst wie oben angegeben. Steht das pyrogallusäure Natron bei Marke m_2 , so schließt man h_2 und es wiederholt sich nun das analoge Spiel bei dem dritten Absorptionsgefäß K. Steht auch hier die Flüssigkeit bei Marke m_3 , so schließt man h_3 und es bleibt nur noch übrig, in bereits bekannter Weise das Wasser in M bis zur Marke m zu treiben.

Ist der Apparat so eingestellt, so untersuche man vor jedem Versuche, ob alle Verschlüsse luftdicht sind. Ob die Hähne h_1 , h_2 , h_3 oder die unter den Hähnen befindlichen Stopfbüchsen und Schlauchverbindungen dicht sind, erkennt man sofort daran, daß die Flüssigkeiten an den betreffenden Marken stehen bleiben. Sinken dieselben aber, so sind entweder die Hähne oder die Stopfbüchsen, oder der kurze Schlauchverband nicht dicht. Im ersteren Falle sind die

Hähne neu zu schmieren, im anderen die Gummiverschlüsse nachzuziehen oder durch neue zu ersetzen. In keinem Falle ist eine Analyse mit einem nicht absolut dicht schließenden Apparate anzustellen. Bleiben die Flüssigkeiten aber an den betreffenden Marken stehen, so ist der Apparat in den Absorptionsteilen dicht. Ob er sonst dicht ist, erkennt man dadurch, daß wenn H so geschlossen ist, daß der Dorn D nach links zeigt, A gesenkt, Q geöffnet wird, das Wasserniveau bei Abschluß der Hähne h_1 , h_2 , h_3 außer einer geringen anfänglichen Senkung konstant stehen bleibt, nicht aber beständig, wenn auch langsam sinkt. Sinkt das Niveau, so ist entweder H nicht dicht und muß geschmiert werden, oder es ist die Stopfbüchse der Meßröhre M nicht dicht und dann muß letztere in Ordnung gebracht werden. Erweist sich aber der Verschuß überall zuverlässig, so kann, wenn die Herstellung genau erfolgt ist, die Analyse begonnen werden.

Analyse der Rauchgase. Es handelt sich zunächst darum, aus der Röhrenleitung, die zum Apparat führt, die atmosphärische Luft zu entfernen und sie mit den zu untersuchenden Rauchgasen anzufüllen.

Das geschieht in folgender Weise: Hahn H wird so gestellt, daß die Röhrenleitung R mit dem kleinen Injektor J in Verbindung steht. Dies ist dann der Fall, wenn H horizontal steht und der angelötete Dorn D nach J gesenkt ist. Nun nimmt man das Mundstück i in den Mund und bläst mehrere Male kräftig hinein, indem man kurz vor Ende des jedesmaligen Hineinblasens mit der linken Hand den Schlauch R zukneift, beim Beginn des Hineinblasens aber R frei läßt, und dreht beim fünften oder sechsten Luftstoße den Hahn so, daß seine Verbindung mit dem Injektor J unterbrochen ist, d. h. H steht horizontal, hat aber den angelöteten Dorn D nach oben gekehrt. Senkt man nun Flasche A, öffnet Q und läßt das Wasser aus M so lange ausfließen, bis sich der untere Rand des Wasserniveaus genau bei dem Teilstriche 100 befindet, schließt dann H, d. h. stellt man ihn senkrecht zur Zinnröhre, während der

Dorn des Hahnes nach links gekehrt ist, so hat man 100 cm^3 von Rauchgasen im Apparate, abgeschlossen von der äußeren Luft. — Es kommt nun darauf an, die Zusammensetzung derselben zu ermitteln. Zu diesem Behufe öffnet man zunächst h_2 , hebt Flasche A, öffnet Quetschhahn Q und treibt die Gase in das Absorptionsgefäß N, in dem die Kohlensäure infolge der Aufsaugung derselben durch die Natronlauge zurückbleibt. Man lasse hierbei das Wasser nicht über die Marke m steigen. Um auch den letzten Rest von Gas, der von Marke m bis zur nächsten durch Natronlauge benetzten Stelle, also etwa bis m_1 zurückbleibt, von Kohlensäure zu befreien, läßt man die Natronlauge in bekannter Weise wieder auf- und dann zurücksteigen. Schließlich hebt man dieselbe wieder bis m_1 , schließt Hahn h_1 und mißt nun in der Meßröhre M das Volumen des Gasrückstandes. Um keinen Fehler zu begehen, muß das Messen des Gases in der Weise erfolgen, daß es dabei genau unter dem Druck der Atmosphäre steht. Dies ist dann der Fall, wenn man den Quetschhahn öffnet und A so hebt, daß das Niveau des Wassers in A und das Niveau des Wassers in M genau gleich hoch steht. Dann schließt man, während A sich noch in dieser Stellung befindet, den Quetschhahn Q und liest nunmehr ab, wie viel Kubikzentimeter Gas sich noch in M befinden, wobei man immer den unteren Rand des Wasserniveaus als Maßstab wählt und das Auge genau horizontal in die Höhe dieses Niveaus bringt. Die Differenz des gefundenen Volumens und des ursprünglichen von 100 cm^3 gibt das Volumen der Kohlensäure in Kubikzentimeter, respektive in Prozenten an. Hierbei ist zu bemerken, daß die Natronlauge, so lange sie noch frisch ist, fast momentan absorbiert, später muß man einige Minuten warten, selbst die Glasröhren in den Absorptionsgefäßen durch mehrfaches Heben und Senken der Natronlauge neu benetzen. Bemerkte man, daß die Absorption langsam sich vollzieht, so ist es geraten, die Natronlauge durch frische zu ersetzen.

Hat man die Menge der Kohlensäure so ermittelt, so ist zunächst die Menge des freien Sauerstoffes zu be-

stimmen. Dies geschieht in der Weise, daß man jetzt h_2 öffnet und den Gasrückstand aus M durch Heben der Flasche A bei geöffnetem Quetschhahn Q in das Gefäß mit pyrogallussäurem Natron treibt. Die Manipulationen sind in diesem Falle analog denen, wie sie vorher für die Absorption der Kohlensäure beschrieben sind. Die Absorption erfordert in diesem Gefäße nur etwas längere Zeit, fünf Minuten etwa, und ist es zweckmäßig, die Glasröhren in P mehrmals mit der sich dunkelbraun färbenden Lösung der Pyrogallussäure zu benetzen. Schließlich mißt man den Gasrückstand analog wie oben. Die Differenz zwischen der letzten Messung und der nunmehrigen gibt die Menge des freien Sauerstoffes in Kubikzentimetern und Volumenprozenten an.

Um endlich das Kohlenoxydgas zu bestimmen, treibt man nach Öffnung von h_3 den Rest des Gases aus M in das Gefäß K. Ist hier das Kohlenoxydgas verschluckt, so mißt man wieder den Rückstand des Gases in M und findet aus der zurückbleibenden Menge und der vorhergehenden Messung die Menge desselben. Das Gas, das nun noch in M zurückgeblieben ist, ist Stickstoff. Man hat also die Menge der vier Gase, die man bestimmen wollte, festgestellt.

Um eine neue Analyse zu machen, hat man den Apparat wieder einzustellen. Da die Flüssigkeiten in den drei Absorptionsgefäßen, wie aus dem obigen erhellt, bis zu den dazu gehörigen Marken aufgesogen sind, so ist nur das Wasser in M bis zur Marke m zu bringen. Zu diesem Behufe dreht man H so, daß M mit dem Injektor J kommuniziert, d. h. daß der Dorn D nach unten gerichtet ist, und läßt nun durch Heben von A bei geöffnetem Quetschhahn das Wasser bis Marke m steigen. Nunmehr ist der Apparat zu einer neuen Analyse hergerichtet.

Zu bemerken ist noch, daß die Natronlauge passend in einer Konzentration von 1 Gewichtsteil geschmolzenem Natronhydrat in 3 Gewichtsteilen destillierten Wassers gewählt wird. — Für das pyrogallussäure Natron nimmt

man 25 g Pyrogallussäure, löst dieselbe in möglichst wenig heißem Wasser und versetzt mit 15 cm³ der obigen Natronlauge. Die dritte Flüssigkeit wird hergestellt durch Vermischen von gleichen Theilen Ammoniakflüssigkeit und einer gesättigten Salmiaklösung, welche man mit Kupferhammer Schlag oder geglühten Kupferspänen schüttelt, bis sie intensiv dunkelblau gefärbt ist. Man gießt passend auf die drei Lösungen in den Flaschen etwas Solaröl in einer Schicht von einigen Millimetern, damit sie vor Berührung mit der Luft geschützt sind, weil sie sonst, namentlich die Lösung der Pyrogallussäure wie die Kupferlösung, sehr bald unwirksam wird. In diesem Falle reichen die Lösungen für mehrere Hunderte von Analysen aus.

Die Feuergase im Kalkringofen untersuchte H. Seger*) mit dem Drjatschen Apparat. In dem Ofen wurde ein Rüdersdorfer Muschelnkalk verbrannt, der bei Anwendung schlechter Braunkohle in großen Stücken eingesetzt wird und hohe Brenntemperatur erfordert. Die benützte Senftenberger Förderkohle enthielt:

Kohlenstoff	. . .	34·4%
Wasserstoff	. . .	3·8 »
Sauerstoff	. . .	15·5 »
Wasser	. . .	42·7 »
Niche	. . .	3·1 »

Seger entnahm alle 10 Minuten durch Eisenrohre ein Gasquantum von der Ofenröhre und unter dem Gewölbe und stellte die Resultate der Analyse in folgender Tabelle zusammen. (Siehe Tabelle S. 153.)

Bei Nr. 1 unzureichende Temperatur für partielle Zersetzung des Kalkes; bei 2, 3, 4 langsames Fortschreiten des Feuers bei mäßiger Temperatur; bei 5, 6, 7 rasches Fortschreiten des Feuers bei hoher Temperatur.

*) Töpfer- und Ziegelei-Zeitung. 1876, S. 105. Dinglers Journal. S. 224, 226.

Nr.	Zahl d. Einzelversuchs Saugung d. Schornst.		Zusammensetzung der Feuerluft 100 cm unter dem Gewölbe				Prozente der effektiv verbrannten Luft	Kohlen- herstamm. aus dem		Zusammensetzung der Feuerluft 10 cm über der Ofensohle				Prozente der effektiv verbrannten Luft	Kohlen- herstamm. aus dem	
			Kohlensäure	Sauerstoff	Kohlenoxyd	Stickstoff		Kalkstein	Brennmaterial	Kohlensäure	Sauerstoff	Kohlenoxyd	Stickstoff		Kalkstein	Brennmaterial
1	6	53	7.6	12.2	0	80.0	44.5	0.0	7.6	9.2	10.9	0	80.5	49	0.5	8.5
2	6	25	17.4	6.2	0	76.4	69.0	5.2	12.2	17.3	6.5	0	76.0	68	5.5	11.8
3	8	23	16.3	7.1	0	74.0	63.0	4.8	11.5	15.3	8.2	0	74.0	59	4.9	10.4
4	7	67	11.5	10.0	0	78.5	52.0	2.2	9.3	13.0	8.3	0	76.1	61	2.5	10.9
5	7	54	12.3	12.3	0	75.8	38.0	5.7	6.7	18.1	8.1	0	74.0	59	8.3	10.0
6	9	30	19.0	8.1	0	72.4	56.0	9.6	9.4	27.7	2.9	0	64.5	84	14.4	13.4
7	6	61	10.6	14.9	0	76.7	27.0	3.9	4.9	24.6	0.0	2	73.0	100	9.1	16.5

Hieraus ergibt sich, daß die Zusammensetzung der Feuergase auf Ofensohle und unter dem Gewölbe bei mäßigem Zuge die gleiche ist; man also auch gleiche Verhältnisse für die Wärmeentwicklung und den dadurch hervorgerufenen chemischen Prozeß des Kalkbrandes, nämlich der Kohlensäureentwicklung voraussetzt, so weit dies bei der naturgemäßen Unregelmäßigkeit der Luftwiderstände im Einsatz möglich ist; daß dagegen bei heftigem Zuge erhebliche Differenzen vorhanden sind, die sich wohl daraus erklären, daß die oben horizontal streichende Luft hier auf weniger Brennmaterial trifft, als erforderlich, ihr den Sauerstoff zu entziehen, unten dagegen ihr Sauerstoff nahezu verzehrt wird. Reicht oben der Brennstoff nicht aus, allen bei starkem Zuge durchgehenden Sauerstoff zu verzehren, so kann natürlich auch keine hohe Temperatur entwickelt werden, wie zur Zersetzung des kohlen-sauren Kalkes und Austreibung der Kohlensäure erforderlich. Dagegen in den unteren Partien ist das Luftquantum selbst bei starkem Zuge ein geringeres als in den höheren Regionen des Ofens; die Hitze reicht zur Zersetzung aus, die Kohlensäure wird weniger durch nutzlos

durch den Ofen gehende atmosphärische Luft verdünnt. Die noch vielfach gemachte Annahme, daß die schweren Gase, also beim Kalkbrennen die Kohlenäure, vorzugsweise die unteren Regionen durchstreifen, ist also nicht zutreffend; wo sie eintritt, rührt sie nicht von dieser Tendenz der Gase, sondern daher, daß in diesen unteren Partien bei starkem Zuge größere Reibungswiderstände zu überwinden sind und eine geringere Verdünnung mit Luft statthat als in den oberen.

Eine gewisse Grenze der Zuggeschwindigkeit kann daher nicht überschritten werden beim Kalkbrennen; auch darf das zugeführte Luftquantum um so größer sein, das Fortschreiten des Feuers um so schneller geschehen, je schneller sich die Kohle in gasförmige Produkte verwandeln läßt.

Die sonst gemachte Annahme, nach welcher ein lebhafter Zug die Kohlenäureentbindung unbedingt befördert, ist also nur bis zu dieser Zuggeschwindigkeitsgrenze und so weit zutreffend, als dadurch die Temperatur bleibt, die zur Austreibung der Kohlenäure erforderlich (siehe oben).

III.

Eigenschaften des gebrannten Kalkes und Kalklöschens.

Der kohlen saure Kalk ist durch das Brennen in Kalziumoxyd (CaO), Kalkerde oder gebrannten Kalk übergegangen, hat dabei über 40% Kohlenäure und das beigemischte Wasser verloren, an seinem Gewichte etwa die Hälfte, an seinem Volumen 10—20% eingebüßt.

Die Beschaffenheit des gebrannten Kalkes ist verschieden; bald dicht, fest und körnig, bald locker und leichter zerreiblich, je nach der Qualität des rohen Kalksteines. War derselbe rein, frei von großen Verunreinigungen,

so zeigt das Produkt eine weiße Farbe; gewöhnlich aber ist dies nicht der Fall und erscheint es daher weißgrau, graugelblich, gelblichweiß zc., weil es stets etwas Ton, Eisenoryd, Magnesia zc. enthält.

Besprenget man den gebrannten Kalk mit Wasser, so saugt er dieses begierig auf, verbindet sich damit chemisch,

zerfällt dabei zu Pulver und bildet das Kalkhydrat $\left. \begin{array}{l} \text{H}_2 \\ \text{Ca} \end{array} \right\} \text{O}_2$

Dieses entläßt sein Wasser erst wieder bei Rotglut. Die Überführung des gebrannten Kalkes in Kalkhydrat heißt das Löschen des Kalkes, das pulverige Hydrat heißt gelöschter Kalk. Bei derselben findet eine bedeutende Wärmeentwicklung statt, derart, daß Wasser verdampft, Holz verkohlt, Schießpulver dadurch entzündet werden kann.

Bringt man zu gebranntem Kalk einen Überschuß von Wasser, so daß es einige Zentimeter darüber steht, so löscht er sich ebenfalls, und zwar unter heftigem Kochen und Wasserdampfentwicklung, und bildet nachher eine weiße, sich schmierig anfühlende Masse, Kalkbrei genannt. Während das trockene Hydrat gewöhnlich körnig ist, ist dieser Brei fettig, zähe, klebrig, und zwar um so mehr, je reiner der gebrannte Kalk, je weniger, je unreiner dieser war. Mit Rücksicht hierauf unterscheidet man fetten Kalk und mageren Kalk. Diese Eigenschaft erklärt sich aus dem Umstande, daß nur dem Kalkhydrat, nicht den fremden Beimengungen, die Eigenschaft innewohnt, diese fettige Masse zu bilden. Der häufigste Begleiter des natürlichen kohlen-sauren Kalkes ist die kohlen-saure Magnesia, ja er geht beim Mehrgehalte daran in Dolomit über. (Vgl. Natur des Kalkes oben.) Auch sie hat durch das Brennen die Kohlen-säure verloren und ist in gebrannte Magnesia, Magnesia-oryd oder Magnesia übergegangen, bildet beim Löschen zwar Magnesiahydrat, entbehrt aber die fettige Eigenschaft des Kalkes, ist vielmehr kurz. Nimmt also dieser Magnesia-gehalt zu, so wird der Kalkbrei kurz, entsteht der magere Kalk. Schon bei 10% Magnesia ist das Magerwerden

deutlich zu erkennen; steigert sich der Gehalt auf 25—30%, so wird der Kalk unbrauchbar.

Nicht selten findet man im gebrannten Kalk Stücke, die mit Wasser nicht gleichmäßig zerfallen; dieselben haben beim Brennen entweder die Gare noch nicht erreicht, also nicht alle Kohlenensäure verloren, sind nicht gar gebrannt, oder die Hitze war zu groß, daß der Kieselsäure und Ton führende Kalkstein nicht nur seine Kohlenensäure verlor, sondern durch dieselbe kieselsaure Verbindungen entstanden, die sich nicht in der Weise des Kalkes lösen. Solchen Kalk nennt man totgebrannt.

Wird dem gelöschten Kalk ein noch größerer Wasserüberschuß gegeben, so entsteht eine milchige Flüssigkeit oder Kalkmilch. Der Kalk ist in Wasser wenig löslich, und zwar weniger löslich in heißem als in kaltem Wasser. Nach Dalton bedarf 1 Teil Kalk bei 15° C 778 Teile Wasser zur Lösung.

Nach Versuchen von A. Lamy (Comtes rendus 1878, p. 333*) ist die Löslichkeit des Kalkes verschieden nach der Abstammung desselben, der Dauer der Einwirkung u. dgl. Nachfolgende kleine Tabelle gibt den Kalkgehalt von 1 kg Kalkwasser bei verschiedenen Temperaturen, und zwar unter I des durch Glühen von aus Nitrat gefälltem Karbonat hergestellten, unter II von geglühtem Marmor und unter III entwässertes Kalkhydrat:

Temperatur	I	II	III
Grade	g	g	g
0 . . .	1·362	1·381	1·430
10 . . .	1·311	1·242	1·384
15 . . .	1·277	1·299	1·348
30 . . .	1·142	1·162	1·195
45 . . .	0·996	1·005	1·033
60 . . .	0·844	0·868	0·885
100 . . .	0·562	0·576	0·584

*) Dinglers Journal. Auch Tonindustrie-Zeitung. 1878, S. 417.

Der gebrannte Kalk verbindet sich im wasserfreien Zustande nicht mit der Kohlenäure, auch nicht, wenn Wasserdampf vorhanden ist, sondern nur bei Gegenwart von flüssigem Wasser. In diesem Falle entsteht zuerst Kalkhydrat und dieses nimmt Kohlenäure auf und bildet wieder kohlen-sauren Kalk. Die Verbindung erfolgt in diesem Falle sehr schnell, so daß Kalkwasser sich an der Luft sofort mit einem Häutchen von kohlen-saurem Kalk überzieht. Daraus ergibt sich, daß der gebrannte Kalk entweder frisch verbraucht oder in gut verschlossenen Behältern aufbewahrt werden muß.

Nach Charleville*) ist das Gedeihen des Kalkes von der Art des Löschens soweit abhängig, daß

1. beim gewöhnlichen Löschen zu Kalkbrei sich das Volumen von 1 auf $3\frac{1}{2}$,
2. beim Löschen zu Kalkbrei von 1 auf 3,
3. bei Verwandlung solchen Pulvers zu Kalkbrei von 1 auf 2·56,
4. beim Zerfallen zu Pulver von 1 auf 2·5,
5. beim Anmachen von Brei aus zerfallenem Pulver von 1 auf 1·7 vermehrt.

Das Löschen des Kalkes ist in bestimmter Art auszuführen, namentlich die Wassermenge richtig zu bemessen, weil davon die Volumenzunahme oder das Gedeihen des Kalkes abhängt.

Über das Gedeihen des Kalkes und seine hierdurch mögliche Wertbestimmung haben W. Wolters und J. Stingl Untersuchungen angestellt.

Nach Wolters**) zeigt der aus Marmor gebrannte kohlen-saure Kalk noch deutlich körniges Gefüge, ist nicht zu einem sandigen Pulver zerdrückbar. Ein Stück desselben ins Wasser gelegt, löst sich unter Zischen augenblicklich; 1 Teil desselben mit 3 Teilen Wasser gibt nach wenigen Minuten einen mäßig steifen, kaum noch zerfließlichen Brei.

*) Notizblätter. 1869, S. 244.

**) Dinglers Journal. 1870, S. 343.

Legt man Stücke dieses Kalkes in ein Glasrohr und leitet längere Zeit ($1\frac{1}{2}$ Stunden) Wasserdampf darüber, so zeigen sich keine Veränderungen, er bleibt körnig; der Kalk löst sich also in Wasserdampf nicht; obwohl er vollkommen in Hydrat übergegangen, wächst und gedeiht er nicht. Die Wasseraufnahme und das Gedeihen sind offenbar voneinander unabhängige Erscheinungen, die sich nicht notwendig bedingen. Ein Stück gebrannter Kalk saugt zunächst Wasser auf, dann erst tritt chemische Bindung desselben ein, verbunden mit Wärmeentwicklung; die Wärme kann nicht so schnell nach außen entweichen, sie wirkt also rasch verdampfend, treibt die Moleküle auseinander.

Das Gedeihen ist also eine Folge der plötzlichen Wasserdampfentwicklung, hervorgebracht durch die zusammengehaltene Wärme. Zum Gedeihen ist ein Wasserüberschuß, mehr als zur Hydratbildung nötig; fehlt derselbe, so entsteht bloß hydratizierter, sogenannter verbrannter Kalk.

Nach Stingl*) hat das Kalziumoxydhydrat eine Dichte = 2.0068 und besitzt das direkt dargestellte Kalkhydrat dieselben Volumenverhältnisse wie das aus reinem Kalkbrei abgetrennte. Dieses Kalkhydrat hat die Eigenschaft, im Momente des Entstehens größere Mengen Wasser aufzunehmen und festzuhalten, ohne damit eine chemische Verbindung zu bilden, wodurch eine breiartige Masse entsteht und das Volumen vergrößert wird. Ein ähnlicher Vorgang wie das Gedeihen des Kalkes ist nach ihm die Wasseraufnahme durch Seifen, wo das Wassereinrühren auch »Füllen« genannt wird. Diese Wasseraufnahme kommt unter allen Bestandteilen des gebrannten Kalkes nur dem freien Kalziumoxyd zu und es findet dadurch eine Gewichts- und Volumenzunahme statt, ohne daß eine Verteilung der Moleküle erfolgte. Im Gegenteil

*) Österreichisch-Ungarische Tonwaren-Technik. 1878, Nr. 6, 9, 10.

zeigt sich nach Versuchen Stingls eine Kontraktion zwischen Kalziumhydroxyd und Wasser.

Stingl erprobte drei gut gebrannte und von ihm analysierte Kalksorten aus der Bukowina auf die Verhältnisse bei der Wasser Verbindung und auf die Dichte des Breies und fand:

	Reines Kalziumoxyd	Kalk von Stimpolung	Kalk von Krasna	Kalk von Jesopol
Enthalten Kalziumoxyd	100 ⁰ / ₁₀₀	98·06 ⁰ / ₁₀₀	97·96 ⁰ / ₁₀₀	94·68 ⁰ / ₁₀₀
50 g desselben geben dünnen Kalkbrei .	571·3 cm ³	543·8 cm ³	438·4 cm ³	233·5 cm ³
Die Dichte dieses Kalkbreies beträgt	1·1007	1·107	1·145	1·280

Aus dieser Tabelle geht hervor, daß die Güte eines Kalkes für die Mörtel-Fabrikation in letzter Instanz von der Menge Wasser abhängt, die das Kalziumhydroxyd zu binden imstande ist, was bedingt, daß die Dichte eines Kalkbreies um so kleiner ist, je mehr Wasser in ihm enthalten ist, oder je besser der Kalk ist.

Hat man daher ermittelt, wie viel Wasser — dem Gewichte nach — ein bestimmtes Quantum Kalziumoxyd (gebrannter Kalk), dessen Dichte im allgemeinen zu 2·2896 oder in runder Summe zu 2·3 genommen werden kann, ohne einen erheblichen Fehler zu begehen, aufzunehmen imstande ist, um einen dünnen Kalkbrei von bestimmter Konsistenz zu bilden, und bestimmt man hierauf die Dichte dieses Kalkbreies, so kann man mit Hilfe dieser zwei Daten ganz genau berechnen, wie groß die Volumenvermehrung des betreffenden gebrannten Kalkes ist. Wir haben dann für den vagen Ausdruck »Gedeihen« eine Zahl gewonnen, die einen sicheren Kalkül gestattet. Zum Behufe der Dichtenbestimmung muß der Kalkbrei dünn gemacht werden.

Aus diesen Eigenschaften ergeben sich die für die Aufbewahrung des gebrannten Kalkes und das Löschen desselben behufs Mörtelbereitung wichtigen Gesichtspunkte.

Die Kalkbrennerei muß für das erzeugte Produkt gut verschlossene namentlich trockene Räume haben, wenn es nicht durch Wasseraufnahme und nachherige Kohlenäuerung verlieren soll. Der Transport muß in bedeckten Wagen geschehen, welche den Kalk vor Feuchtigkeit und Luft möglichst schützen.

Beim Kalklöschen kommt sehr viel auf die richtige Wassermenge und die sachverständige Arbeit an, soll der Kalk nicht durch zu wenig Wasser »verbrannt«, durch zu viel Wasser »ersäuft« werden. Am besten geschieht es auf die Weise, daß man den gebrannten Kalk zuerst mit so viel Wasser anfeuchtet, daß er zerfällt, und erst dann unter stetem Umrühren die Wassermenge vermehrt, bis kein Aufbrausen mehr stattfindet und ein gleichförmiger Brei entstanden ist.

Für technische Zwecke rechnet man das $3\frac{1}{4}$ fache Gewicht Wasser für fetten Kalk. Das Wasser muß möglichst rein und frei von Kohlenäure sein, weswegen das Fluß- und Regenwasser dem Quell- und Brunnenwasser unbedingt vorzuziehen ist. Wasser, das viel Chlorverbindungen enthält (Meer- oder Soolwasser), ist nicht zu gebrauchen.

Gewöhnlich erfolgt das Kalklöschen in etwa $\frac{1}{2} m$ hohen, aus Brettern zusammengesetzten Kalkkästen, an deren schmaler Seite sich eine mit einem senkrechten Schieber verschließbare Öffnung zum Auslassen des Breies in die Kalkgrube befindet. Die Steine werden in den Löschkästen nebeneinander ausgebreitet, dann sprengt man Wasser darauf, wodurch sie unter Knistern bersten und zu Pulver zerfallen, und gießt nun unter Zerstoßen und Zerrühren mit der Löschrücke die notwendige Wassermenge hinzu, bis ein gleichförmiger Brei entstanden ist, den man in die Kalkgrube abläßt oder einsumpft. Das Einsumpfen in

viereckige Gruben, Kalkgruben, gewährt manche Vorteile. Zunächst zerfallen die noch unaufgeschlossenen Teile des frisch gelöschten Kalkes vollends, die Masse wird gleichartiger, fetter und speckiger, setzt sich dichter zusammen, der Wasserüberschuß tritt über die Oberfläche und kann abgeschöpft werden. Dann läßt sich der Kalk in dieser Grube, die man oben mit Brettern zudeckt und auf diese einige Zentimeter Sand schichtet, längere Zeit aufbewahren, ohne in kohlenfauren Kalk überzugehen.

Die ältere, bereits von den Römern benützte Methode des Kalklöschens besteht darin, den gebrannten Kalk in kleinere Stücke zu zerbrechen, diese in einen geflochtenen Korb zu bringen und in Wasser so lange einzutauchen, bis auf der Oberfläche ein Kochen beginnt; dann wird der Korb herausgezogen, der Inhalt in ein Faß oder einen Kasten geschüttet, wo er sich stark erhitzt, so daß ein Teil des gebundenen Wassers als Dampf entweicht, dann zu Pulver zerfällt und nun überdeckt für die Mörtelbereitung aufbewahrt werden kann.

Neuerlich ist darauf aufmerksam gemacht worden, daß es gewisse Vorteile bietet, wenn der gebrannte Kalk, anstatt als solcher liegen zu bleiben, zu Pulver gelöscht werde. Nach Billeneuve*) hat man von diesem Verfahren in Frankreich bereits vielfach Anwendung gemacht und das Vorteilhafte ist von der Pariser Akademie bestätigt worden. So ist dies Verfahren u. a. beim Bau der Eisenbahn zwischen Marseille und Avignon, ebenso beim Bau der Befestigungswerke von Paris in Anwendung gekommen.

Der gebrannte Kalk wird mit so viel Wasser besprengt, als er zu absorbieren vermag, jedoch jeglicher Überschuß vermieden, damit kein Brei entstehe. So bleibt er zirka acht Tage in Haufen liegen, schwillt an, und nach dieser Zeit entfernt man die ungelöschten Kalkstücke mittels eines Siebes, dessen Maschen $\frac{1}{2}$ mm Weite haben. Die Kalkstückchen werden für sich zerrieben, ebenso mit Wasser be-

*) Dingers Journal. 1869, S. 220.

sprenkt und das Pulver dann dem anderen zugegeben. Die Masse ist vollständig gelöscht und kann in Haufen, vor Regen geschützt, jahrelang aufbewahrt werden, ohne ihre Eigenschaften zu verlieren.

IV.

Luftmörtel.

1. Zubereitung.

Luftmörtel oder Mauer Speise ist ein Gemisch von Kalkbrei und Sand, welches entweder als Kitt zwischen die Bausteine gebracht wird und mit der Zeit selbst Steinhärte annimmt oder zum Verputzen der Mauern in ausgedehnter Weise Anwendung findet.

Luftmörtel nennt man ihn, weil er nur für in der Luft sich befindendes Mauerwerk, nicht für solches im Wasser brauchbar ist. In der Regel stellt man ihn aus eingesumpftem Kalk dar, welchen man mit der nötigen Menge Wasser versetzt; hierzu bringt man dann unter Durchrühren und Durcharbeiten die notwendige Quantität Sand und durchmischt die Körper so lange, bis sie eine homogene Masse bilden.

Als Mörtelsand kann fast jedes nicht mit Ton oder Ackererde vermischte feste zerkleinerte Gestein dienen, also Quarz-, Feldspat-, Glimmer-, Kalksand oder Gemenge dieser Sandarten. Man gibt dem scharfkantigen und eckigen Grubensande vor dem runden Flußsande den Vorzug, weil er bei gleichem Rauminhalte dem Kalkbrei eine größere Berührungsfläche darbietet, wodurch sich die Festigkeit des Mörtels vergrößert. Rücksichtlich seiner Brauchbarkeit zu Mörtel und seiner Korngröße teilt man den Sand in drei Klassen: feinen Sand, gewöhnlich zu Verputzmörtel benützt, mittelgroben, für gewöhnliches Mauerwerk aus Ziegelsteinen, und groben für Bruchstein-Mauern.

Die Menge des zuzugebenden Sandes ist keine beliebige, sondern richtet sich nach der Qualität des Kalkes; je fetter der Kalk, desto mehr Sand kann er vertragen, ohne daß die Festigkeit des Mörtels dadurch beeinträchtigt wird; je magerer, desto weniger.

Das Verhältnis zwischen dem steifen fetten Kalkbrei und dem Sande ist gewöhnlich wie 1:3. In dem mageren Kalle ersetzen die fremden Stoffe (Magnesia, Ton) bereits einen Teil des Sandes.

Nach Wolfram ist dem Kalk so viel Sand zuzugeben, daß das Volumen des fertigen Mörtels dasjenige des Sandes nicht übersteige, also nur die Zwischenräume mit Kalk ausgefüllt werden und jedes Sandteilchen von einer Kalkhülle umgeben sei.

Über die Verhältnisse zwischen Kalk und Sand, durch die ein dauerhafter Mörtel erzeugt wird, verbreitet sich Zinrek, aus dessen Abhandlung*) folgende Resultate hervorzuhelien sind. Ein dauerhafter Mörtel muß im trockenen Zustande 13—15% Kalkerdehydrat enthalten. Außer der richtigen Bemessung der Sandmenge ist die Güte des Mörtels wesentlich von der innigen Vermischung der Bestandteile abhängig. Wenn die Mörtelzubereitung durch die Hand des Arbeiters für Bauten geringer Ausdehnung auch genügt, so hat sie doch stets den Nachteil, daß diese Zubereitung ganz in das Ermessen, die Willkür, die größere oder geringere Gewissenhaftigkeit des Arbeiters gegeben ist, von denen es abhängig sein wird, wie die Qualität des Mörtels sowohl hinsichtlich des Mengenverhältnisses seiner Bestandteile als auch des Grades der Verteilung sein wird.

Bei größeren Bauten, wo es auf bedeutende Quantitäten möglichst guten Mörtels ankommt, hat man längst seine Zuflucht zu Mörtelmisch- und Zubereitungs-
maschinen genommen, die auch bei entsprechender Kon-

*) Jahrbuch 1870, S. 194 und 195.

struktion ihren Zweck vollständig erfüllen und dabei billiger produzieren, als es durch Handarbeit möglich ist.

Die Mörtelmaschinen, teils vertikale, teils horizontale, sind entweder nach Art eines gewöhnlichen Ton-
schneiders, wie er in der Ziegel-Fabrikation zum Homogenisieren des Tones Anwendung findet, konstruiert, oder es sind Göpel mit Wagenrädern oder mit Kraken, die in einem kreisrunden Troge laufen.

Eine seit langem benützte, vom französischen Architekten Roger konstruierte Mörtelmühle ist ein richtiger Tonschneider, eine hölzerne Tonne, in welcher eine vertikale Welle rotiert, die ebenso wie die innere Tonnenwandung mit Rührreifen und unten mit einer sternförmigen Scheibe armiert ist. Die Welle wird nach der Eingabe der Mörtelmaterialien durch Pferde- oder Maschinenkraft gedreht, der durchmischte Mörtel gelangt auf die untere Scheibe, um von derselben gegen die gußeiserne Bodenplatte der Tonne gedrückt zu werden und dann in den Abzugskasten zu kommen. Diese Maschine erfordert nur einen Arbeiter, der die abgemessenen Materialien in bestimmter Reihenfolge eingibt und den produzierten Mörtel unten auf die Mörtelbank zieht.

Die Kosten dieser Maschine, einschließlich Gestell, Zubehör und Transmission, belaufen sich auf zirka 560 Mark.

Die Maschine produziert wesentlich billiger als die Handarbeit, ein Arbeiter leistet so viel als acht Arbeiter mit Handarbeit, die Mörtelqualität ist dauernd gleichförmiger und besser.

Ähnlich den liegenden Tonschneidern sind die von Schlicheisen konstruierten Mörtelmaschinen verschiedener Größe, für Hand-, Pferde und Dampftrieb.

Andere sehr verbreitete Mörtelmaschinen bestehen aus einem auf Ziegelsteinen aufgemauerten ringförmigen Kanal, der in der Sohle etwas schmaler als oben und in hydraulischem Mörtel aufgeführt ist.*) In diesem Kanale laufen

*) Romberg's Zeitschrift 1870, S. 199.

Räder und eiserne Kraken, die an horizontalem, durch eine vertikale Welle bewegtem Balken sitzen und die Massen durcheinander mischen. Im Boden des Kanales befindet sich an einer Stelle eine hölzerne Klappe, durch welche die fertig geknetete Masse nach einem vertieft liegenden Gange abgelassen werden kann. Durch eine trichterartige Öffnung im Fundament-Mauerwerke fällt der zubereitete Mörtel direkt in die darunter geschobenen Handkarren, um nach dem Bauplatze transportiert zu werden.

Wie gesagt, steht im Zentrum des ringförmigen Kanales eine vertikale Welle, die mittels eines Pferddegöpels drehbar ist; an dieser Welle sitzt ein achtstrahliges Kreuz in horizontaler Lage, dessen Strahlen nach unten gehende Arme tragen, welche an ihrem Ende mit Eisen in Gestalt von Pflugscharen, ebenso mit Krakeisen und um Achsen drehbare Wagenräder und Blechtafeln armiert sind, so daß sie über die Breite des Kanales wirken können und die eingeworfenen Materialien nicht nur mischen, sondern auch nach dem Abzugskanal befördern.

Die Leistungen dieser und ähnlicher Maschinen sind billig und sehr vollkommen, nur bleibt bei manchen derselben zu wünschen, daß sie mit Vorrichtungen versehen werden zur Ausscheidung und Ausfiebung der im Sande sich vorfindenden kleinen Steine oder besser deren Zerkleinerung ebenso, daß sie womöglich den Mörtel auf Entfernungen und Höhen befördern.

2. Erhärtung.

Die chemischen und physikalischen Prozesse, durch welche der Luftmörtel allmählich in die steinharte Masse übergeht, also das Erhärten desselben bewirkt wird, sind in der Neuzeit Gegenstand vieler Studien und Versuche gewesen. Durch diese Untersuchungen wurde erwiesen:

1. Daß die Erhärtung an kein bestimmtes Verhältnis von Kalk und Sand gebunden ist;

2. daß dabei unter Vermittlung des Wassers Aufnahme von Kohlenensäure stattfindet, welche oft so groß ist, daß dadurch neutraler kohlenaurer Kalk gebildet wird (Bauer, Wallace, A. Vogel), oft auch so gering, daß 20, ja 70% Kohlenensäure zur Bildung neutraler Kalksalze fehlen (Schrötter und Laszko);

3. daß dabei lösliche Kieselsäure gebildet wird, deren Menge mit dem Alter zunimmt, und zwar im umgekehrten Verhältnis mit der Kohlenensäure;

4. daß Mörtel auch mit Kalksand, zerriebener Kreide zc. ebenso gut erhärten, mithin die Kieselsäure nur eine untergeordnete Rolle spielen kann;

5. daß neben den chemischen Prozessen auch mechanische die Erhärtung unterstützen.

Man hat sich also die Erhärtung so zu denken, daß zunächst der Kalkmörtel, in dem sich das Wasser verflüchtigt, trocknet und an Volumen verliert, an Konsistenz gewinnt. Die Kalkhydratteilchen nehmen nun aus der Luft Kohlenensäure auf, wobei der Mörtel bindet, indem der die Sandkörner einhüllende Kalkbrei durch seinen Übergang in kohlenfauren Kalk dieselben zusammenkittet. Je langsamer die Verdunstung des Wassers erfolgt, je länger also Feuchtigkeit vorhanden bleibt, desto inniger die Verkittung. Ist so äußerlich ein Häutchen von kohlenfaurem Kalk gebildet, so kann sich die Kohlenäuerung nach dem Innern zu nur langsam und in langen Zeiträumen vollziehen. Diese Decke schützt, indem sie dicker und dicker wird, die darunter liegende Kalkschicht vor dem Auswaschen durch wässerige Niederschläge. Der Sand verhält sich zunächst vollständig indifferent, nur insoweit wirkt er mit, als er eine zu bedeutende Volumenabnahme, die beim Kalk allein statthaben und denselben rissig machen würde, verhindert, anderseits aber bei der statthabenden Verdichtung nur um so fester von der Kalkmasse umschlossen und zusammengehalten wird.

Die Härte des Luftmörtels wird also vorzugsweise hervorgebracht durch die allmähliche

Austrocknung und Kohlen säuerung oder Karbonisation des Kalkes, und hierdurch unterscheidet er sich ganz bestimmt vom Wassermörtel, bei welchen im Wasser und unter Mithilfe des Wassers, im Wasser unlösliche Kieselsäure-Verbindungen entstehen. Bringt man frischen Luftmörtel in Wasser, so wird einfach das Kalkhydrat ausgewaschen; er ist somit in diesem als Kitt unbrauchbar.

Hierin besteht der durchgreifende Unterschied der Mörtelarten, jedoch muß hervorgehoben werden, daß es eine Anzahl Mörtel gibt, wo die Prozesse nicht so scharf hervortreten, die also zwischen beiden stehen, sich bald dem einen, bald dem andern nähern.

Wenn dies zunächst betont wird, so steht dies nicht im Widerspruch mit der oben unter 3. genannten Tatsache, wie sich später ergeben wird.

Als J. N. v. Fuchs den Gründen der Erhärtung des Mörtels nachforschte, erkannte er bald die bedeutende Rolle, welche die Kohlen säure dabei spiele. Insbesondere interessierte ihn die Frage, auf die ihn seine Untersuchungen führten: ob die Ursache der Erhärtung in einer eigentümlichen, an der Luft gebildeten Verbindung von basisch kohlen saurem Kalk (CaCO_3 , CaOH_2) zu suchen sei?

Um das Jahr 1813 bemerkte nämlich Vicat*) beim Brennen von Kalksteinen, welche einen fetten Kalk liefern, daß einige Stücke des gebrannten Kalksteines bei ihrer Begießung mit Wasser nicht gleich dem fetten Kalke gelöscht wurden, und daß sie, mechanisch zu einem Pulver zerrieben, mit Wasser angemacht, einen im Wasser erhärtenden Mörtel liefern, ähnlich den Mörteln aus hydraulischem Kalk. Indem Vicat diese Erscheinung näher untersuchte, fand er, daß eine derartige Eigenschaft die bei geringerem Luftzutritt und unter Anwesenheit von zu viel Kohlen schwach gebrannte Kalksteinstücke besaßen.

*) Die hier gegebene historische Übersicht ist nach der Arbeit Schulatschenko's: Über den basisch kohlen sauren Kalk in den hydraulischen Cementen. Dinglers Journal 1872, S. 205 und 235.

Zehn Jahre darauf veröffentlichte er*) neue Beobachtungen, welche er zufällig beim Brennen von Kreide auf einem rotglühenden Eisenblech gemacht hatte. Es ergab sich, daß schwach gebrannte Kreide, aus welcher noch nicht alle Kohlensäure abgetrieben war, bei Bereitung eines Mörtels aus derselben, im Wasser hart wurde. Da solche schwachgebrannte Kreide eine Mischung von Ätzkalk und kohlen-saurem Kalk vorstellte, so glaubte Vicat, daß ein einfaches Zumengen von Kreide oder reinem kohlen-saurem Kalk zu ungelöschtem Ätzkalk einen Stoff bilden könne, der, zu einem Mörtel angerührt, hydraulische Eigenschaften haben werde. Er mengte daher der Kreide Ätzkalk in den verschiedensten Verhältnissen bei, erreichte jedoch keinen Erfolg. Diese Mischung zeigte keinerlei hydraulische Eigenschaft.

In demselben Jahre, einige Monate später, wurden die Resultate publiziert, welche der französische Ingenieur Minard erhalten hatte, als er in verschiedener Weise Kalksteine brannte. Minard gab an, daß alle Kalksteine, nicht bloß die tonhaltigen, sondern auch die reinen, zur Darstellung von hydraulischen Cementen tauglich seien, welche an Güte englischem Romancemente nicht nachstehen, falls nur dieselben nicht vollständig gebrannt wurden. Minard nahm an, daß bei unvollständigem Brande sich basisch kohlen-saurer Kalk CaOCO_2 , CaO bilde, welcher die Fähigkeit besitzt, bei seiner Verwandlung in Hydrat CaOCO_2 , CaOHO , im Wasser zu erhärten. Hiernach sollte man meinen, daß die Frage bezüglich hydraulischer Cemente sich sehr einfach lösen lasse: man nehme irgend einen Kalkstein, brenne ihn unvollständig und der Cement ist fertig. Aber schon im nächsten Jahre schreibt Vicat, welcher nach derselben Richtung hin Untersuchungen anstellte, in Erwiderung auf die Behauptung Minards: »Meine Forschungen haben durchaus nicht die von Minard veröffentlichten Resultate bestätigt. Ich fürchte, glauben zu müssen, daß aus einem nur

*) Annales de chimie et de physique. 1823, pag. 464.

mäßig gebrannten Kalksteine niemals, ich sage nicht, ein guter, sondern nicht einmal ein mittelmäßiger Cement erhalten werden kann.* *)

Berthier bestritt gleichfalls die hydraulischen Eigenschaften des basisch kohlen sauren Kalkes, indem er behauptete, daß, wenn bei unvollständigem Brennen des Kalksteines auch wirklich eine dem basisch kohlen sauren Kalk ähnliche Verbindung sich bilden könne, dieselbe bei dem Anrühren mit Wasser in Kalkhydrat und kohlen sauren Kalk zerfallen müßte.

J. N. v. Fuchs**) brannte Kreide zwischen glühenden Kohlen und fand, daß der Kalkstein hierbei eine gewisse Quantität Kohlen säure zurückbehält, welche annähernd derjenigen Menge derselben entspricht, bei welcher sich basisch kohlen saurer Kalk bildet. Indem v. Fuchs bereits vollständig gebrannten Kalk zwischen glühende Kohlen tat, bemerkte er, daß derselbe eine ebensolche Quantität Kohlen säure aufnimmt, wie im ersten Falle bei unvollständigem Brande des Kalksteines ausgeschieden wurde, so daß bei unvollständigem Brande des Kalksteines oder bei Sättigung vollständig gebrannten mit Kohlen säure, derselbe das Bestreben zeigt, eine solche Quantität Kohlen säure auszuscheiden oder aufzunehmen, daß als Resultat basisch kohlen saurer Kalk erhalten wird. In beiden Fällen wird der Kalkstein, sowohl der unvollständig gebrannte, welcher noch bedeutende Mengen Kohlen säure in sich enthält, als auch derjenige, welcher später Kohlen säure in sich aufgenommen hat, bei seiner Sättigung mit Wasser nicht gelbicht und gibt zu einem Pulver zerrieben und mit Wasser angerichtet, einen Mörtel, welcher in höherem oder geringerem Grade die Fähigkeit besitzt, im Wasser zu erhärten.

Im Jahre 1828 wurden beim Bau des Bourgogner Kanales von dem Ingenieur Lacordère Mörtel angewandt, welcher aus tonhaltigen, schwach gebrannten Kalk-

*) Annales de chimie et de physique XXV, pag. 63.

**) J. N. v. Fuchs, Gesammelte Schriften. München 1856, S. 97 und 162.

steinen bereitet wurde. Er brannte dieselben drei Tage anstatt acht, wobei er hauptsächlich im Auge hatte, Kosten für Brennmaterial zu sparen. Die in dieser Weise erhaltenen Mörtel erhärteten sehr gut im Wasser, wenn auch keinerlei Auskünfte vorliegen, in welchem Grade sie besser wie aus völlig gebrannten Kalksteinen bereitete Mörtel gewesen sind, und ob man sich nicht bloß mit den Eigenschaften des Mörtels begnügte, um nur Ausgaben für Brennmaterial zu sparen.*) Mit Ausnahme des hier angeführten Falles erzielten die durch Minard veröffentlichten Resultate während längerer Zeit keinerlei praktische Anwendung, bis endlich Billeneuve**) sich an die Bereitung hydraulischen Mörtels aus unvollständig gebrannten Kalksteinen in großem Maßstabe machte. Er brannte 7—10% Ton enthaltende Kalksteine nicht vollständig, löschte sie, indem er sie mit Wasser besprengte, und suchte nach Verlauf von 2—3 Tagen, während welchen sie sich in freier Luft befanden, diejenigen Stücke heraus, welche nicht gelöscht waren, vermahlte sie und benützte sie als Cement. Die hydraulischen Eigenschaften dieses Cementes schrieb Billeneuve der Anwesenheit von Kohlensäure in den unvollständig gebrannten Stücken zu. Gleichwie Minard und Vicat, so nahm er auch an, daß sich hierbei basisch kohlenaurer Kalk bilde.

Um dieselbe Zeit nahm man bedeutende Beschädigungen an den Wasserbauten in Cette und Marseille wahr, deren Ursachen in der schlechten Beschaffenheit des hydraulischen Mörtels aus tonhaltigen Kalksteinen lagen. Aus diesem Anlaß schlug Minard***) vom neuen vor, Untersuchungen über unvollständig gebrannte Kalksteine anzustellen, indem er annahm, daß Cemente, welche aus solchen Kalksteinen bereitet sind, ausgezeichnet der Wirkung des Meerwassers Widerstand leisten müßten.

*) Petot, *Études sur la chaufournerie*.

**) *Bull. Compt. rend.* XXXI. pag. 55. Liebig und Kopp. Jahres-Bericht 1850, S. 640.

***) *Annales de chimie et de physique*. 1853, pag. 198.

Rivot und Chantoney jedoch, welche sich mit umfassenden Untersuchungen über die Widerstandsfähigkeit der Mörtel gegen den Einfluß von Seewasser beschäftigten und die Resultate derselben in der schätzbaren Schrift: »Les materiaux employés dans les constructions à la mer« im Jahre 1856 veröffentlichten, bestritten sogar die Existenz des basisch kohlenfauren Kalkes.*)

»Es ist in letzter Zeit viel von den hydraulischen Eigenschaften des basisch kohlenfauren Kalkes die Rede gewesen. Man hat auf viele Bauten hingewiesen, welche im Meere unter Anwendung eines Mörtels aus unvollständig gebranntem, noch viel Kohlenensäure enthaltendem Kalk hergestellt waren und im Laufe vieler Jahre sich wohl erhalten hatten. Man schrieb den Erhärtungsprozeß der Hydratation des basisch kohlenfauren Kalkes zu — einer Verbindung, deren Existenz die Chemie nicht kennt. Es ist uns keine einzige, einigermaßen gut untersuchte Tatsache bekannt, welche uns nötigen könnte, die Existenz einer solchen Verbindung vorauszusetzen, und wir glauben, daß die Erhärtung der Mörtel in diesem Falle genügend erklärt werde durch folgende Erwägungen: Die benützten Kalksteine konnten in geringem Verhältnis Ton und Kieselerde in Form von feinem Quarzsand enthalten. Bei unvollständigem Brande verliert der Kalk nur einen Teil seiner Kohlenensäure und verbindet sich mit Kieselerde und Tonerde, wobei er ein Kalksilikat und Alumnat bildet. Der in solcher Weise gebrannte Kalkstein enthält folglich Kalksilikat und Alumnat, eine unbedeutende Menge Ätzkalk und kohlenfauren Kalk. Der unvollständige Brand war daher die Hauptbedingung der Hydraulizität des Kalksteines, denn er beließ den größeren Teil des Kalkes in Verbindung mit Kohlenensäure und stellte das erforderliche Verhältnis zwischen dem geringeren Quantum an Ton und dem in geringer Menge sich bildenden Ätzkalk her; ein solcher Kalkstein stellt nach dem unvoll-

*) Rivot et Chatoney, Considerations générales de la composition de mortiers. Paris 1856, pag. 45.

ständigen Brennen somit ein Gemisch von freiem kiesel-sauren Kalk und hydraulischem Kalk dar; ein derartiges Gemisch kann aber unter günstigen Bedingungen unter Wasser erhärten. »Diese Erklärung«, fährt Rivot fort, »könnte nur durch genaue Analysen unvollständig gebrannter Kalksteine widerlegt werden, falls durch dieselben die vollständige Abwesenheit von Kieselerde dargetan wurde, und selbst in diesem Falle wird man dem basisch kohlen-sauren Kalk keine hydraulischen Eigenschaften zuschreiben können.«

Es wurden eine Reihe Untersuchungen unternommen, um die Existenz dieses basisch kohlen-sauren Kalkes in älteren und neueren Mörteln nachzuweisen oder zu verneinen.

W. Wallace*) konnte in antiken, 1600—3000 Jahre alten Mörteln keinen basisch kohlen-sauren Kalk auffinden. Ihre Zusammensetzung war eine äußerst verschiedene. So enthielt ein solcher von der Cheops-Pyramide 81.5—82.9% wasserhaltigen schwefel-sauren Kalk, andere enthielten kohlen-sauren Kalk, z. B. ein solcher eines Tempels in Pentelikon gegen 87%. Der härteste und beste von allen stammte aus einer Tempelruine von Larnaca auf Cypern und enthielt 47%, ein anderer aus einer tönernen Wasserleitung enthielt 92%, ein altgriechischer Mörtel von der Buzy 82%. Die altrömischen Mörtel zeigten in ihrem Gehalt an kohlen-saurem Kalk große Verschiedenheiten: ein solcher von der Villa Hadrians bei Tivoli enthielt 27%, von den latinischen Gräbern bei Rom 32%, aus einer Mosaik der Caracalla-Bäder gegen 43%. Fast alle der genannten Mörtel enthielten etwas lösliche Kieselerde.

Zur Entscheidung kam die Frage endlich in neuerer Zeit durch die Untersuchungen Schulatschenkos**), welche bezweckten, verschiedene Wege der Darstellung des basisch kohlen-sauren Kalkes zu versuchen und dann die etwa erhaltene Verbindung auf ihre Eigenschaften zu prüfen, alle

*) Knapp, Luftmörtel in Hofmanns Bericht: über die Entwicklung der chemischen Industrie. S. 581.

**) Dinglers Journal 1871, S. 205 und 335.

seine Versuche ergaben aber nur negative Resultate. Da nun nach Schulatschenko:

1. Die Versuche von Vicat, Minard und Roché nicht derart genau und ausführlich sind, wie sie zur Anerkennung der einen oder anderen Verbindung in der Chemie notwendig;

2. da die Existenz von basisch kohlen-saurem Kalk nicht dem Charakter des Kalkes entspricht, welcher mit zwei-basischen Säuren keine basischen Salze bildet;

3. da viele Chemiker wie Rivot, Berthier u. a., die Existenz von basisch kohlen-saurem Kalk leugnen, so muß man mit Rücksicht auf seine Versuche zu dem Resultate kommen: daß kein basisch kohlen-saurer Kalk als chemische Verbindung bei unvollständigem Brande von Kalksteinen sich bildet.

Wie die oben bereits angedeuteten einzelnen Phasen der Erhärtung des Luftmörtels verlaufen, suchte Wolters*) durch eine Reihe von Versuchen darzutun, welche sie über das Anziehen, die Kohlen-säuerung u. verbreiten und ein gutes Bild der in Betracht kommenden Vorgänge gewähren. Wolters stellte seinen zu untersuchenden Mörtel dar aus

- 1 Gewichtsteil gebrannten Kalk,
- 3 Gewichtsteilen Wasser,
- 6 " troddenem Sand,

einem Gemenge, welches der Praxis, wo man 1 Volumen eingesumpften breiigen, gelöschten Kalk (mit etwa 70% Wasser) und 2 Volumen Sand nebst 3—5 Pfund Wasser auf den Kubikfuß anwendet, sehr nahe kommt.

Wolters unterscheidet

I. Das Anziehen oder Abbinden des Luftmörtels.

Wurde Mörtel in eine Glasröhre eingeschmolzen, so blieb derselbe auch noch nach längerer Zeit unverändert: er zog nicht an; dies geschah jedoch im luftleeren Raume

*) Dinglers Journal 1870, S. 343.

oder in kohlenäurefreier Luft, woraus folgt, daß das Anziehen eine Folge des Austrocknens, des langsamen Wasserverlustes ist, wodurch die feinen Kalkteilchen einander näherrücken. *)

Diese Adhäsion wird selbst durch Zugabe der sechs-fachen Sandmenge nicht aufgehoben. Bei Gebrauch des Mörtels wird das Wasser durch den Stein noch rascher entzogen, das Anziehen erfolgt schneller; gelöschter Kalk ohne Sand zeigt dasselbe; Mörtel, den man jedoch durch Zusammenreiben von trockenem gebranntem Kalk mit Sand und nachträglichem Wasserzusatz darstellte, zeigt gar keinen Zusammenhang und ist als solcher unbrauchbar.

II. Verhalten zur Kohlenäure.

Wolters stellte nun eine Reihe Versuche an, um die Menge Kohlenäure zu ermitteln, die ein gewisses Quantum von frischem Mörtel in bestimmter Zeit aufzunehmen vermöge, woraus sich ergab, daß die Aufnahme von Kohlenäure aus der atmosphärischen Luft weit bedeutender war als in reiner Kohlenäure, daß ferner frischer Mörtel fast gar keine Kohlenäure absorbiert und dasselbe auch stattfindet, wenn man bloßen Kalkbrei ohne Sand anwendet.

Es findet also die Aufnahme der Kohlenäure durch den Mörtel auch im Zustande des Trocknens statt.

Ein Mörtel, der »angezogen« hatte, so daß er etwa noch drei Fünftel des anfänglichen Wassers besaß, hatte in gleichen Zeiträumen etwa viermal soviel Kohlenäure absorbiert, jedoch nur dann, wenn er weiter austrocknen konnte. Wurde ihm letzteres nicht gestattet, so verhielt er sich wie frischer Mörtel.

Scharf ausgetrockneter frischer Mörtel, mit Wasser getränkt bis zur Sättigung (90 Teile Wasser auf 10 Teile

*) Jahrbuch des Baugewerbes. 1870, S. 197.

Kalk), zeigte in der Luft dasselbe Verhalten wie frischer Mörtel, nahm aber in reinem Kohlenensäuregase dasselbe kräftiger auf; scharf getrockneter Mörtel, in atmosphärische Luft oder ungetrocknete Kohlenensäure gebracht, nahm die Kohlenensäure sehr rasch auf, damit aber auch gleichzeitig Wasser. Kalkbrei zeigte unter gleichen Verhältnissen ein ganz ähnliches Verhalten.

Aus diesen Versuchen zieht Verfasser folgende Schlüsse:

Frisch angemachter Mörtel nimmt bei vollem Wassergehalt nur Spuren von Kohlenensäure auf (nicht über $\frac{1}{3}\%$); die Aufnahme findet erst statt, wenn der Mörtel trocknet; sie erfolgt langsam, wenn er langsam trocknet, sie erfolgt rasch (an der Luft), wenn er rasch trocknet. Auch angezogener Mörtel (mit $\frac{5}{9}\%$ des anfänglichen Wassergehaltes) zeigt gleiches Verhalten, obwohl die Aufnahme im Anfange etwas stärker erfolgt. Die Aufnahme der Kohlenensäure geschieht nie schneller, als die allmähliche Wasserverdunstung stattfindet. Die Aufnahme der Kohlenensäure durch den Mörtel wird also wesentlich durch dessen Wassergehalt bestimmt; die Menge der Kohlenensäure in der umgebenden Atmosphäre hat nur untergeordneten Einfluß. Ein Brei von gelöschtem Kalk ohne Sand zeigt dasselbe Verhalten.

Bedenkt man, daß Kalkwasser die Kohlenensäure rasch und kräftig anzieht, so erscheint es befremdlich, daß ein Gemenge von Sand, Kalkhydrat und Wasser sich anders verhält; die Ursache scheint darin zu liegen, daß »Kohlenensäure in dem breiigen Mörtel nicht so beweglich ist«. Die Haut von kohlen-saurem Kalk, mit welcher sich frisch bereiteter Kalk sogleich überzieht, schützt das darunterliegende vor weiterer Kohlen-säureaufnahme, während der auf der Oberfläche des Kalkwassers entstandene Niederschlag von kohlen-saurem Kalk fortwährend unter sinkt und die Kohlen-säure neue Angriffspunkte erhält.

Verfasser glaubt sich berechtigt, anzunehmen, daß das Kalkhydrat keine gasförmige, sondern nur in Wasser gelöste Kohlen-säure aufnimmt; damit stimmt überein, daß das Wasser nicht als Dampf, sondern nur als flüssiges einwirkt.

Die Kohlensäureabsorption hängt ab von der Wassermenge, weil nur bei geringer Menge von ungebundenem Wasser zwischen den Kalkteilchen mehr Angriffspunkte für die Kohlensäure bleiben. Die Aufnahme erfolgt dann mit größter Energie, wenn der Wassergehalt 1% des Mörtels oder noch weniger, etwa $\frac{2}{3}\%$.

III. Schlußfolgerungen über das Erhärten des Mörtels.

Dieselben sind aus verschiedenen Beobachtungen leicht ersichtlich. Anfangs findet nur Trocknung des Mörtels statt; dieselbe schreitet fort, die Kalkteilchen rücken einander näher, die Adhäsion tritt in Wirksamkeit, die Teilchen haften, der Mörtel hat angezogen. Von nun an beginnt die Aufnahme der Kohlensäure, die vorher nur oberflächlich stattfand, stärker und eindringlicher zu werden, mit ihr mehrt sich die Festigkeit und Härte (Rißbarkeit). Beim letzten Stadium, der steinigen Erhärtung, tritt die eigentliche Kohlensäuerung ein, die durch Adhäsion aneinandergelagerten Kalkhydratteilchen werden zu einer einzigen Masse von kohlen-saurem Kalk verschmolzen.

Hier wirkt dann die Adhäsion zwischen kohlen-saurem Kalk, Sand und Mauersteinen kräftig mit. Das Anziehen des Mörtels ist unerläßliche Vorbedingung für das Erhärten zu Stein, damit die Kalkteilchen erst einander nahegebracht und durch den entstehenden kohlen-sauren Kalk verkittet werden; der Druck des Mauerwerkes auf die Kalkschichten wirkt für die Näherung, mithin auch für die Erhärtung günstig.

Die Versteinerung des Mörtels beruht also in ihrer ersten Phase

auf dem mechanischen Vorgange der Erhärtung, welcher die Kalkteilchen in unmittelbare Berührung bringt;

in ihrer zweiten Phase

auf dem chemischen Prozesse der Kohlenfäuerung, welcher die nahegebrachten Theilchen zu einem Ganzen verkittet.

Nicht minder spielt die Zeit bei der Erhärtung eine Rolle. Die Kohlenfäuerung vollzieht sich nur allmählich und langsam; nach Jahrhunderten zeigt sich Mörtel im Innern der Mauern noch stark kaustisch. Hat die Kohlenfäure an irgend einer Stelle weniger Zutritt, so bleibt auch die Erhärtung in auffallender Weise zurück. Endlich gesellt sich hierzu noch ein sekundärer ergänzender Prozeß, eine schwache Aufschließung des Quarzsandes unter Bildung von Silikaten.

Diese Silifizierung tritt ein durch die den Sand begleitenden feldspathigen Gesteine, Verbindungen von kieselsäurem Tonerdealkali; ebenso durch Einfluß feldspathaltiger Bausteine auf den Kalk. Der Alkalk wirkt bei Gegenwart von Wasser aufschließend auf diese Silikate unter Abscheidung von Alkalien und Tonerde. Die sich lösenden Alkalkalien wirken nun auf die Kieselsäure, führen diese in lösliche Kieselsäure über, und diese sowie die abgeschiedene Tonerde und der noch vorhandene Alkalk bilden Kalktonerdesilikate, die erhärten und die Mörteltheilchen fest verkitten. Diese Silikatbildung dauert so lange fort, als der Mörtel Feuchtigkeit und freien Alkalk enthält, bis dahin steigert sich auch die Festigkeit desselben, der Mörtel ist, wie man sagt, tätig. Hört die Silifizierung auf, so ist der Mörtel tot.

Auf die von Wolters zuletzt hervorgehobene, von uns früher angedeutete Silifizierung war bereits von verschiedener Seite aufmerksam gemacht worden. Allerdings hatte man auf Grund der in alten Mörteln nachgewiesenen Mengen kieselsäuren Kalkes angenommen, daß der Alkalk imstande sei, Quarzsand in die lösbare Form überzuführen und damit kieselsäuren Kalk zu bilden. Erst später erkannte man, daß solche Kieselsäureverbindungen stets nur dann entstehen, wenn der Sand Geschiebereife feldspathiger Mineralien, oder wenn die Bausteine,

mit welchen der Mörtel in Berührung kam, solche enthalten. Diese Doppelverbindungen (kieselsaure Tonerde, kieselsaure Alkalien) werden dann von dem Kalk in oben angegebener Weise aufgeschlossen und erst die sich ausscheidenden Alkalien lösen einen Teil der Kieselsäure des Quarzsandes, welche nun mit Kalk und Tonerde ein Kalk-Tonerdesilikat bildet, was die in unmittelbarer Nähe befindlichen Mörtelkittung ungemain fest aneinander kittet.

Schon 1861 publizierte Ziurek*) die Resultate einer Anzahl Versuche, aus welchen ersichtlich, daß man zweierlei Luftmörtel zu unterscheiden habe, nämlich:

1. Aus denselben Mörtelsubstanzen können je nach ihrer verschiedenen technischen Handhabung und Verwendung und unter verschiedenen atmosphärischen Einflüssen Mörtel mit bloßem Kalkbindemittel und Mörtel mit Ton-Kiesel-Kalkbindemitteln entstehen.

2. Die Mörtel mit bloßem Kalkbindemittel sind weniger fest und widerstandsfähig als solche mit Ton-Kiesel-Kalkbindemittel und für unvollkommene, unter ungünstigen Verhältnissen entstandene zu halten.

3. Nur Mörtel mit Ton-Kiesel-Kalkbindemittel sind als vollkommene zu betrachten und auf ihre Bildung ist bei Mörtelbereitung hinzuwirken.

Aus diesen Tatsachen erklärt es sich, weswegen es vorteilhaft und in der Praxis auch gebräuchlich ist, den Luftmörtel mit Zementen zu vermischen, um ihm zu dieser normalen Erhärtung zu verhelfen. Bei dem Bau des Börsengebäudes in Berlin hat man mit dem besten Erfolge einen Mörtel angewandt, welcher auf 4t gebrannten Kalk 1t Portlandzement enthielt. Der Kalkmörtel und der Zementmörtel werden beide für sich dargestellt und dann in diesem

*) Berliner Bauzeitung. 1861, S. 55, 59. Jahrbuch der Bau-gewerbe. 1870, S. 199.

Verhältniß gemischt. Bei den Eisenbahn- und Tunnelbauten der Strecke Köln-Bingen gebrauchte man einen Mörtel, welcher zusammengesetzt wurde

1. aus einem Luftmörtel, bestehend aus 1 Teil Kalk und 3 Teilen Sand,
2. aus einem Robinschen Portlandzement mit 3 Teilen Sand.

Nach Versuchen von Manger*) ergab sich das günstigste Resultat in bezug auf Festigkeit und Zeit der Erhärtung, wenn er Kalkbrei mit Portlandzement vermischte.

3. Wertbestimmung.

Ähnlich wie von Vereinen und Zement-Fabrikanten Normen für die Wertbestimmung der Zemente aufgestellt und angenommen worden sind, hat man auch solche für diejenige des Kalkes in Anwendung gebracht.

F. Wagner**) wünscht zunächst eine gleiche Verkaufseinheit des Kalkes eingeführt, und zwar die nach Gewicht bei ungelöschter, nach Maß bei gelöschter Ware. Dann muß auch die Qualität berücksichtigt werden. Allerdings seien hierzu noch eine Anzahl Versuche erforderlich, welche sich beziehen müßten:

1. auf Untersuchung des Gehaltes an Kieselsäure, Tonerde und Magnesia.
2. Auf Ablöschung eines bestimmten Gewichtes Kalk zu Kalkbrei, Notierung des Quantums gebrauchten Löschwassers und Messung, nachdem der Kalk so weit trocken ist, daß sich Risse in demselben bilden, endlich Absiebung der nicht zerfallenen Kalksteine bei hydraulischem Kalk und Ermittlung des brauchbaren Kalkpulvers, sowie der unlöschbaren Rückstände nach Gewicht.

*) Berliner Bauzeitung. 1859, S. 534. — Gottgetreu: Physische und chemische Beschaffenheit der Baumaterialien. S. 504, 505.

**) Tonindustriezeitung. 1877, S. 295.

3. Anfertigung von Probekörpern bei verschiedenen Sandzusätzen (Zementnormalsand) und Zerreißung, respektive Zerdrückung derselben nach verschiedenen Zeiträumen.

4. Zusammenstellung sämtlicher Resultate.

Nach Stingl*) hängt die Güte eines Kalkes für die Mörtel-Fabrikation in letzter Instanz von der Menge Wasser ab, die das Kalziumoxydhydrat zu binden vermag, was bedingt, daß die Dichte eines Kalkbreies um so kleiner ist, je mehr Wasser er führt und je besser der Kalk ist.

Wenn man daher ermittelt, wie viel Gewichtsteile Wasser ein bestimmtes Quantum gebrannter Kalk, dessen Dichte im allgemeinen zu 2.2896 oder rund zu 2.3 genommen werden kann, aufzunehmen vermag, um einen dünnen Kalkbrei bestimmter Konsistenz oder Dichte zu bilden, so läßt sich aus den erhaltenen Daten die Volumenvergrößerung des betreffenden gebrannten Kalkes berechnen. Der sehr unbestimmte Ausdruck »Gedeihen« läßt sich dann in einen bestimmten Zahlenwert umsetzen.

Für die Dichtenbestimmung schlug Stingl folgende von ihm mehrfach probierte Methode vor:

Auf den Rand eines Becherglases von zirka $\frac{1}{4}$ l Inhalt wird ein aus flachen, dünnen Holzstäbchen geformtes Kreuz aufgepaßt, in welchem ein in eine Spitze geformter Draht von etwa 50 mm Länge derart befestigt ist, daß die Spitze senkrecht nach abwärts steht. Diese Spitze dient als Marke und bezeichnet die Höhe der Wasser-, respektive Kalkbreioberfläche. Das Kreuz samt der Spitze kann vom Rande des Becherglases abgehoben werden.

Mit Hilfe dieses Apparates verfährt man bei der Dichtenbestimmung folgendermaßen:

Man wiegt das reine getrocknete Becherglas samt Kreuz und einem dünnen Glasstabe. Das Gewicht sei a. Hierauf füllt man das Becherglas mit reinem Wasser, indem man

*) Österr.-ungarische Tonwarentechnik. 1869, Nr. 6, 9, 10.

dasselbe, um das Spritzen zu verhindern, an dem Glasstabe herabgießt und diesen anfangs mit dem unteren Ende an die Wand des Becherglases legt. Man füllt nun so viel Wasser hinein, bis die Oberfläche desselben genau die Drahtspitze berührt. Hierauf wiegt man das mit Wasser gefüllte Becherglas. Dies Gewicht sei b .

$b - a = w$ ist das Gewicht eines bestimmten Volumens Wasser. Hierauf entleert man das Becherglas, trocknet dasselbe vollständig, ebenso den Glasstab und füllt nun mit Hilfe des Glasstabes den dünnen Kalkbrei in das Becherglas, wobei man vorsichtig den Kalkbrei allmählich in dasselbe bringt und jedesmal gegen eine weiche Unterlage sanft nach abwärts bewegt, um die Horizontalstellung der Oberfläche zu bewerkstelligen und zu verhindern, daß Luftblasen sich in dem Kalkbrei fangen.

Man fährt nun auf diese Art mit dem Füllen so lange fort, bis die horizontale Oberfläche genau wie früher zur Drahtspitze reicht. Dann wiegt man das Becherglas samt Kalkbrei. Das Gewicht sei c .

$c - a = k$ ist das Gewicht des Kalkbreies, der dasselbe Volumen erfüllt, welches das Wasser einnimmt, dessen Gewicht w war.

$\frac{k}{w} = d$ ist nun die Dichte des Kalkbreies. Da man hierbei mit größeren Mengen, gegen 200 cm^3 arbeitet, so fallen diese Zahlen sehr genau aus. Hat man gleichzeitig das Gesamtgewicht bestimmt, welches der gebrannte Kalk und das zur Bildung des Kalkbreies notwendige Wasser besitzen — es sei P — so ist $\frac{P}{d} = V$ das Volumen des Kalkbreies, welches ein bestimmtes Quantum gebrannten Kalkes liefert.

Mit Hilfe dieser Daten kann die Güte jedes Kalkes rasch und im vorhinein genau bestimmt werden und sie gewähren einen genauen Einblick in die Natur des gebrannten Kalkes.

4. Festigkeit.

Was die Festigkeit verschiedener Luftmörtelarten an-
betrifft, so liegen darüber Untersuchungen von Rondelet,
Ziurek u. a. vor.

Nach Rondelet ergibt sich die Druckfestigkeit gut er-
härteten Mörtels auf 25 cm^2 Fläche:

Bei Kalkmörtel mit Flußsand, spezifisches Gewicht 1.63,
767 *kg*;

bei Kalkmörtel mit Flußsand, spezifisches Gewicht 1.89,
1048 *kg*;

bei Kalkmörtel mit Grubensand bereitet, spezifisches
Gewicht 1.59, 1017 *kg*;

bei Kalkmörtel mit Grubensand bereitet, spezifisches
Gewicht 1.9, 1406 *kg*.

Die Stärke, mit welcher der erhärtete Mörtel an Bruch-
und Ziegelsteinen anhaftet, ist sehr bedeutend und übersteigt
die Kohäsion seiner eigenen Teilchen.

Die Resultate Ziureks über die Druckfestigkeit ver-
schiedener Mörtelsorten findet sich in folgender Tabelle zu-
sammengestellt.

Mörtelart	Alter	Burde zerdrückt durch fein
Erhärteter Kalkbrei	frisch bereitet und getrocknet	3.800 fach. Gew.
erhärteter Brei, gleiche Teile Lehm und Sand	desgl.	4.400 » »
Kalk- 1 Vol. Kalkbrei mört. 3 » rein. Sand	frisch bereitet langsam getrocknet	12.400 » »
Kalkmörtel einem Bau entnommen	1jährig	14.700 » »
»	100 »	15.800 » »
»	250 »	27.580 » »
»	300 »	54.000 » »

Mörtelart	Alter	Burde zerdrückt durch sein
Kalkmörtel aus dem Fundament eines alten Rathhauses (Berlin)	300jährig	67.000 fach. Gew.
Mört. 1 Vol. Portl.=Z. 15 » Sand 5 » Kalkbrei	1 Monat alt an der Luft getrocknet	27.150 » »
» 1 » Portl.=Z. 12 » Sand 2 » Kalkbrei		detto 28.300 » »
» 1 » Portl.=Z. 15 » Sand 5 » Kalkbrei	detto	23.300 » »

Wie man sieht, zeigen die aus Zement und Kalkbrei erzeugten Mörtel, ebenso die alten, wo eine Silifizierung eingetreten, bedeutend höhere Festigkeit.

5. Neuere Mörtelvorschriften.

Außer dem gewöhnlichen, zum Verbande der Mauersteine allgemein benützten Mörtel existieren eine Anzahl ältere und sind neuerlich eine große Zahl Vorschriften für Kalkmörtel publiziert worden, von denen hier nur einige kurz erwähnt sein mögen.

1. Mörtel von Lorient, nach Gilly hergestellt aus 2 Volumen eines Gemenges von feinem Sand und gelöschtem Kalk und 2 Volumen durchgeseibtem Ziegelmehl, wozu so viel ungelöschter Kalk zu setzen, bis gewöhnliche Mörtelkonsistenz erreicht ist.

2. Mörtel von Artus. 1 Teil gut gelöschter Kalk mit 3 Teilen Sand sorgfältig vermischt, zu diesem Gemenge vor dem Gebrauche $\frac{3}{4}$ Teile ganz fein zertheilten ungelöschten Kalk gegeben und gehörig durchgearbeitet.

3. Mörtel ohne Sand: 1 Gewichtsteil zu Pulver gelöschten Kalkes mit 2 Gewichtsteilen Torf-, Steinkohlen- oder Braunkohlenasche vermischt, mit Wasser zu einem Brei angerührt, dazu etwas Wasserglas in Wasser gesetzt und durchgeführt.

4. Ambroselli's Wandputz.*) Derselbe wurde 1874 von Ambroselli angegeben und dadurch eine bereits früher von dem preussischen Verein zur Beförderung des Gewerbefleißes gestellte Preisaufgabe gelöst. Derselbe hatte gefordert einen Mörtelputz für Ziegelmauern, der:

1. wetterbeständig sei, weder reiße noch abblättere, noch seine glatte Oberfläche verliere;

2. eine gleichmäßige und dauerhafte Färbung zulasse, entweder durchgängig oder oberflächlich weiß, 25 mm tief;

3. billiger sei wie Stucco lustro.*)

Die folgende Schilderung des Verfahrens bezieht sich auf die schwierigste und komplizierteste Anwendung desselben zur Herstellung von Facadengesimsen, welche Sandsteingesimse imitieren. Es ist erforderlich, daß die Vermauerung derselben dem Profile möglichst genau entspreche, damit der Putz nicht in zu großer und ungleicher Dicke aufgetragen zu werden braucht.

Der Mörtel Nr. 1 wird zusammengesetzt aus einem Drittel gut gelöschten Kalk, welcher mindestens 14 Tage vorher gelöscht sein muß, und zwei Dritteln des schärfsten Sandes. Nachdem die Masse auf das innigste durchrührt ist, setzt man ihr vor dem Bewurfe noch 0.25 ihres Volumens an unverdorbenem Portlandzement zu. Der aufs neue bis zu einem innigen Gemisch durchrührte Mörtel wird darauf im schlüpfrigen Zustande möglichst gleichmäßig angeworfen. Zur Vermeidung von Luftstrissen dürfen die Mörtellagen nicht zu früh und nicht zu stark aufeinander folgen, es muß stets ein gewisser Grad der Erstarrung des Mörtels eingetreten sein.

*) Dinglers Journal. Bd. 215, S. 565.

Hat man durch mehrmaliges Antragen dieser groben Mörtelmasse die Form des Profils nahezu erreicht, so geht man zur Verwendung der (feineren) Masse Nr. 2 über. Dieselbe wird gemischt aus 2 Teilen Kalk und 2 Teilen feinerem Sand unter Zusatz von 0.12 Teilen Portlantzement und von so viel der schon vorher aufgelösten und präparierten Farbe, daß der Mörtel nach inniger Durcheinanderührung die Tönung zeigt, welche das Gesims im fertigen Zustande erhalten soll. Mit dieser, gleichfalls ziemlich schlüpfrig zu haltenden Masse wird man durch zwei Bewürfe das Profil schon in einer Weise hergestellt haben, welche für die meisten Fälle hinreicht.

Die für feinste Arbeit noch erforderliche Mörtelmasse Nr. 3 mischt man aus 1 Teil feinstem Sand, 1 Teil feingesiebttem Kalk, 0.05 Teilen feingesiebttem Zement und so viel der vorher fertiggestellten, durch vorangegangene Proben ermittelten Farben, daß das Gesims im trockenen Zustande den gewünschten Ton zeigt. Die innigste Durcheinanderührung ist selbstverständlich auch hierbei erforderlich. Durch zwei Bewürfe mit diesem Mörtel wird eine geschickte Hand das Gesims in größter Eleganz zur Vollendung bringen.

Eine Hauptbedingung bei Herstellung dieses Putzes ist es, die Arbeit, wenn möglich, in sich selbst begrenzende Tagewerke zu teilen, da jedes angefangene Stück noch an demselben Tage fertig zu stellen ist und ein Nachputzen auf keiner Stelle stattfinden darf. Ebenso muß das Zusammenputzen der Gesimse an den Ecken und in den Winkeln mit großer Geschicklichkeit vor sich gehen.

Als Grundbedingungen zur Herstellung seines Putzes bezeichnet Ambroselli (Deutsche Bauzeitung. 1875): 1. Das Mauerwerk, auf welchem der Putz aufgetragen werden soll, muß aus festen, mergelfreien und gut gebrannten Ziegeln gefertigt und in seiner ganzen Stärke vollkommen ausgetrocknet sein; 2. der zur Verwendung kommende Kalk und Sand muß durch besondere Reinigung von allen fremden Bestandteilen vollkommen befreit werden; 3. es müssen drei

verschiedene Sorten von Mörtel Anwendung finden, zu deren Bereitung drei verschiedene Sandarten benützt werden; 4. das zu verputzende Mauerwerk muß vor dem Bewerfen mehrmals mit reinem Wasser (am besten mittels einer Brause) stark angefeuchtet werden.

V.

Kalksandsteine.

Bereits im Jahre 1852 erfaßte Dr. med. A. Bernhardt sen. in Eilenburg die Idee, die Übelstände des Kalkpisébaues dadurch zu umgehen, daß er diese Pisémasse in Form gewöhnlicher Ziegel preßte. Die Übelstände, welche dem Kalkpisébaue anhaften, sind, daß

1. bei Regenwetter die Arbeit eingestellt;
2. die Tür- und Fensterwände, sowie Bogen und Wölbungen von anderem Material beschafft werden müssen, und
3. Mauern von geringer Stärke überhaupt nicht auszuführen sind.

Mit einer eigens konstruierten Presse stellte Bernhardt bereits 1851 Pisésteine, die man jetzt gewöhnlich Kalksandsteine nennt, in größerer Menge her, und die Fabrikation dieser Steine hat sich durch die Bemühungen Bernhardt's sowie des Architekten Klette in Holzminden bis in unsere Zeit mehr und mehr vervollkommenet.

Kalksandsteine.

Die Anfänge der Kalksandsteinbereitung liegen aber viel weiter zurück. Schon die alten Römer sollen derartige Steine aus einem Gemisch von 1 Teil gepulvertem Kalk und 2 Teilen Sand hergestellt haben, welche an der Luft so lange lagerten, bis sie die nötige Härte für den Verbrauch erlangt hatten. In der neuesten Zeit hat sich die Kalksandstein-Fabrikation zu einem besonderen Zweig der

Industrie entwickelt, gegen 100 Fabriken mit einer Jahresleistung von 400 Millionen Steinen sind hierbei in Tätigkeit.

Eine derartige Massenerzeugung wurde erst möglich, nachdem es dem Chemiker Dr. Michaelis aus Berlin im Jahre 1880 gelungen war, den Kalkzusatz bei der Fabrication der Steine bedeutend, um zirka 25%, zu verringern und ein Schnellhärteverfahren anzugeben, das es ermöglichte, die Steine in geschlossenen Kesseln mit hochgespanntem Dampf in ungefähr 12 Stunden gebrauchsfertig herzustellen. Diese Herstellungsmethode erlaubte die Konkurrenz mit den bis dahin fast ausschließlich zur Verwendung gelangenden Ziegelfteinen.

Bei der Fabrication kommen 3 Operationen in Betracht:

1. Die Massebereitung.
2. Das Formen und Trocknen der Steine.
3. Das Härten.

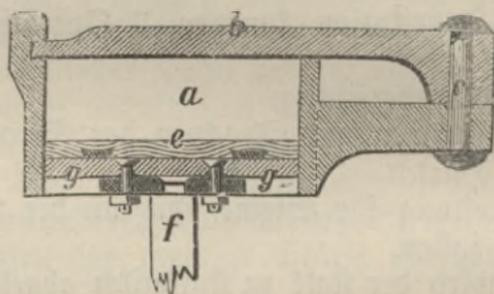
Massebereitung für Steine, die an der Luft trocknen und erhärten sollen.

Hierbei wird der Kalk zu Kalkmilch abgelöscht. Grober Sand, wie er gegraben, oder zerkleinertes Gestein, Schlacke, Asche werden in dem Verhältnisse von 1 Teil Kalk und 3 Teilen Sand zu einem gleichmäßigen, nicht zu nassem Brei verarbeitet und diese Masse 8—10 Tage in Haufen liegen gelassen. Die größte Aufmerksamkeit ist hierbei auf ein inniges Vermischen des Sandes mit den Kalkteilchen zu verwenden, je besser die Sandpartikelchen von dem Kalk umschlossen sind, ein um so besseres Erhärten wird später eintreten. Zur Vermischung bedient man sich entweder der Handschaufel, oder der jetzt ziemlich allgemein eingeführten Mischmaschinen. Die letzteren sind in ähnlicher Art ausgeführt wie die Tonschneider. Die abgelagerte Masse wird nun in Formen zu Ziegeln ausgestrichen oder gepreßt, auf Stellagen gelegt und der Luft zum Trocknen ausgesetzt. Nach kurzer Zeit sind die Steine derart erhärtet, daß sie vermauert werden können.

Eine einfache Presse für Kalkziegel von Bernhardi*) besteht aus einem stabilen Holztisch, auf welchem die in Fig. 37 im Durchschnitt, in Fig. 38 in Oberansicht dargestellte gußeiserne Preßform sitzt mit nach oben verschiebbarem Boden, der durch einen 2·27 m langen Hebel oder durch einen Kniehebel bewegt wird, auch durch einen zweiten Hebel zur Heraushebung der Steine nach oben zu verschieben ist.

a) ist die zum Pressen benützte, innen sauber ausgeführte Form, b ein starker Gußeisendeckel, dessen schmale

Fig. 37.



Kante im geschlossenen Zustande in einen Falz greift, und um Bolzen c seitwärts geschoben werden kann, zur Füllung mit der Kalkmasse.

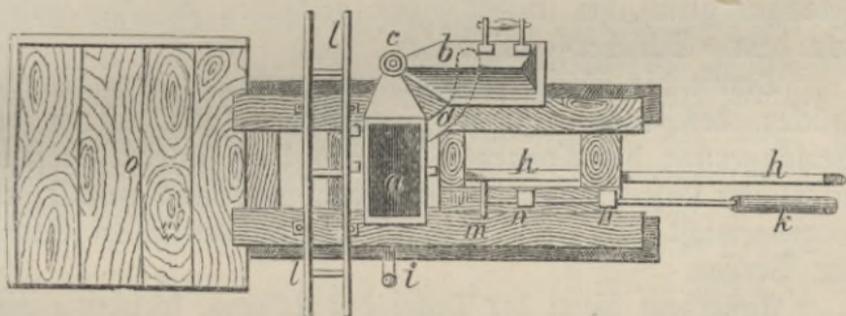
Die Kalkmasse ist weniger zähe und plastisch als Lehmmasse, daher die Ziegel, die aus der Form kommen, noch wenig fest sind und nicht angefaßt werden dürfen. Aus diesem Grunde muß der gepreßte Stein schon auf einem Brettchen liegen, auf welchem er zu transportieren ist. Dieses Brettchen e wird für jeden Stein vor dem Füllen der Form in die Preßform gelegt, der Preßhebel h an der Handhabe in die Höhe gezogen und dadurch die mit ihm

*) Die Kalkziegel-Fabrikation und der Kalkziegelbau von Dr. A. Bernhardi sen. in Eilenburg. Der Kalksandpfeifenbau und die Kalksand-Ziegelfabrik von Friedr. Engel.

verbundene eiserne Stange *f* des gußeisernen Bodens *g* nach abwärts bewegt.

Jetzt wird die präparierte Masse mittels einer Maßschaufel, deren Größe der zu einem Ziegel erforderlichen Menge von Kalksandmasse entsprechend ist, durch einen Blechtrichter in die Blechform geschüttet, hier mit Hilfe eines hölzernen Spatels gleichmäßig ausgebreitet, besonders gut in die Ecken gedrückt, und der Deckel *b* der Preßform zugeschoben; er greift in den Falz *h* und verschließt dadurch die Preßform. Jetzt drückt ein Arbeiter den Hebel

Fig. 38.



h herunter und preßt dadurch den Boden der Preßform *ff* mit dem Einlagebrettchen und der auf diesem befindlichen Kalksandmasse gegen den Deckel *b* und gibt der letzteren die beabsichtigte Ziegelform. Hierauf wird der Deckel *b* geöffnet und der Ziegel mittels Niederdrücken des kleineren Hebels *i* aus der Form gehoben. Letzterer ist ebenfalls mit der die Bewegung des Bodens *f* in der Preßform bedingenden Stange *k* verbunden.

Um den auf seinem Einlagebrettchen liegenden Ziegel nicht mit der Hand berühren zu dürfen, dient die in der Führung *m* laufende eiserne, mit hölzernem Heft versehene Stange *ll* dazu, den Stein auf das hölzerne, von Bernhardt mit »Schieber« bezeichnete Brett zu schaffen; letzteres lagert zu diesem Behufe auf dem von schwachem Eisen ge-

fertigten Gerüst *n, n*, welches genau in derselben Höhe mit der Unterkante des Einlegebrettes des gepressten und mittels *i* aus der Form gehobenen Ziegels steht; wird nun die Stange *ll* sanft vorgehoben, so trifft das am äußersten Ende derselben befindliche Quereisen *o* die Kante des Einlegebrettchens und schiebt so den fertiggesehnten Stein von dem Boden *f* der Preßform auf den zur Aufnahme des Steines bestimmten, auf dem Gerüst *n* befindlichen »Schieber«. Letzterer ist *2 cm* stark, *16 cm* breit, *74 cm* lang und zur Aufnahme von zwei Ziegeln geeignet. Die letzten gelangen dann mit dem Schieber auf eine Tragbahn, mittels welcher eine Anzahl derselben, wenn das Trockengerüst entfernt gelegen ist, nach diesem gebracht wird, oder die Ziegel gelangen gleich, bei in der Nähe gelegenen Trockenregalen, von dem »Schieber« auf diese.

Damit die Presse feststeht und nicht bei dem Niederdrücken des langen Hebels *h* aufkippen kann, ist in der Verlängerung des Apparates ein aus *3 cm* starken Brettern gefertigter Kasten angebaut, er dient, mit Sand gefüllt, als Gegengewicht und sichert durch letztere den festen Stand der Pressen.

Außerdem bietet der Deckel des Kastens, welcher einige Zentimeter über letzteren hervorragt, eine Tischplatte, um die für die fernere Fabrikation von Kalkziegeln erforderlichen Einlegebrettchen und »Schieber« niederlegen zu können. Damit die Kalkziegel stets von gleicher Dicke gefertigt werden, sind zwei Eisenstücke mit Löchern vertikal an dem Gestelle der Maschine befestigt, durch welche, je nach der beabsichtigten Dicke der Ziegel, ein Eisenbolzen höher oder niedriger gesteckt wird, und bis auf welchen der Hebel bei jedesmaligem Pressen niedergedrückt werden muß. Außerdem ist noch eine Feder angebracht, welche dem Hebel in seiner wagrechten Stellung als Stütze zu dienen bestimmt ist. Die Presse übt einen Druck von ungefähr *2150 kg*, oder *4—6 kg* per *1 cm²* aus; sie erfordert zu ihrer Bedienung *3—4* Männer, welche in einem Tage, wenn die Masse von anderen Luten gemengt wird, bis

2000 Stück Ziegel pressen und zum Trocknen auf die Stellagen schaffen können. Liegt den Arbeitern aber auch die Mengung des Kalkes mit dem Sande ob, so schaffen drei Männer nur bis 1000 Ziegel.

Eine andere Presse für Kalksandziegel, die sich durch Einfachheit, leichte Handhabung, Leistungsfähigkeit und Billigkeit auszeichnet, hat R. Klette in Holzminden konstruiert.*) Fig. 39.

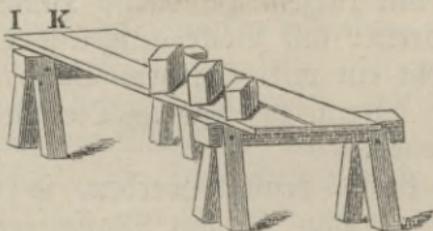
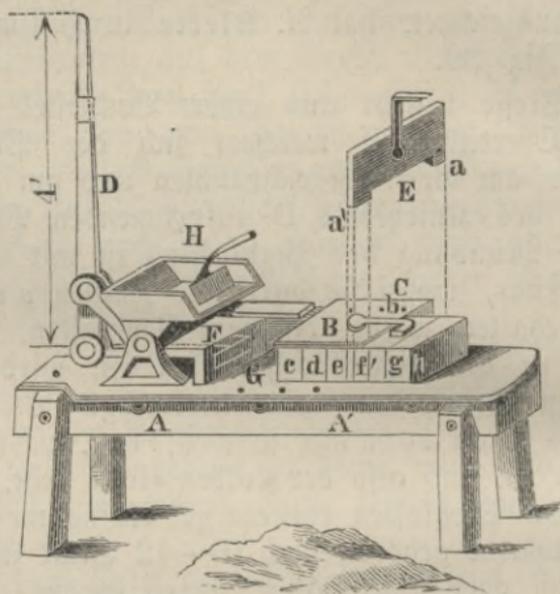
Die Presse besteht aus einem Bockgestell mit etwas geneigtem Oberteil, auf welchem sich der Preßkasten B mittels der am Bock festgeschraubten und am Vorderende die Lager des Aniehebels D aufnehmenden Platte C befindet. Die Mündung des Preßkastens ist mit Bodenplatte E verschließbar, wobei sie durch die Zapfen a a' und den Haken b gehalten wird. In dem Preßkasten, dessen eine Wandung in der Figur weggelassen ist, wird Kolben F durch einen Hebel hin- und herbewegt. Die Decke des Preßkastens reicht vorn nur so weit, daß, wenn der Hebel aufgerichtet ist, und also der Kolben »los« steht, ein offener Raum G im Preßkasten entsteht zur Aufnahme der Masse. In den Apparat gehören noch 10—12 Stück starke eiserne Blechplatten oder lose Böden, deren Größe und Form genau dem Querschnitt des Preßkastens entspricht, und eine Krücke H mit kurzem Handgriff. Hinter dem Apparat werden zwei Bretter auf Böcke aufgelegt und zur Rechten des Füllers steht ein mit trockenem Sand gefüllter Kasten, um die Platte darein zu legen. Die Bedienung besteht aus fünf Personen.

Soll die Presse benützt werden, so wird der Preßkasten vor dem Raum G mit Masse gefüllt, wofür die Bodenplatte E vor die Mündung des Preßkastens gestellt, dann Masse eingefüllt und letztere mittels des Kolbens gegen die Bodenplatte gepreßt wird. Hierbei füllt sich der Preßkasten mit einem festen Kern von Masse an. Hierauf entfernt der Arbeiter die Bodenplatte, ein anderer legt bei

*) Baugewerks-Zeitung 1870, S. 135.

e eine der losen Platten vor die Masse, faßt zugleich mit der Linken die Krücke H und füllt damit den Raum G. Der erste Arbeiter drückt nun den Hebel nieder, wobei der

Fig. 39.



Kolben vorgeschoben wird bis nach e; derselbe schiebt nicht allein die zuletzt eingefüllten Massen, sondern auch den vorher eingepreßten Massenkern vor sich her, der dabei um eine Steinstärke aus der Mündung hervortritt; der Kolben wird zurückgezogen, der zweite Arbeiter setzt einen neuen

lofen Boden bei c ein, füllt den Raum G wieder, der Kolben wird abermals vorgeschoben um eine Steinstärke, und wird so fortgefahren, bis der ganze Massekern vor der Mündung steht, worauf er weggenommen und auf den Massehaufen zurückgegeben wird.

Nunmehr ist der Preßkasten wieder wie vorher mit Masse gefüllt, aber diese ist durch die eingelegten Böden e, d, e, g in gleiche Abteilungen getrennt, von denen jede einen geformten Stein darstellt. Wird nun mit Einsetzen der Platten, Füllen, Drucken fortgefahren, so treten diese Steine vor die Mündung und werden hier durch den Abträger weggenommen, um zunächst auf das nächste der Bretter I K hochkantig aufgestellt zu werden.

Frisch geformte Kalkziegel müssen stets zwischen zwei solchen Brettchen gefaßt werden, da sie zu leicht Eindrücke erhalten; erst nach 24 Stunden sind sie so weit fest, daß ein direktes Anfassen ohne Schaden erfolgen kann.

Ist eines der Bretter I K vollgesetzt, so wird der ganze Aufsatz damit nach dem Trockenplatz geschafft und geht die Arbeit dieser Art weiter vorwärts, so daß jeder der vier Arbeiter nun bestimmte Operationen ausführt. Auf diese Weise können stündlich 200 Steine geliefert werden.

Auch die Firma H. F. Eckert in Berlin konstruierte eine Presse für Kalkpisésteine.*) Dieselbe besteht aus einem starken hölzernen Gestell, auf welchem sich eine mit Rippen versehene eiserne Platte befindet. Eine in derselben vorhandene Öffnung nimmt den Preßkasten auf, und ist derselbe mit der genannten Platte durch Schrauben fest verbunden. Den Boden dieses Kastens bildet ein von oben nach unten beweglicher Stempel, an dessen unterem Ende eine Stange angebracht, welche dicht unter demselben mit einem Bund versehen ist. Der Deckel des Kastens ist auf einem Stifte in horizontaler Lage drehbar, während sich an der entgegengesetzten Seite eine Lippe befindet, mit welcher er unter eine über dem Kasten hervorragende

*) Baugewerkz=Zeitung. 1872. S. 97.

Knagge eingreift. Unter der Platte ist ein Hebelpaar derart mit der Stempelstange in Verbindung gebracht, daß beim Niederlassen des Preßhebels der Stempel nach oben geht und ein bedeutender Druck gegen den Deckel des Kastens ausgeübt wird. Sobald der Kasten gefüllt werden soll, muß der Hebel natürlich aufgehoben sein, deshalb sind unter der Platte zwei mit einer Spiralfeder versehene Klinken angebracht, welche denselben in der hängenden Lage erhalten. Auch läßt ein an der Seite befindlicher leicht beweglicher Ausrücker den Hebel zur Ausübung des Druckes frei niederfallen. Außerdem ist die Stempelstange unten mit einem Hebel versehen, welcher mit dem Fuß bewegt wird und bewirkt, daß der Stempel den Stein so weit aus dem Kasten hebt, um denselben bequem auf eine neben demselben befindliche Schienenbahn zu befördern. Zu diesem Zwecke bedient man sich einer auf der anderen Seite in zwei Ösen sich befindenden Schubstange. Letztere trifft den Stein nicht direkt, sondern, um ihn gegen Beschädigungen zu schützen, das unter demselben befindliche Brettchen.

Zur leichteren Füllung des Kastens dient ein eiserner beweglicher Fülltrichter, der nach oben gedreht und an dessen Stelle der Preßdeckel geschoben werden kann.

Das gehörig durchgearbeitete Material wird mit einer Schaufel, die gerade so viel faßt, als zu einem Stein erforderlich ist, in den Preßkasten gegeben, alsdann der Deckel des letzteren geschlossen, der Hebel durch den Fuß des Arbeiters in Tätigkeit gesetzt und der Stein gepreßt. Hierauf wird der Preßhebel in die Höhe gehoben, der Deckel des Preßkastens von der Seite geschoben und der Stein durch einen seitlichen Fußtritthebel herausgedrückt, um mittels eines Schiebers auf die Lohse gebracht und vom Arbeiter abgenommen zu werden.

Auch hier wird, bevor das Material in den Preßkasten kommt, ein dünnes Brettchen in denselben eingelegt, um den Stein später nicht zu lädieren. Nach einigen Tagen lassen sich die Steine wie gewöhnliche Ziegelsteine in Haufen

stellen und in 3—4 Wochen haben sie die zur Verwendung auszeichnende Festigkeit.

Zu 1000 Steinen sind etwa erforderlich:

1 $\frac{1}{3}$ Tonnen Kalk (in gelöschtem Zustande etwa 0.62 m ³) à 11 M. 30 Pf.	7 M. — Pf.
100 Kbf. Sand im höchsten Werte von	1 » 50 »
Mengelohn als Maximum	1 » 75 »
2 Arbeiter Tagelohn à 2 $\frac{1}{2}$ M.	5 » — »
	<hr/>
	15 M. 25 Pf.

Die Erhärtung erfolgt dadurch, daß der fein verteilte gelöschte Kalk aus der Luft Kohlenäure aufnimmt und in harten kohlen-sauren Kalk übergeht. Soll das Erhärten etwas schneller erfolgen, so setzt man der Masse ein wenig Cement zu.

Dieses Verfahren der Herstellung wird zumeist dort angewendet, wo es sich um Steine für den eigenen Bedarf handelt und die Rohmaterialien billig zur Hand sind. Zur Fabrikation im großen ist die Methode nicht geeignet, da die Herstellung der Steine eine zu lange Zeit erfordert.

Bei dem Dampftrockenverfahren wird der gebrannte Kalk zu Pulver vermahlen, oder mit wenig Wasser zu einem trockenen Pulver, dem sogenannten Kalkstaub, abgelöscht. Das Vermahlen erfolgt fast nur in geschlossenen Kugelmühlen, um die Arbeiter vor dem gesundheits-schädlichen Kalkstaub zu schützen.

Die Überführung des gebrannten Kalkes in Kalkstaub läßt sich leicht in der Weise bewerkstelligen, daß man Körbe mit zerschlagenen Kalkstücken füllt und dieselben kurze Zeit, zirka eine Minute, unter Wasser taucht, dann herauszieht und ausschüttet. Nach einiger Zeit ist der Kalk zu Kalkstaub zerfallen.

Der zu verarbeitende Sand muß möglichst gleiche Größe haben und wenig erdige oder tonige Bestandteile aufweisen, da letztere Beimengungen auf die Güte des Fabrikates einen wesentlichen Einfluß haben. Durch Schlämmen

und Waschen läßt sich der Sand von den Beimengungen befreien.

Sand von ungleicher Korngröße muß mehrfach gesiebt, die größeren Körner unter Hochwerken oder Kollergängen zerkleinert werden.

Auf 1 Teil Kalk kommen bei der Mischung 12 bis 15 Teile Sand. Das Verarbeiten zu einer gleichmäßig gemischten Masse stellt hohe Anforderungen an die Mischmaschinen; dieselben haben die Aufgabe so zu arbeiten, daß bei geringstem Wasserzusatz jedes Sandkorn von pulverförmigen Kalkstaub überzogen wird.

Von den Mischmaschinen wird die Masse den Pressen zugeführt. Diese, zum größten Teil als Kniehebelpressen gebaut, sind imstande, bei einem Druck von 250.000 *kg* 10.000—12.000 Normalsteine täglich fertigzustellen.

Die von den Pressen kommenden Steine werden auf kleine Wagen geladen und auf Schienen laufend in die Härtekessel eingefahren.

Die Kessel sind Zylinderkessel von zirka 10 *m* Länge und 1,8 *m* Durchmesser. Die eine Stirnwand ist für das Beschießen und Entleeren als Verschlussdeckel ausgebildet. Ein Kessel von diesen Dimensionen besitzt einen Fassungsraum für 5000 Steine von einem Normalformat von 25 × 12 × 6,5 *cm*.

Ist die Beschiebung erfolgt, der Verschlussdeckel vorgeschraubt, so wird aus einem Dampfkessel Dampf von 7—10 *Atm.* Spannung in den Härtekessel eingeleitet. Zuerst wird ein starkes Kondensieren des Dampfes erfolgen, bis die Steine und Kesselwandungen allmählich eine Temperatur von 100° C angenommen haben. Dann steigt die Temperatur schnell auf 165—180° C, entsprechend der des zugeführten Dampfes. Dieser Zustand wird nach zirka einer Stunde erreicht. Hält man diese Temperatur 6—10 Stunden aufrecht, so ist die Erhärtung beendet; die Steine sind verbrauchsfertig.

Die Härtebauer steht im direkten Verhältnis zum Dampfdruck; bei hohem Druck kürzere, bei niederem Druck längere Erhärtungsdauer.

Im Gegensatz zu diesem Hochdruckverfahren steht das Niederdruckverfahren. In geschlossenen Behältern von Gußeisen oder Schmiedeeisen, den sogenannten Härtekammern, werden die frisch gepressten Steine eingesetzt und Dampf von 1 Atm. Spannung zugelassen.

Der Vorgang ist derselbe, wie bei dem Hochdruckverfahren; die Zeitdauer des Erhärtens aber eine bedeutend längere, durchschnittlich 4—5 Tage. Die Steine stehen an Güte bedeutend hinter denen nach dem Hochdruckverfahren gewonnenen.

Der einzige Vorteil, den diese Fabrikationsmethode gewährt, ist der, daß man auch den abgehenden gebrauchten Dampf einer maschinellen Anlage hierbei verwenden kann, also keines besonderen Dampfkessels zur Dampferzeugung benötigt.

Die Erhärtung der Steine bei den letzteren beiden Verfahren beruht darauf, daß sich unter dem Zusammenwirken von Wärme, Druck und Feuchtigkeit, die Kieselsäure des Sandes mit dem Kalkpulver, zu kiesel-saurem Kalk verbindet.

Für die Fabrikation im großen wird fast ausschließlich das Hochdruckhärteverfahren angewendet.

Gegenüber den Ziegelsteinen haben sich die Kalksandsteine vollkommen bewährt, sowohl ihre Wetterbeständigkeit wie auch ihre Feuerfestigkeit ist durch Versuche nachgewiesen.

Die immer größere Verwendung bei öffentlichen und Privatbauten legt hierfür das beste Zeugnis ab. Die Anlage neuer, mit den besten Einrichtungen versehener Kalksandsteinfabriken wird es ermöglichen, den jetzt 16 bis 18 Mark für 1000 Steine betragenden Preis noch zu verringern.

VI.

Kalkschlackensteine.

Die großen Massen bei der Eisenproduktion und anderen Hüttenprozessen abfallender Schlacken waren früher nicht allein für die Hüttenwerke völlig wertlos, sondern verursachten durch ihre Placierung und ihren Transport nach den Halden denselben bedeutende Auslagen. Es sind daher mannigfache Vorschläge für ihre Anwendung in der Neuzeit hervorgetreten, unter denen die meisten Aussichten auf Erfolg gewonnen haben: die Benützung zu Schlackenwolle, zu Schlacken sand und zu Kalkschlackensteinen.

Schlackenwolle und Schlackensand werden heutigen Tages bereits auf größerer Zahl Eisenhütten dargestellt. Jene dient als sehr schlechter Wärmeleiter, als vorzügliches und unvergängliches Umhüllungsmaterial für Dampf- und Windleitungen und wird erhalten, indem man in den Strom flüssiger Schlacke einen Dampfstrahl eintreten läßt. Wurde sie aus garer, basischer Schlacke erhalten, so bildet sie eine weiße, zarte, der Schafwolle ähnliche Masse.

Eine weit größere Ausnützung gestatten indes die Schlacken im granulierten Zustande, als Schlackensand, und zwar als Bettungsmaterial zu Eisenbahnbauten, zur Mörteldarstellung an Stelle des gewöhnlichen Sandes und zur Ziegel-Fabrikation.

Seit Anfang der sechziger Jahre hat sich die Granulation der Schlacken für genannte Verwendungen auf einer Anzahl französischer, belgischer, rheinischer, westphälischer und auch englischer Hütten eingebürgert und auf einzelnen wird gegenwärtig bereits ein namhaftes Geschäft mit daraus bereiteten Schlackenziegeln betrieben.

Besonders ausgebildet hat sich die Darstellung der Schlackenziegeln auf der Georg-Marienhütte bei Döna-brück und hat sich hier seit dem Jahre 1865 die Fabrikation der aus einer Mischung von granulierten Schlacken und

Kalk gepreßten Bausteine durch Beteiligung einiger Privaten zu einem besonderen in Blüte stehenden Geschäft der Traß- und Steinfabrik in Osnabrück unter der Firma Lürmann, Meyer & Witting emporgeschwungen, über welche wir einen ausführlichen Bericht von E. Paschen*) hier in der Hauptsache reproduzieren.

Das Vorurteil der bauenden Techniker, welches sich dem neuen Material lange entgegenstellte, ist in dieser Gegend als überwunden zu bezeichnen; in Osnabrück sind bereits viele nicht unbedeutende Gebäude aus Schlackenstein entstanden, auf der Georg-Marienhütte sind alle anderen Bausteine durch den Schlackenziegel verdrängt. Statt mit der in dem ersten Jahre verwandten Handpresse arbeitet die genannte Firma seit 1867 mit Dampfpresen und wird in nächster Zeit hydraulische Pressen einführen. Im Jahre 1873 stellte man fast 5 Millionen Steine von Normalformat dar. Vor kurzem hat man auch auf der Rolands-hütte im Siegerlande ganz nach der Art wie auf der Georg-Marienhütte angefangen, zu granulieren und Ziegel zu pressen, und hat auch dort schon vorzügliche Resultate erzielt. Jedoch haben die Unternehmer noch mit dem Vorurteil und Mißtrauen der dortigen Bevölkerung zu kämpfen, welche durch Gegner der Schlackensteine, meistens aus Steinbruchbesitzern und Ziegelbrennern bestehend, hervorgerufen und rege gehalten werden. Indessen zeigt die Furcht vor der Konkurrenz den Wert des Unternehmens und ohne Frage werden auch dort bald alle Hindernisse überwunden sein.

Der Schlackenstein gibt dem guten Ziegelstein an Verwendbarkeit und Festigkeit durchaus nichts nach, wie die mit demselben gemachten Versuche bestätigen; er übertrifft den Ziegelstein jedoch an Feinheit der Farbe und Porosität. Zuerst leicht zerbrechlich, erhärtet derselbe schnell an der Luft; dies Erhärten dauert lange fort, auch nach der Verwendung im Bau, und da auch der Mörtel mit Schlackenkies angerührt wird, so entsteht eine voll-

*) Notizblätter. 1874, S. 261.

ständige Verbindung der Steine, so daß nach Verlauf einiger Jahre eine solche Wand nicht mehr aus einzelnen Steinen, sondern aus einer gleichartigen Masse besteht. Die daraus erbauten Häuser sind sehr trocken, gesund und warm, ihr Äußeres zeichnet sich durch einen feinen, lichtgrauen Farbenton aus, welcher die Wirkung von Licht und Schatten in der Architektur des Gebäudes sehr hübsch hervortreten läßt, eine Eigenschaft, die den Gebäuden von rotgebranntem Ziegelstein bekanntlich in hohem Grade mangelt. Ein fernerer Vorzug dieser Häuser besteht darin, daß sie sofort nach ihrer Vollendung ohne Gefahr für die Gesundheit der Bewohner bezogen werden können, da sie in sehr kurzer Zeit ausgetrocknet sind.

Eine mit Steinen aus der Osnabrücker Fabrik vorgenommene Prüfung auf Festigkeit ergab folgende für den Schlackenstein höchst günstige Resultate.

Seine jetzige Vollkommenheit verdankt der Schlackenziegel insbesondere der Verbesserung der Ziegelpresse, ferner aber auch der Versendung von trocken disintegriertem Kalk, welcher den bis zu 40% Wasser enthaltenden Schlacken je nach Bedarf zugesetzt wird. Denn obgleich die granulirte Schlacke wegen ihres Gehaltes an löslicher Kieselsäure gepreßt oder gestampft auch schon für sich allein erhärten würde, so geschieht dies doch schneller mit Kalkzusatz. Das Erhärten der Steine erfolgt durch Bildung von kohlen-saurem Kalk, wie bei dem gewöhnlichen Mörtel, und besonders durch Bildung fester Verbindungen zwischen der löslichen Kieselerde, der Schlacke und dem beigemengtem Kalk.

Das Heben des Schlackenkieses aus den Wasserbassins nach der Granulation geschah bisher gewöhnlich durch Paternosterwerke, jedoch gab die vielfache Gliederung dieser Maschinen zu starkem Verschleiß und in Folge zu unaufhörlichen Reparaturen Veranlassung. Man hatte sich daher auf der Georg-Marienhütte schon seit längerer Zeit mit dem Gedanken beschäftigt, die Paternosterwerke durch feste Schöpfräder zu ersetzen, welche seit 1873 in der Maschinenfabrik der Hütte ausgeführt sind.

Das Schöpfrad hat folgende Einrichtung. Die Schöpfkästen sind mit Schrauben zwischen zwei großen gußeisernen Ringen befestigt, welche an zwei Friktionsrollen mit gemeinschaftlicher Achse aufgehängt sind. Diese wird vermittels Zahnradüberetzung durch eine kleine Dampfmaschine getrieben, die an einem der vier gußeisernen Ständer angebracht ist. Die äußere Peripherie der Friktionsrollen wickelt sich insolgedessen auf der inneren Peripherie der Ringe ab und dreht das Schöpfrad, welches durch zwei seitliche Führungsrollen verhindert wird, Schwankungen zu machen. Der lichte Durchmesser der Ringe gestattet, daß ein Eisenbahngleis durch das Schöpfrad hindurchgeht, ein ganzer Waggon von der einen Seite hinein und, nachdem er beladen ist, nach der anderen Seite hinausgeschoben wird. Die beiden gußeisernen Ringe mit den 24 Schöpfkästen haben ein Gewicht von etwa 90 Zentnern. Das Gewicht der zeitig zu hebenden Schlacken beträgt im Maximum 6 Zentner, den Kubikfuß zu 40 Pfund gerechnet; das Rad macht in 5 Minuten eine Umdrehung bei 80 Touren der Dampfmaschine pro Minute, so daß der Apparat imstande ist, 72 Zentner Schlacke in der Stunde zu verladen. Die Ringe sowohl wie die zur Aufhängung derselben nötigen Ständer sind im Herde gegossen und brauchen nicht bearbeitet zu werden. Der Fuß der Ständer ist so breit, daß er der Fundamentierung eine genügende Auflagerfläche darbietet. Die Zapfen der stählernen Triebachse, an welcher die ganze Last des Rades hängt, bewegen sich in Kugellagern, die in einer Achsgabel durch einen Keil getragen werden und verstellbar sind. Die Achsgabel hängt zwischen den auf den Ständern ruhenden **L**-Eisen, welche den Rahmen der Maschine bilden.

Nach Fertigstellung dieses Apparates erschien anfangs 1873 im »Engineering« eine Mitteilung des Ingenieurs Wood in Middlesex über dessen Granulationsapparat. Dieser schien jedoch mehrerer Verbesserungen fähig, welche bei dem neuesten Granulationsapparat der Georg-Marienhütte angebracht sind.

Die Schlacke fließt bei demselben durch eine seitliche Öffnung in die auf zwei Führungsrollen bewegliche und seitlich durch Rollen gestützte Trommel, welche zum Teil mit Wasser gefüllt ist. In der Trommel sind Schaufeln angebracht, welche bei Drehung des Rades die granulirte Schlacke heben und in einer bestimmten Höhe auf eine schiefe Ebene ausschütten, von wo aus dieselbe auf den seitlich vorgeschobenen Waggon hinuntergleitet. Ein permanenter Wasserzufluß, vom abfließenden Formwasser ausgehend, tritt im Wasser der Trommel mit dem Schlackenstrom zusammen, um schnellere Abkühlung zu erreichen und allzu heftiges Kochen des Wassers zu vermeiden. Das aus der Trommel überfließende Wasser sammelt sich in einem aus gußeisernen Platten hergestellten Kasten, welcher zugleich zur Unterstützung der Führungsrollen dient, also den Rahmen der Maschine bildet, und wird durch ein Abzugsrohr abgeleitet. Der Antrieb der Maschine ist durch ein flaches um die ganze Trommel herumgeschlungenes Drahtseil bewirkt, welches von einer durch die Gießhalle gelegten Transmission aus bewegt wird. Aber auch dieser Apparat kann so gut wie der vorige durch Friktion bewegt werden, wenn man die unteren Unterstützungsrollen durch Zahnradübersezung antreibt, welches wahrscheinlich sogar in manchen Fällen vorzuziehen sein würde. — Die Trommel macht in drei Minuten eine Umdrehung und hat 12 Schaufeln, welche in der Stellung, wo sie ausschütten sollen, dem Böschungswinkel des nassen Schlackenkieses entsprechen, d. h. unter 45° gegen die Horizontale geneigt sind. Es ist also bei dieser letzten Konstruktion das Prinzip des Schöpfens aufgegeben, da im Rade selbst granulirt und dadurch eine Arbeit erspart wird.

VII.

Analyse der Kalksteine.

Bei der chemischen Untersuchung der Kalksteine kommt es darauf an, zu erfahren:

1. Welche Mengen von kohlenstoffsaurem Kalk und von begleitenden Stoffen in demselben enthalten sind;

2. wie sich derselbe nach dem Brennen verhält — ob er einen im Wasser sich löschenden fetten Kalk oder bei gewissen Temperaturen gebrannt einen unter Wasser erhärtenden hydraulischen Mörtel gebe.

Bei der chemischen Untersuchung hat man zunächst die Mengen der in Salzsäure löslichen und unlöslichen Bestandteile zu ermitteln. Ist die Menge der letzteren sehr gering, also das vorliegende Material kein hydraulischer Kalk, so muß bestimmt werden:

a) Wie viel kohlenstoffsaurem Kalk,

b) » » kohlenstoffsaure Magnesia vorhanden,

weil die letztere die Eigenschaften des gebrannten Kalkes ungemein beeinflusst.

Beträgt die Menge der in Salzsäure unlöslichen Körper 20—30%, so genügt die Analyse zur Bestimmung der Brauchbarkeit des fraglichen Kalkes allein nicht, es müssen Brennversuche hinzutreten.

Bei der Untersuchung wird zunächst durch eine Vorprobe festgestellt, ob der Kalkstein Feuchtigkeit und organische Substanzen enthält, für welche man etwas in ein Glasröhrchen bringt und erhitzt. Führt er organische Körper, so bräunt er sich vorübergehend und entwickelt einen brenzlichen Geruch.

Zur Bestimmung der Feuchtigkeit wägt man etwa 3 g des zerriebenen Kalksteines ab, trocknet bei 100—120° C und wägt hierauf wieder. Die Gewichts-differenz gibt das vorhandene Wasser.

Hierauf schreitet man zur eigentlichen Untersuchung, für welche man 2 g des Kalkpulvers abwägt und mit verdünnter Salzsäure behandelt. Dies erfolgt so, daß man das Pulver in ein Becherglas oder eine Digerierflasche bringt, dasselbe mit Wasser übergießt und nun allmählich Salzsäure hinzufügt. Hierbei wird die Kohlenstoffsaure ausgetrieben und entweicht unter Aufschäumen. Ist dies geschehen, gibt man noch etwas Salzsäure hinzu und ebenso etwas Sal-

petersäure und erhitzt bei gelinder Wärme. Führt die der Kalkstein bituminöse Substanz, so riecht das entweichende Kohlen säure gas teerig nach dem mit entweichenden Kohlenwasserstoffe. Durch etwas hinzuzugebende Salpetersäure wird etwa vorhandenes Eisenoxydul (Chlorür) in Eisenoxyd (Chlorid) umgewandelt.

Nach dieser Umwandlung wird die gewöhnlich nicht ganz klare Lösung filtriert, das auf dem Filter Zurückbleibende mit Wasser ausgewaschen, getrocknet, geglüht und gewogen. Dieser Rückstand ist der Gehalt des Kalkes an Ton und Sand.

Die salzsaure Lösung ist nun gewöhnlich durch Eisenchlorid gelb gefärbt. Sie wird zunächst mit Ammoniak versetzt bis zur alkalischen Reaktion, wobei Tonerde und Eisenoxyd gefällt werden. Falls der Kalk nur wenig Magnesia enthält, geht davon nichts in den Niederschlag; dann ist dieser klar und durchscheinend. Das Abfiltrieren und Auswaschen des Tonerdeniederschlages muß rasch erfolgen, weil sonst der Kalk der Lösung Kohlen säure anzieht, kohlen sauren Kalk bildet und dieser sich mit dem Niederschlage abscheidet. Je weniger Tonerde der Niederschlag enthält, destoweniger weiß ist er, je mehr Eisen, destomehr gefärbt. Soll die Menge des Eisens und der Tonerde nicht apart bestimmt werden, so trocknet und glüht man sie zusammen bei Luftzutritt, gibt dabei ein paar Tropfen Salpetersäure in den Tiegel, um sicher zu sein, daß kein Eisenoxyd durch Filterkohle zu Oxyduloxyd reduziert wird, und wägt dann die getrocknete und geglühte Masse.

Sollen Tonerde und Eisenoxyd getrennt werden, so bringt man den noch feuchten Niederschlag auf ein Filter, löst ihn in verdünnter Salzsäure, wäscht diese mit Wasser aus und gibt zu der Lösung Natronhydrat oder essigsaures Natron, welches das Eisenoxydhydrat fällt. Der Niederschlag wird auf einem Filter gesammelt, ausgewaschen, getrocknet und, wie vorhin angegeben, geglüht. Die alkalische, tonerdehaltige Lösung macht man mit Salzsäure sauer und gibt nun Ammoniak und kohlen saures Ammoniak in geringem Übermaße zu,

wobei das Tonerdehydrat als weißer gelatinöser Niederschlag ausfällt, filtriert, ausgewaschen, getrocknet und geglüht werden kann.

Führt der Kalkstein beträchtliche Mengen Magnesia, so fällt das Ammoniak aus der Salzsäurelösung des Kalksteines neben Tonerde stets Magnesia, was man daran erkennt, daß der Niederschlag nicht durchscheinend klar, sondern weißlich trübe ist. In diesem Falle muß man ihn sorgfältig auswachen, dann in viel Salzsäure lösen, wieder mit Ammoniak fällen und diese Operation mehrmals wiederholen.

Die von Eisenoxyd und Tonerde befreite Flüssigkeit enthält nun Kalk und Magnesia in Lösung. Sie wird mit Salzsäure schwach sauer gemacht, um etwa gebildeten kohlensauren Kalk aufzulösen, auch abgedampft, falls sie viel Waschwasser aufgenommen. Dann wird sie mit Ammoniak alkalisch gemacht und nun oxalsaures Kali zugegeben. Es bildet sich ein Niederschlag von oxalsaurem Kalk, den man nach etwa zwölf Stunden auf einem Filter sammelt, auswäscht und glüht. Hierbei erhält man kohlensauren Kalk, welcher gewogen wird.

Das Filtrat enthält die Magnesia, welche mit phosphorsaurem Natron, Ammoniak als phosphorsaure Ammoniak-Magnesia ausgefällt wird. Der Niederschlag wird auf einem Filter gesammelt, mit Ammoniak ausgewaschen, getrocknet, geglüht und gewogen. 100 Teile des Niederschlages enthalten 36.0 Magnesia, 75.67 kohlensaure Magnesia.

So ergeben sich als Resultate der Analyse, mithin der Zusammensetzung des fraglichen Kalksteines:

1. Wasser.
2. In Salzsäure unlöslicher Rückstand (Tonerde, Sand).
3. Tonerde.
4. Kohlensaures Eisenoxydul.
5. Kohlensaurer Kalk.
6. Kohlensaure Magnesia.



Sach-Register.

A.

Abbinden des Luftmörtels 173.
 Alabaſter von Shout 29.
 Alpenkalk 32.
 Ambroſelli's Wandputz 184.
 Analyſe der Rauchgaſe 149.
 Anfeuern, das 94.
 Anziehen des Luftmörtels 173.
 Arlberger Kalk 33.

B.

Baſteiofen 115.
 — von Steinmann 110.
 Bau des Ringofens 83.
 Befuerungsmethode 95.
 Bituminöſer Mergel 41.

C.

Chargieren, das 95.

D.

Dyaſkalk 30.

E.

Eiſekalkſteine 28.
 Einſumpfen des Kalkes 160.
 Erhärtung des Mörtels 176.

F.

Feſtigkeit des Luftmörtels 182.

G.

Gasfeuerung 107.
 Gaſkalkofen 106.
 — von Rehje 119.
 — — Fahnejeſſ 123.
 — — Steinmann 110.
 Gaſöfen von Siemens 72.
 Grauwackenkalk 27.
 Grobkalk 38.
 Guttenger Kalk 33.

H.

Hallstätter Kalk 34.
 Härte des Luftmörtels 166.
 Harzer Öfen 51.
 Hofmanniſche Öfen 71.

J.

Jurakalk 34.

K.

Kalk, magerer 155.
 — totgebrannter 45, 156.
 Kalkbrei 155.
 Kalkbrennen 42.
 Kalkkäſten 160.
 Kalk, kriſtalliniſch-körniger 15.
 — Meiler 46.
 Kalkmergel 41.
 Kalkmilch 156.
 Kalköfen, ältere mit großer Flamme
 zu kontinuierlichem Betriebe 71.

Kalköfen, ältere mit kleiner Flamme
zu kontinuierlichem Betriebe 64.
— liegende 62.
— mit großer Flamme zu perio-
dischem Betriebe 51.
— stehende 47.
Kalkringöfen 76.
— zwölfkammeriger 90.
Kalksandsteine 186.
Kalkschlackensteine 198.
Kalkstein, dolomitischer 5.
— poröser oder röhriger 5.
— oolithischer 4.
Kanalöfen von Vock 100.
Kieselfalk 5.
Kieselfalkstein 38.
Kohlentalk 30.
Korallenkalkstein 36.
Kreide 36.
Kreidekalksteine 36.

L.

Leufalk 46.
Litorinellenkalk 38.
Löschel des Kalkes 155.
Luftmörtel 162.

M.

Marmor 15.
Marmor, Brabanter 29.
— bunter 19.
— Enzenauer 38.
— Istricher 22.
— Italienischer 21.
— kärntner 20, 23.
— farrarischer 17.
— mährischer 22.
— parischer 17.
— pentelischer 17.
— Salzburger 22.
— Tiroler 20.
— Trientiner 21, 24.
— Borarlberger 20.
Marmorwerke, Stopnik-Tolmeiner
23.

Meeresskalkstein 30.
Mergel 40.
— dolomitischer 41.
Mergelkalk 5, 40.
Mörtel ohne Sand 184.
— von Artus 183.
— — Lorient 183.
Mörtelmühle 164.
Mörtelsand 162.
Muschelkalk 31, 46.

N.

Nabresina-Marmor 25.
Neuere Mörtelvorschriften 183.
Nummulitenkalksteine 38.

O.

Öfen, kontinuierliche 47.
— periodische 47.
Onyxmarmor 29.
Orsatscher Apparat 144.

P.

Pariser Stein 26.
Plattentalkstein 35.
Presse für Kalkpisésteine v. Eckert
193.
— — Kalksandziegel von Klette
191.
— — Kalkziegel von Bernhardt
188.

Q.

Quartärkalk 38.

R.

Rauchkalk 30.
Reservator 72.
Rüdersdorfer Kalköfen 72.
Rumforsche Öfen 71.

S.

Sandkalk 5.
Sandmergel 41.
Schachtofen von Schöfer 131.

Schaumkalk 31.
 Schlacken sand 198.
 Schlackenwolle 198.
 Schlackenziegel 198.
 Statuenmarmor 16.
 Steinkalk 46.
 Stinkkalk 5.
 Süßwasser-Kalk 38.

T.

Tonmergel 41.
 Tertiärkalk 37.
 Travertine 40.
 Triaskalk 31.
 Trichteröfen 64.

Tropfsteine 39.
 Tuffkreide 36.

U.

Verbrennungstemperatur 106.
 Virgloriafalte 33.
 Voranschreiten des Feuers 97.

W.

Wellenkalk 31.
 Wetterstein-Kalke 34.

Z.

Zugmesser 141.
 Zugstärke 97.
 Zylinderöfen 71.

8-96

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296244