

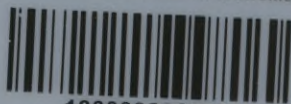
WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

L. inw.

~~373~~

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000296086



Hydraulischer Kalk  
Porlandzement

mit Kalkhydrat, hydraulischer Kalk und Portlandzement

Spezialzement für Bauarbeiten und Mauerwerk



XXX  
611





Chem.-techn. Bibliothek  
Nr. 58.

# Hydraulischer Kalk und Portlandzement

ihre Rohstoffe, physikalischen und chemischen  
□ Eigenschaften □

Untersuchung und Fabrikation, mit besonderer Rücksicht  
auf den gegenwärtigen Stand der Zementindustrie

von

Dr. H. Zwick.

Dritte, umgearbeitete Auflage, bearbeitet von

Dr. A. Mone.

Mit 50 Abbildungen.

*F. No. 29419*



Wien und Leipzig.  
A. Hartleben's Verlag.

1909.

(Alle Rechte vorbehalten.)

xxx  
611

Hydraulischer Balk  
Portlandzement

Die Kugeln physikalisch und chemisch  
Charaktere  
Zusammensetzung und Festigkeit mit besonderer Rücksicht  
auf die Eigenschaften dieser Zementarten

I- 301569

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKOW**

~~1393~~



R. und I. Hofbuchdrucker Fr. Winitzer & Schickardt, Brünn.

**Akc. Nr.**

~~3596~~ 149  
BPK B 07/2017



## Vorwort zur dritten Auflage.

Als die Verlagsbuchhandlung durch die großen Fortschritte, welche in der Herstellung und in der Beurteilung des Zementes in neuester Zeit gemacht worden sind, genötigt wurde, eine Neubearbeitung des vorliegenden kleinen Werkes ausführen zu lassen, war der Verfasser der beiden ersten Auflagen, Herr Dr. H. Zwick, bereits gestorben.

Infolge einer Empfehlung des Herrn Regierungsrat Dr. H. Hecht, Geschäftsführer des „Chemischen Laboratoriums für Tonindustrie und Tonindustrie-Zeitung Prof. Dr. H. Seger und E. Cramer, G. m. b. H.“ in Berlin, welchem ich an dieser Stelle verbindlich danke, übertrug mir dann die Verlagsbuchhandlung die Bearbeitung der 3. Auflage. Von einer vollständigen Umarbeitung mußte zwar abgesehen werden, doch sind die wichtigsten Abschnitte in ziemlich weitgehendem Maße unter Einfügung vieler neuer Bilder und zweier Pläne umgearbeitet, auch anders angeordnet und von überflüssigem befreit worden. Alles aus der früheren Auflage Übernommene wurde in der Darstellung verbessert.

Die Neugestaltung des Werkes hat sich ferner auf die Ersetzung von Fremdwörtern durch deutsche Wörter erstreckt; doch ließ sich die Verdeutschung in den nur teilweise umgearbeiteten Abschnitten nicht streng durchführen.

Das Buch umfaßt nunmehr in kurzer, leichtverständlicher Darstellung das Notwendigste über die heutige Zement-

fabrikation und gibt darüber wenigstens so viel wie der angehende Zementtechniker braucht. Das gegen die früheren Auflagen sehr viel weiter ausgedehnte alphabetische Sachregister wird die Benützung des Buches erleichtern.

Schließlich möchte ich nicht unterlassen, einigen bekannten Fachleuten, von deren Mittheilungen und Rathschlägen ich bei dieser Arbeit Gebrauch machte, hier meinen Dank abzustatten, nämlich besonders Herrn Dr. W. Michaëlis und für den geologischen Theil Herrn Dr. M. Fiebelkorn, sowie den Herren Dr. Störmer und Ingenieur H. Weidner.

Dr. A. Meye.



## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Die Grundstoffe der Wassermörtel und ihre Eigenschaften . . . . .	1—16
Die Kieselsäure . . . . .	2
Der Kalk . . . . .	6
Die Magnesia . . . . .	7
Die Tonerde . . . . .	7
Das Eisenoryd . . . . .	10
Die Alkalien . . . . .	10
Das Verhalten der Grundstoffe gegen chemische Einwirkungen und ihre Verbindungen miteinander	10—16
Kieselsäure und Kalk . . . . .	10
Kalk und Tonerde . . . . .	13
Kalk und Silikate . . . . .	14
Kalk und Eisenoryd . . . . .	15
Verbindungen der Magnesia . . . . .	16
II. Der Name „Zement“ und die Einteilung der Wassermörtelstoffe . . . . .	17—21
Erklärung ihrer Arten:	
1. Puzzolanen . . . . .	18
2. Puzzolanemente . . . . .	18
3. Lösliche Wasserkalke . . . . .	18
4. Nicht lösliche Wasserkalke, sog. Romanzemente . . . . .	19
5. Portlandzemente . . . . .	19
Erzzement (siehe Anhang)	
6. Mischzemente . . . . .	20
7. Magnesiazemente . . . . .	20
III. Die Entwicklung der Zementindustrie . . . . .	22—38
IV. Die Puzzolanen . . . . .	39—49
Die Puzzolane . . . . .	41
Der Traß . . . . .	42
Die Santorinerde . . . . .	46
Künstlich hergestellte Puzzolanen . . . . .	49
V. Die Wasserkalke (hydraulischen Kalke) und der Portlandzement . . . . .	50—169
Die Rohstoffe (Kalkstein und Ton) nach Vorkommen und Zusammensetzung . . . . .	50—59
Die Untersuchung der Rohstoffe . . . . .	59—70
Der Portlandzement: . . . . .	71—141
Die Auswahl der Rohstoffe . . . . .	71

	Seite
Das Zusammensetzen der Rohmischung für Portlandzement . . . . .	77
Die Aufbereitung der Rohstoffe für Portlandzement	80—94
Das Brennen des Portlandzementes . . . . .	95
Der Schachtofen für unterbrochenen Betrieb . . . . .	98
Der Ringofen . . . . .	100
Der Diehsche Stagenofen . . . . .	105
Der Malborgofen . . . . .	109
Der Schneiderofen . . . . .	109
Verschiedene andere Öfen (Steinscher-, Liban-, Rii- jagerofen) . . . . .	110
Der Drehrohrofen . . . . .	111
Hilfsmittel zur Erleichterung des Sinterns . . . . .	113
Das Mahlen und das Verpacken des Zementes . . . . .	113—137
a) Der Brecher . . . . .	114
b) Das Brechwalzwerk . . . . .	116
c) Das Glattwalzwerk . . . . .	116
d) Die Brechschnecke . . . . .	116
e) Der Kollergang . . . . .	116
f) Der Desintegrator . . . . .	119
g) Die Kugelmühle (Kugelfallmühle) . . . . .	121
h) Der Rominor . . . . .	123
i) Der Cementor . . . . .	124
k) Die Roulette . . . . .	125
l) Der wagerechte Mahlgang . . . . .	126
m) Der Walzenstuhl . . . . .	129
n) Die Griffmühle . . . . .	129
o) Die Doppelpendelmühle . . . . .	131
p) Die Rohrmühle . . . . .	131
q) Siebvorrichtungen . . . . .	132
r) Der Windsichter . . . . .	134
s) Das Abwägen und Verpacken des Zementes . . . . .	134
t) Die Entstaubung der Luft in der Mühle . . . . .	135
Fabrikanlagen für Portlandzement . . . . .	137
Die Wasserkalke (hydraulischen Kalke) . . . . .	141—153
Die Eigenschaften und die Prüfung des Wasserkalkes und des Portlandzementes . . . . .	153—169
VI. Vorschriften für Lieferung und Prüfung von Zement im Deutschen Reich, in Öster- reich und in der Schweiz . . . . .	170—226
VII. Das Verarbeiten des Portlandzementes im Baugewerbe . . . . .	227
Anhang: Erzzement . . . . .	231
Berichtigungen . . . . .	232
Alphabetisches Sachregister . . . . .	233



## Erklärung einiger Abkürzungen und Verdeutschungen.

- $g$  = Gramm.  
 $t$  = Tonne (1000  $kg$ ).  
 $cm^2$  = Quadratcentimeter.  
 $mm^2$  = Quadratmillimeter.  
 $cm^3$  = Kubiccentimeter.  
 $kgm$  = Kilogrammometer  
i. H. = in 100  
v. H. = von 100  
a. H. = auf 100 } statt %  
Hundertteile statt Prozente.  
Rohgewicht statt Brutto.  
Reingewicht statt Netto.



## I.

### Die Grundstoffe der Wassermörtel (hydraulischen Mörtel) und ihre Eigenschaften.

Die hydraulischen Mörtelstoffe oder deutsch: Wassermörtelstoffe sind in der Natur vorhandene oder künstlich hergestellte chemische Verbindungen oder Gemische derartiger Verbindungen, denen die besondere Eigenschaft zukommt, daß sie den mit ihnen bereiteten Mörteln unter Wasser Steinhärte geben. Ihre Zusammensetzung und ihr Verhalten ist erst in neuerer Zeit näher erforscht worden.

Man hat erkannt, daß die Hauptbestandteile der Wassermörtelstoffe<sup>1)</sup> in der Reihe ihrer Wichtigkeit sind:

die Kieselsäure,  
der Kalk und die Magnesia, sowie  
die Tonerde.

Als Nebenbestandteile aber sind das Eisenoxyd (mitunter auch Manganoxyd) und die Alkalien zu nennen.

Von diesen Bestandteilen sind die Kieselsäure und der Kalk in allen Wassermörtelstoffen enthalten. Die Bedeutung der Magnesia darin ist noch nicht aufgeklärt.

Die oben genannten Grundstoffe sind in den Wassermörtelstoffen je nach deren Eigenart in verschiedenen Mengenverhältnissen und in Gestalt gewisser verschiedenartiger chemischer Verbindungen enthalten. Die durch chemische Ver-

---

<sup>1)</sup> Vom hydraulischen Gips (Estrichgips), der uns hier nicht interessiert, und der auch praktisch nicht als Wassermörtel in Frage kommt, ist hierbei abgesehen.



bindung entstandenen Körper aber müssen weiter noch mehr fein zerkleinert sein, ehe sie mit dem Wasser in die bei ihrer Verwendung erforderliche innige Berührung treten können. Denn dann erst vermögen sie, unter Aufnahme von Wasser, mit diesem zu den sehr beständigen Verbindungen zuzutreten, welche im Wasser unlöslich sind und welche Steinhärte besitzen.

Von den Wassermörtelstoffen müssen unterschieden werden: die wassererhärtend (hydraulisch) machenden Zusatzstoffe, gewöhnlich „hydraulische Zuschläge“ genannt. Diese Stoffe sind in der Natur vorhandene oder künstlich hergestellte Gemische, deren wesentlicher Bestandteil aber nur Kieselsäure, und zwar sehr verbindungs-fähige Kieselsäure ist. Sie geben den mit ihnen bereiteten Mörteln nur dann unter Wasser Steinhärte, wenn sie zuvor mit gut verbindungs-fähigem Kalk oder mit Mörtelstoffen, die solchen enthalten, innig vermengt worden sind.

Untersucht man die mit Kalk erhärtenden kieselsauren Verbindungen, so zeigt sich, daß sie alle in Salzsäure mehr oder weniger auflösbar sind, und daß sie eine um so stärkere wassererhärtend machende (hydraulische) Wirkung ausüben, ein je größerer Teil durch die Säure zer-  
setzt wird.

Aus der Verschiedenheit des Verhaltens der Silikate zur Salzsäure aber erkennen wir bereits, daß es nicht nur auf die Bestandteile der Stoffe, sondern auch auf die Art ihrer chemischen Verbindung miteinander ankommt. Wir werden deshalb zunächst die Eigenschaften der einzelnen Grundstoffe betrachten und werden dann auf ihr gegenseitiges Verhalten und auf die Verbindungen eingehen, die sie miteinander bilden.

Unter den genannten Grundstoffen ist der wichtigste

### die Kieselsäure.

Kieselsäure und Kieselsäure-Verbindungen (Silikate) bilden den Hauptteil fast aller Gesteine der festen Erdrinde. Granit, Syenit, Basalt, Trachyt, Gneis, Tonstein, Sand-

stein, Ton, und wie die Felsarten alle heißen mögen, bestehen größtenteils aus Quarz und Silikaten. Auch ein sehr großer Teil der Mineralien sind Silikate. Diese Verbreitung läßt schon die große Mannigfaltigkeit der kiesel-sauren Verbindungen ahnen. In der Tat tritt die Kieselsäure nicht allein in vielen einfachen Verbindungen, in Doppelverbindungen und mehrfach zusammengesetzten Verbindungen auf, sondern sie selbst kommt auch noch in mehreren verschiedenen Zuständen (Modifikationen) vor, wodurch sich die Zahl ihrer Verbindungen weiter vermehrt.

In der Natur tritt die Kieselsäure sowohl wasserfrei als wasserhaltig auf. Wasserfrei ( $\text{SiO}_2$ ) bildet sie die Mineralien, welche wir als Quarzkristall und als dichten Quarz in vielen Arten kennen (Bergkristall, Amethyst, Rauchtopas, gemeiner Quarz, Quarzsand usw.), ferner den Tridymit (ebenfalls kristallisiert), der besonders in vulkanischen Gesteinen vorkommt und aus anderer Kieselsäure durch heftiges Glühen entsteht, und endlich bildet sie als „amorphe Kieselsäure“ in innigem Gemenge mit Quarz oder mit Tridymit den Chalzedon, den Achat und den Feuerstein. Wasserhaltige Kieselsäure ( $\text{SiO}_2 + x \text{H}_2\text{O}$ ) aber ist der Opal.

Die chemische Natur der Kieselsäure ist erst spät aufgeklärt worden. Erst Berzelius erkannte sie als eine Säure, die zwar bei gewöhnlicher Temperatur eine der schwächsten Säuren ist, die aber bei höheren Hitze-graden sich mit allen Basen in bestimmten Verhältnissen vereinigt und solcher-gestalt in den kiesel-sauren Salzen oder Silikaten in zahlreichen Mineralien auftritt.

Berzelius war es auch, der die in der Natur auf-tretende Kieselsäure zuerst auf Grund ihres Verhaltens in zwei Modifikationen unterschied: eine in Wasser und in verdünnten Säuren lösliche und eine darin unlösliche Modifikation. Die erstere wird haupt-sächlich abgeschieden, wenn zersetzbare Silikate mit einer Säure gelöst werden.

Wird eine solche Lösung abgedampft, dann bleibt die Kieselsäure als Rückstand und ist zunächst löslich; erhitzt



man sie aber längere Zeit auf  $100^{\circ}$  oder kürzere Zeit auf  $130\text{--}140^{\circ}$  <sup>1)</sup>, so geht sie in die zweite Modifikation, die unlösliche Kieselsäure, über.

Weitere Aufklärung über das Wesen der Kieselsäure brachten erst die Arbeiten von H. Rose 1859, welche zeigten, daß bei der Kieselsäure zwei wesentlich verschiedene Zustände anzunehmen sind: der kristallisierte und der amorphe.

Später fand man, daß die Kieselsäure in zwei verschiedenen kristallisierten Zuständen vorkommt, indem es außer dem Quarzkristalle noch den Tridymit gibt.

Die als Quarz kristallisierte Kieselsäure tritt, außer als Bergkristall u. dgl., in ungeheuren Mengen als Quarzit und als Sandstein auf, ferner als Quarzsand. Ihr spezifisches Gewicht beträgt in reinem Zustande 2.65, in den verschiedenen Vorkommen aber 2.5 bis 2.8. Sie ist in Kalilauge schwer löslich und wird von keiner anderen Säure als von der Flußsäure gelöst.

Die als Tridymit kristallisierte Kieselsäure tritt in der Natur hauptsächlich in einigen vulkanischen Gesteinen auf. Sie entsteht überall, wo Kieselsäure der Quarz- oder amorphen Modifikation heftig geglüht wird. Ihr spezifisches Gewicht beträgt 2.3. In heißer Sodalösung ist sie löslich; sonst verhält sie sich wie Quarz.

Die amorphe Kieselsäure tritt in der Natur wasserfrei, u. zw. innig gemengt mit Quarz oder Tridymit, im Chalzedon, im Achat und im Feuerstein auf, deren spezifisches Gewicht 2.3 und mehr beträgt, während ganz reine wasserfreie amorphe Kieselsäure das spezifische Gewicht 2.2 besitzt. Sie ist in heißer Kalilauge löslich; im übrigen verhält sie sich wie Quarz. Wasserhaltig dagegen kennen wir sie als Opal, Kieselsinter, Hyalith, Menilit, Infusorienerde u. dgl. Ihr spezifisches Gewicht beträgt in diesen Mineralien 1.9 bis 2.3. Ihre Löslichkeit ist eine ähnliche wie die der wasserfreien amorphen Kieselsäure.

---

<sup>1)</sup> Eine höhere Temperatur ist wenigstens dann nicht rätlich, wenn man die gleichzeitig anwesenden Basen später von der Kieselsäure trennen will.

Amorphe Kieselsäure entsteht immer, wenn man auf nassem Wege die in Säuren löslichen Silikate mit einer Säure wie z. B. Salzsäure zersetzt, oder wenn man in Säuren schwerlösliche Silikate nach vorherigem Glühen Alkalien mit der Salzsäure zersetzt.

Die Kieselsäure schmilzt in der Flamme des Knallgasgebläses und erstarrt dann beim Erkalten zu durchsichtigem Glase, welches das spezifische Gewicht 2.2 besitzt.

Charakteristisch ist, daß die kristallinische Kieselsäure den chemischen Reagenzien einen weit größeren Widerstand entgegensetzt als die amorphe; während die letztere von kochenden Lösungen der Alkalihydrate und der kohlen-sauren Alkalien sehr leicht aufgelöst wird, unter Bildung von kieselsaurem Alkali, ist dies bei der kristallisierten nur in sehr geringem Maße der Fall.

Daß aller Quarz, sowohl der dichte wie die kristallisierten Arten, in Alkalilauge unlöslich, dagegen Opal darin löslich sei, hatte übrigens bereits vor Roje der Münchener Chemiker Fuchs nachgewiesen.

Gewisse in der Natur auftretende Silikate, die man Zeolithe nennt (Verbindungen der Kieselsäure mit Ton-erde, Kalk, Natron u. dgl.), ebenso vulkanische Gesteine (z. B. Bimsstein, Trachyttuffe) zersetzen sich bei Behandlung mit verdünnten Säuren, z. B. Salzsäure, und es scheidet sich die Kieselsäure in einem gallertartigen Zustande ab. Dasselbe erfolgt, wenn man gewisse, durch Schmelzen erhaltene Silikate, wie kieselsaures Kali oder Natron (Wasserglas), mit Salzsäure zersetzt. Diese gallertartige Kieselsäure ist die normale Kieselsäure ( $H_4SiO_4$ ), „Orthokieselsäure“ genannt, in Verbindung mit Wasser; sie ist im Wasser am leichtesten von allen Kieselsäuren löslich.

Glüht man die natürlichen Silikate mit den Hydroxyden oder den Carbonaten der Alkalien und des Kalziums, so zersetzen sie sich und gehen in lösliche Verbindungen über, aus welchen man durch Säuren die Kieselsäure im gallertartigen Zustande abscheiden kann. Dieses Glühen nennt man das Aufschließen der Silikate.



Ein besonders wichtiger Fortschritt in der neueren Zeit ist die Erkenntnis, daß die kiesel-sauren Salze oder Silikate sich zum großen Teil von zwei verschiedenen Kieselsäuren ableiten: Die einen von der Orthokieselsäure  $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ , die anderen von der Metakieselsäure  $[\text{SiO}(\text{OH})_2]$ , welche beide auch basische Salze bilden. Diese beiden Säuren selbst aber sind noch nicht rein erhalten worden. Alle übrigen Silikate betrachtet man teils als Salze einer Dikieselsäure  $[\text{Si}_2\text{O}_3(\text{OH})_2]$ , teils als Salze einer Trikieselsäure  $[\text{Si}_3\text{O}_4(\text{OH})_4]$  oder weiterer Polykieselsäuren. Jeder dieser Säuren spricht man die Fähigkeit zu, durch Aufnahme von Konstitutionswasser eine Gruppe von Säuren mit steigender Basizität zu bilden und allen diesen Säuren wiederum die Fähigkeit, basische Salze zu bilden. Man hat solche Säuren jedoch nicht herstellen können, und es ist dieses alles nur Hypothese. Jedoch befriedigt diese Hypothese durch die Möglichkeit der Einordnung der mannigfaltigen Silikate in die genannten Gruppen.

Viele in der Natur vorkommende Silikate der genannten Arten enthalten Konstitutionswasser, welches infolge seiner innigen Verbindung mit den übrigen Stoffen nur durch starkes Erhitzen ausgetrieben werden kann, während das in einigen anderen, ebenfalls in der Natur vorkommenden Silikaten, besonders in den Zeolithen vorhandene Kristallwasser schon bei schwachem Erhitzen entweicht.

### Der Kalk.

Seiner Wichtigkeit nach steht in unserem Falle an zweiter Stelle der Kalk. Er hat eine ähnlich große Verbreitung auf der Erdoberfläche wie die Kieselsäure, besonders in Gestalt von kohlen-saurem Kalk ( $\text{CaCO}_3$ ). Wird dieser letztere gegläht, so verliert er seine Kohlen-säure, und es bleibt gebrannter Kalk, Ätzkalk oder in einfachster Bezeichnung Kalk ( $\text{CaO}$ ) zurück. 100 Gewichtsteile kohlen-saurer Kalk lassen 44 Gewichtsteile Kohlen-säure entweichen und liefern 56 Gewichtsteile Ätzkalk. Besprengt man diesen mit Wasser — „löscht“ man ihn —, so saugt er das Wasser

begierig und unter starker Wärmeentwicklung auf, verbindet sich damit chemisch, zerfällt dabei zu Pulver und bildet so das Kalkhydrat ( $\text{Ca} [\text{OH}]_2$ ). Der „Weißkalk“ oder „Fettkalk“ des Maurers ist Kalk oder Kalkhydrat in technischer Reinheit. Beim Löschen gedeiht der Kalk, d. h. er bläht sich auf das 2·5 bis 3·5fache auf. Setzt man zu einer Lösung von kieselurem Kali oder Natron (Wasserglas) Abkalk, so entsteht ein im Wasser unlöslicher Niederschlag von kieselurem Kalk.

Wie gesagt, ist die Verbreitung des kohlenurem Kalkes eine ungemein große, und zwar in allen geschichteten Formationen, von den ältesten bis zu den jüngsten. Bald tritt er in reinerer Gestalt auf in den verschiedenen Varietäten des Kalksteines, bald mit Ton innig vermischt und bildet so die verschiedenen Mergelarten (siehe unten).

### Die Magnesia.

Sie findet sich als kohlenure Magnesia ( $\text{Mg} \text{CO}_3$ ) in großen Mengen, meist in inniger Vermengung oder in chemischer Verbindung mit kohlenurem Kalk. Die chemische Verbindung mit dem kohlenurem Kalk ist der Dolomit ( $\text{Mg} \text{CO}_3, \text{Ca} \text{CO}_3$ ); dieser bildet bekanntlich ganze Gebirge. Sonst aber kommt die kohlenure Magnesia oft im Kalkstein als Beimengung in geringer Menge vor. Die kohlenure Magnesia macht den Kalkstein in Salzsäure schwerer löslich, was besonders in der Kälte hervortritt. Durch Brennen verliert die kohlenure Magnesia ihre Kohlenure: 100 Gewichtsteile kohlenure Magnesia lassen 52 Gewichtsteile Kohlenure entweichen und liefern 48 Gewichtsteile Magnesia ( $\text{MgO}$ ).

### Die Tonerde.

Eine nicht minder große Verbreitung als die Kieselsäure hat die Tonerde, da sie gerade mit ihr in den verschiedensten einfachen und Doppelsilikaten als Mineralien, sowie in Gemengen derselben in Gesteinen auftritt.



Wie die freie Kieselsäure, so kennt man auch die freie Tonerde, das Aluminiumoxyd, wasserfrei ( $\text{Al}_2 \text{O}_3$ ) und, unter den Bezeichnungen Tonerdehydrat und Aluminiumhydroxyd, wasserhaltig ( $\text{Al}_2 [\text{OH}]_6$ ). In der Natur findet man die erstere als Korund und die letztere als Gibbsite, öfter aber statt der letzteren den Diaspor ( $\text{Al}_2 \text{O}_3 [\text{OH}]_2$ ).

Ferner gehört hierhin der Bauxit, der neben Tonerdehydrat noch Eisenoxyd enthält.

Stellt man sich Tonerdehydrat künstlich dar, indem man eine Lösung von Aluminiumnitrat oder Aluminiumchlorid mit Ammoniak fällt, so erhält man sie als einen weißen gallertartigen Niederschlag, beim Trocknen als eine hornartige Masse, die in Säuren und Alkalien leicht löslich und welche beim Erhitzen über 200 Grad ihr Wasser vollständig verliert und in wasserfreie Tonerde übergeht.

Verglichen mit den Alkalien, ist das Tonerdehydrat eine schwache Base; es vermag daher die Säuren bei der Bildung von Salzen nur lose zu binden, derart, daß unter Umständen das Salz schon durch Verdünnung mit Wasser seine Säure teilweise entläßt.

Gegenüber der geringen Neigung, sich mit Säuren zu verbinden, zeigt die Tonerde andererseits die Fähigkeit, sich mit starken Basen zu vereinigen, also diesen gegenüber sich wie eine Säure zu verhalten. Wenn man sie in Kali- oder Natronlauge löst, so entstehen bestimmte Verbindungen von Tonerde-Kali und Tonerde-Natron; mit Ätzkalk bildet sie Tonerde-Kalk. Verbindungen solcher Art finden sich auch in der Natur.

Es sind dies besonders: der edle Spinell ( $\text{MgO}, \text{Al}_2 \text{O}_3$ ) und der schwarze Spinell oder Pleonast ( $\text{MgO}, \text{Al}_2 \text{O}_3$ ;  $\text{FeO}, \text{Al}_2 \text{O}_3$ ;  $\text{MgO}, \text{Fe}_2 \text{O}_3$ ); letzterer ist eine wechselnde Mischung der drei genannten Verbindungen.

Am meisten verbreitet in der Natur und von größtem Interesse für uns sind aber die sehr mannigfaltigen Verbindungen der Tonerde mit der Kieselsäure, auf welche bereits hingewiesen wurde. Unter diesen sind jedoch nur zwei reine Tonerdesilikate:  $\text{Al}_2 \text{O}_3, \text{SiO}_2$  (Andalusit) und  $\text{Al}_2 \text{O}_3, 2 \text{SiO}_2, 2 \text{H}_2 \text{O}$  (Kaolin), während alle übrigen ge-



mischte Silikate oder Doppelsilikate sind, welche als Basen noch Kali, Natron, Kalk, Magnesia oder Eisenoxydul enthalten.

Solche Silikate sind wesentliche Bestandteile massenhaft auftretender und weit verbreiteter Gesteine, wie Granit, Syenit, Gneis, Glimmerschiefer, Tonschiefer und anderer. Diese Gebirgsarten zerfallen durch Verwitterung in die Silikate, aus welchen sie bestehen und unter denen die Feldspate (Verbindungen der Kieselsäure mit Tonerde, Kali, Natron, Kalk) besonders hervortreten. Die Verwitterung erstreckt sich aber auch auf die Feldspate selbst und läßt durch deren Zersetzung alle die Massen entstehen, welche man als Tone bezeichnet, vom Porzellanton bis zum gemeinen Ton<sup>1)</sup>. Der wesentlichste Bestandteil der Tone ist die Tonsubstanz, als Mineral Kaolin genannt, die oben bereits erwähnte wasserhaltige kieselsaure Tonerde von der Formel  $Al_2O_3, 2 SiO_2, 2 H_2O$ , die in 100 Gewichtsteilen: 39.45 Gewichtsteile Tonerde, 46.64 Gewichtsteile Kieselsäure und 13.91 Gewichtsteile Kristallwasser enthält. Außer der Tonsubstanz enthalten die Tone in wechselnden Mengen noch andere, aus den verwitterten Gesteinen herrührende, fein verteilte Stoffe beigemischt.

Es sind dies gewöhnlich: abschlammbare Kieselsäure, als Sand, und sonstige Mineraltrümmer, außerdem häufig kohlen-saurer Kalk, kohlen-saure Magnesia, Eisenoxydhydrat und Alkalien. Ferner enthalten die Tone öfter organische Stoffe. Die Menge des kohlen-sauren Kalkes nimmt nicht selten derart zu, daß die kalkhaltigen Tone entstehen, welche man mit dem Namen Tonmergel bezeichnet.

Die genannten Tonerdesilikate sind in Salzsäure und auch in Salpetersäure so gut wie unlöslich; die wasserhaltige kieselsaure Tonerde (die Tonsubstanz oder der Kaolin) ist jedoch in kochender Schwefelsäure löslich, wobei sich die Kieselsäure ausscheidet, die nun durch kohlen-saures Natron gelöst werden kann.

<sup>1)</sup> Siehe hierüber: Zwick, Natur der Ziegeltonen. U. Hartlebens Verlag, Wien.

Nur einige derjenigen Silikate, die außer Tonerde noch andere Basen enthalten, sind überhaupt in Säuren löslich. Es sind dies einerseits die Kristallwasser oder Konstitutionswasser enthaltenden Zeolithe, andererseits mehrere durch vulkanische Vorgänge aus feuerflüssigem Zustand heraus gebildete Tonerdesilikate, z. B. die vulkanischen Tuffe und der Bimsstein. In den beiden letzteren Fällen wird bei der Zersetzung durch Säure die Kieselsäure als Gallerte ausgeschieden.

Die übrigen Tonerdesilikate aber können nur durch starkes Glühen mit gewissen Zuschlägen (z. B. mit Kalk) in den löslichen Zustand gebracht werden.

### **Das Eisenoxyd.**

Das Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) kommt als hydratswasserhaltiges Eisenoxyd sowohl im Kalkstein als im Ton vor. Beide färbt es gelb oder braun, obwohl es in der Regel nur in geringer Menge vorhanden ist. Es spielt nur in den einer hohen Brenntemperatur ausgesetzten Zementen eine Rolle, indem es dort als Flußmittel wirkt und das Sintern erleichtert.

### **Die Alkalien.**

Auch diese sind in den gewöhnlich verwendeten Rohstoffen nur in geringer Menge vorhanden und kommen lediglich bei Zementen von hoher Brenntemperatur in Betracht, indem sie da das Sintern erleichtern.

## **Das Verhalten der Grundstoffe gegen chemische Einwirkungen und ihre Verbindungen miteinander.**

Betrachten wir nun das Verhalten der drei Körper Kieselsäure, Kalk und Tonerde zueinander.

### **Kieselsäure und Kalk.**

Mischt man gebrannten und gelöschten Kalk mit Sand oder Quarz pulver, so läßt sich eine chemische



Wirkung beider aufeinander nicht wahrnehmen; Kalk und Sand bleiben räumlich getrennt liegen, selbst dann noch, wenn man beide miteinander zu feinem Pulver zerrieben hat. Der Luftmörtel ist ein solches Gemenge von gelöstem Kalk und Sand. Schließt man bei ihm die Einwirkung der Luft aus, indem man ihn z. B. unter Wasser legt, so führt dies den Kalk nach und nach hinweg, der schwere Sand bleibt zurück. Luftmörtel läßt sich als Bindemittel für Wasserbauten nicht gebrauchen<sup>1)</sup>.

Mischt man Quarz-(Sand-)pulver innig mit kohlen-saurem Kali (Pottasche) und glüht das Gemisch heftig, so entweicht die Kohlen-säure, die Masse gerät in Fluß, und nach dem Erkalten hat sich ein durchsichtiges Glas aus kiesel-saurem Kali gebildet. Solches Glas löst sich, falls die genannten Stoffe in geeignetem Mengenverhältnis angewendet wurden, in kochendem Wasser zu einer hellen sirupartigen Flüssigkeit. Diese Flüssigkeit ist bekannt als mineralischer Leim unter dem Namen Wasserglas. Setzt man zu dieser Lösung gebrannten Kalk, so entsteht eine im Wasser schnell erhärtende Verbindung von hydratwasserhaltigem kiesel-sauren Kalk.

Die hier entstandene Verbindung hat nach Heldt die Zusammensetzung ( $2\text{SiO}_2, 5\text{CaO} + 5\text{H}_2\text{O}$ ); nach Michaëlis aber ist es Bicalciumsilikat ( $\text{SiO}_2, 2\text{CaO} + 2\text{H}_2\text{O}$ ). An der Luft zerfällt die Verbindung unter Aufnahme von Kohlen-säure ziemlich schnell. Auch durch Mischen von feingepulvertem Feuerstein mit Kalk erhält man im Wasser erhärtende Massen. Der für die Hafengebäude Südfrankreichs benützte Kalk von Teil besteht in 100 Gewichtsteilen aus 72 Teilen Kalk ( $\text{CaO}$ ), 25 Teilen Kiesel-säure, etwa 1.7 Teilen Tonerde + Eisenoxyd und etwa 1 Teil Magnesia.

Aus dem vorstehenden ergibt sich: Der Kalk vermag auf die Kiesel-säure in ihrer Gestalt als Sand und Quarz unter gewöhnlichen Umständen keinerlei chemische Wirkung auszuüben; die Kiesel-säure hingegen, wie sie im Wasser-

<sup>1)</sup> Zwicß, Jahrbuch d. Baugew., I. Jahrg. S. 201.



glase (kieselsaurem Kali) enthalten und durch Glühen mit kohlensaurem Alkali entstanden ist, verbindet sich mit dem Kalk sogleich zu unlöslichem, kieselsaurem Kalk. Die träge, gleichsam tote Kieselsäure des Quarzes ist durch Glühen in die verbindungs-fähige, gleichsam lebendige Modifikation übergegangen. Dieses Aufschließen kann auch mit Hilfe von Kalk erfolgen. Und nicht allein Quarz (reine Kieselsäure), sondern auch kieselsäurehaltige Mineralien, z. B. kieselsaure Tonerde (Ton), können auf diesem Wege aufgeschlossen werden. Durch das Aufschließen gewinnt die Kieselsäure die Fähigkeit, Wasser zu binden und sich dann mit dem Kalk oder anderen basischen Stoffen zu unlöslichen Verbindungen zu vereinigen.

Manche in der Natur vorkommende Mineralien enthalten die Kieselsäure bereits in dieser verbindungs-fähigen Modifikation, so z. B. der Opal, das ist wasserhaltige Kieselsäure (Kieselsäurehydrat), ebenso gewisse, in vulkanischen Gegenden auftretende Silikate, z. B. der Traß. Wenn man solche Silikate mit Säuren behandelt, so erhält man die Kieselsäure als gallertartige, lösliche Masse, als Kieselsäurehydrat. Setzt man aber zu solchen Stoffen wie der Traß gelöschten Kalk, so entstehen im Wasser erhärtende Verbindungen („hydraulische“ Verbindungen).

Vor einer Reihe von Jahren hat Le Chatelier und neuerdings haben unter anderen Forschern Zulkowsky, Unger und besonders D. Schott die chemischen Verbindungen der Kieselsäure mit dem Kalk, welche sich aus reiner Kieselsäure und reinem Kalk in Schmelzhitze bilden, näher untersucht. Dabei hat der letztere gefunden, daß sich auf diese Weise je nach den Mengenverhältnissen sowohl Monokalziumsilikat  $[CaO, SiO_2]$  als auch Bikalziumsilikat  $[2 CaO, SiO_2]$  als endlich Trikalziumsilikat  $[3 CaO, SiO_2]$  bilden, daß aber nur das Bikalziumsilikat hydraulische Eigenschaften besitzt, die jedoch nicht bedeutend sind. Von dem Bikalziumsilikat gibt es 2 Modifikationen: eine zerrieselte<sup>1)</sup> mit dem spezifischen Gewicht 3.15 und eine nicht

<sup>1)</sup> Sie zerrieselt bis zur Mehlfeinheit. Der dazwischen verbleibende Gries gehört der anderen Modifikation an.

zerrieselte mit dem spezifischen Gewicht 3.4; aber nur die letztere ist hydraulisch.

Erheblich stärkere hydraulische Eigenschaften fand D. Schott bei einer Schmelze von der Zusammensetzung [ $2\frac{1}{2}\text{CaO}, \text{SiO}_2$ ], die jedoch nicht als chemische Verbindung betrachtet werden kann, sondern wahrscheinlich eine Lösung (eine „feste Lösung“) von Kalk in Trikalziumsilikat ist. Auch von ihr gibt es eine zerrieselte Modifikation, die nicht hydraulisch ist.

Die Sintertemperatur liegt bei beiden genannten hydraulischen Kalksilikaten über  $1700^\circ\text{C}$ .

D. Schott hat schließlich noch festgestellt, daß das oben bereits erwähnte Trikalziumsilikat zwar für sich allein nicht hydraulisch ist, da es nach dem Abbinden seines Pulvers mit Wasser „treibt,“ oder mit anderen Worten: unter Ausdehnen wieder zerfällt. Derselbe Forscher hat aber ferner ermittelt, daß man durch Zusatz von Tonerde zum Trikalziumsilikat, vor dem Schmelzen, nicht nur leichter schmelzende, sondern auch raumbeständige und hydraulische Massen erhält. Der hierzu erforderliche Mindestgehalt an Tonerde beträgt 4%.

### Kalk und Tonerde.

Glüht man Kalk und Tonerde, so entstehen Kalkaluminat; die Tonerde ist, wie Frémy zeigte, bei hohen Temperaturen ein ausgezeichnetes Flußmittel. Mischungen aus 7, 10, 20 Teilen Tonerde mit beziehungsweise 93, 90, 80 Teilen Kalk verglasten beim Brennen, erscheinen dann auf dem Bruche zuckerartig (also kristallinisch) und verbinden sich mit Wasser unter Wärmeentwicklung. Vermehrt man die Menge der Tonerde bei solchen Gemischen noch weiter, so entstehen beim Glühen Massen, die nach mehlfeyner Zerkleinerung und nach Anrühren mit wenig Wasser das letztere augenblicklich aufnehmen (chemisch binden) und dann beim Lagern unter Wasser eine bedeutende Härte erlangen. 100 Gewichtsteile von derartigen Massen vertragen das Zumischen von 30, 60 und selbst 80 Gewichtsteilen Sand und geben einer solchen Mischung beim Lagern unter Wasser



noch Steinhärte. Diese Eigenschaft der Kalkaluminat wurde bereits von Rivot und Chatoney beobachtet und von Frémy bestätigt, welcher hinzufügte, daß Kalkaluminat um so stärkere hydraulische Eigenschaften zeigen, je höherer Temperatur sie ausgesetzt wurden. Nach Winkler sinterten bei Weißglut Massen aus 8 Äquivalenten Kalk + 1 Äquivalent Kali + 4 Äquivalenten Tonerde stark und erhärteten unter Wasser dauernd. Michaëlis' Versuche zeigten, daß starkgebrannte Gemische von Kalk und Tonerde ohne Kali in den Verhältnissen  $Al_2O_3$ ,  $CaO$  und  $Al_2O_3$ ,  $2CaO$  mit Wasser vorzüglich erhärteten, während sie durch die Kohlenäure der Luft zerlegt wurden. Hieraus geht hervor: Gewisse Kalkaluminat zeigen die Eigenschaft, für sich unter Wasser Steinhärte anzunehmen. Später hat Le Chatelier die Kalkaluminat einzeln hergestellt.

Neuere Versuche, besonders die von Zulkowsky, Unger und D. Schott haben ergeben, daß sich aus reinem Kalk und reiner Tonerde in Schmelzhitze je nach den Mengenverhältnissen sowohl Monokalziumaluminat ( $CaO, Al_2O_3$ ) als auch Bikalziumaluminat ( $2CaO, Al_2O_3$ ) als endlich Trikalziumaluminat ( $3CaO, Al_2O_3$ ) bilden, daß aber nur die beiden ersteren hydraulische Eigenschaften besitzen. In ganz hervorragendem Maße hydraulisch ist das Monokalziumaluminat, insofern seine Festigkeit<sup>1)</sup> mehr als das Doppelte von derjenigen des Bikalziumaluminates erreicht und um ebensoviel auch die Festigkeit des weiter oben erwähnten ( $2\frac{1}{2}CaO, SiO_2$ ) übertrifft.

Die Aluminat kommen beim Brennen sehr leicht völlig in Schmelzfluß. Das Monokalziumaluminat schmilzt bei  $1500^\circ C$  und besitzt das spezifische Gewicht 2.91; das Bikalziumaluminat dagegen schmilzt bei  $1450^\circ C$  und besitzt das spezifische Gewicht 2.8 (D. Schott).

### Kalk und Silikate.

Bermengt man Ton, also kieseläure Tonerde, innig mit Kalk und glüht das Gemenge bis fast zur

1) Es wurden von D. Schott die „Zugfestigkeiten“ bestimmt.

Sinterung, so schließt der Kalk den Ton auf, das heißt: er lockert die Verbindung in dem Maße, daß sie, nach dem Erkalten in Berührung mit Wasser gebracht, zerfällt. Bei diesem Zerfall gehen die Kieselsäure und die Tonerde zuerst durch Aufnahme von Wasser in den verbindungs-fähigen Zustand (in Kieselsäurehydrat und Tonerdehydrat) über und verbinden sich dann mit dem inzwischen gelöschten Kalk (dem Kalkhydrat). Die beiden ersteren Hydrate bilden mit dem letzteren wasserunlösliche, erhärtende Silikate.

Enthielt der Ton auch noch kiesel-saure Alkalien (kiesel-saures Kali und =Natron), kiesel-saure Magnesia und kiesel-saures Eisen, wie es gewöhnlich der Fall ist, so werden diese Verbindungen ebenfalls durch den Kalk beim Glühen aufgeschlossen und bilden beim Anrühren der Masse mit Wasser gleich-falls unlösliche Verbindungen bis auf die Alkalien, die nun vom Wasser gelöst werden.

Glüht man aber innige Gemenge der Silikate mit dem Kalk bis zur Sinterung oder bis zum Schmelzen, so entstehen hierbei je nach den gegenseitigen Mengenverhältnissen der Kieselsäure und der einzelnen Basen, nach Temperatur und anderen Einflüssen, verschiedene Silikate, die je nach diesen Umständen hydraulisch oder nicht hydraulisch sind.

### Kalk und Eisenoxyd.

Der Kalk bildet auch mit dem Eisenoxyd bei Schmelz-hitze chemische Verbindungen, deren Formeln den oben genannten Verbindungen des Kalkes mit der Tonerde entsprechen<sup>1)</sup> und von denen nach D. Schott auch wieder nur die beiden mit den geringeren Kalkgehalten hydraulisch sind; sie besitzen diese Eigenschaft aber nur in schwachem Maße. In früherer Zeit hatte bereits Winkler auf das Bestehen von schwach hydraulischen Verbindungen des Kalkes mit dem Eisenoxyd hingewiesen und Le Chatelier hatte diese Verbindungen dargestellt.

Nach W. Michaëlis liefert der Kalk auch mit dem Manganoxyd Verbindungen, die im Wasser erhärten.

<sup>1)</sup> Siehe Seite 14.



### Verbindungen der Magnesia.

Wird gebrannte Magnesia in Stücken lange Zeit einem Wasserstrahl ausgesetzt, so geht sie in ein alabasterähnliches hartes Mineral über, welches nach Deville (1866) aus Magnesiahydrat und Magnesiakarbonat besteht. Werden Dolomite (kohlenaurer Kalk mit kohlenaurer Magnesia) bei etwa 400°C (gerade unterhalb Rotglut) gebrannt — so daß nur das Magnesiakarbonat die Kohlensäure verliert und das Kalkcarbonat unzersezt bleibt —, so entstehen hydraulische Massen, die sehr schnell und gut erhärten und eine Art künstlichen Marmor ergeben.

Wird gebrannte Magnesia mit Wasserglas zusammengebracht, so entsteht nach Mich a ë l i s eine erhärtende Masse von kieselaurer Magnesia von vorzüglicher Beständigkeit; jedoch erfordert die Erhärtung eine andere Zeit als diejenige der Kalkverbindungen.

Das Verhalten der Magnesia in den bei starker Glut hergestellten hydraulischen Silikaten (z. B. Portlandzement) bei deren Erhärten im Wasser ist noch nicht völlig aufgeklärt worden.

## II.

### Der Name »Bement« und die Einteilung der Wassermörtelstoffe.

Bevor wir über die verschiedenen Arten von Wassermörteln ausführlicheres geben, erklären wir hier zunächst die Bedeutung aller dafür gebrauchten Namen, um bei den weiteren Ausführungen Mißverständnisse zu verhüten.

Die Bezeichnung Zement (cæmentum) kommt zuerst bei Vitruvius vor. Vitruvius<sup>1)</sup> gebraucht für Bruchsteinmauerwerk, was aus Kiesel-, Kalk-, Marmor- oder Tuffstein gefertigt ist, den Ausdruck cæmenticiæ structuræ. Dieselbe Bedeutung legen auch Plinius, Cicero, Livius dem Worte bei.

Loriot übersetzt nun in seinem 1744 zu Paris erschienenen „Memoire sur une découverte dans l'art de bâtir“ caementa mit ciments und versteht darunter hydraulischen Mörtel; er legt also dem Worte eine ganz andere Sache unter und stellt damit den heutigen Begriff „Zement“ erst auf. Nach seinem Vorgange ist dann das Wort ciment, cement in die modernen Sprachen übergegangen und ist ihm ein zweifacher Sinn unterlegt worden: Die meisten verstehen mit Loriot darunter jeden Wassermörtel, manche jedoch nur die Zuschläge, die gewöhnlichen Kalk zu Wassermörtel machen (Traß, Puzzolane, Santorinerde).

Wir werden die Wassermörtelstoffe einteilen in:

1. Puzzolanen;
2. Puzzolanamente;

<sup>1)</sup> Lib. II, Kap. 6, und VIII, Kap. 6.

3. lösliche Wasserkalke (eigentliche Wasserkalke);
4. nicht lösliche Wasserkalke, sogenannte Romanzemente;
5. Magnesiazemente;
6. Portlandzemente;
7. Mischzemente.

Die wesentlichsten Eigenschaften der genannten Arten von Wassermörtelstoffen sind folgende:

### 1. Die Puzzolanen

finden sich teils schon fertig in der Natur, so die Puzzolanerde (von deren Fundort Puzzuoli ihr Name und der Name Puzzolanen abgeleitet ist), der Traß (Steintraß und Knuppenraß) und die Santorinerde, teils sind sie Erzeugnisse der Technik, nämlich Schlacken. Die Puzzolanen enthalten im wesentlichen nur verbindungsfähige Kieselsäure als wirksamen Bestandteil. Sie sind deshalb für sich allein keine Bindemittel, sondern sind lediglich als „wassererhärtend machende (hydraulisch machende) Zuschläge“ zu gebranntem Kalk verwendbar, geben mit diesem aber beachtenswerte Wassermörtelstoffe, nämlich:

### 2. Die Puzzolanzemente

welche also innige Mischungen von Puzzolanen mit mehlfeinem Kalkhydrat sind. Aus dem oben gesagten erhellt, daß hierzu auch der „Schlackenzement“ gehört.

3. Die löslichen Wasserkalke<sup>1)</sup> (lösliche hydraul. Kalke) entstehen aus tonhaltigem oder kieselsäurehaltigem Kalkstein („Kalkmergel“ oder „Kieselskalk“) mit einem Silikatgehalt<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Die seit lange schon an einigen Orten gebrauchte Bezeichnung „Wasserkalk“ ziehen wir dem Ausdruck „hydraulischer Kalk“ vor, weil erstere Bezeichnung jedermann verständlich ist. Über den Begriff „hydraulisch“ vgl. S. 1 und 2.

<sup>2)</sup> Unter „Silikatgehalt“ und unter „Silikat“ schlecht hin ist hier und auch im folgenden die Summe von Kieselsäure und Tonerde und Eisenoxyd zu verstehen.



von ungefähr 8—20 Gewichtsteilen i. H. durch Brennen unterhalb Sinterglut. In ihren Eigenschaften nähern sich die Wasserkalke um so mehr dem gewöhnlichen gebrannten Kalk: dem Luftpalk, je weniger „Silikat“ (Ton oder Kieselsäure) sie enthalten.

Mit Wasser löschten sie sich ähnlich wie gewöhnlicher Kalk, jedoch ohne erhebliches Aufblähen und mit mäßiger Wärmeentwicklung und zerfallen dabei mehr oder weniger vollständig zu Mehl. Sie binden mit dem Wasser stets langsam ab. Je größer aber der Silikatgehalt ist, desto mehr nähern sich die Eigenschaften des löslichen Wasserkalkes denen des Romazementes, welcher mit Wasser nicht mehr zerfällt. Eine scharfe Grenze läßt sich zwischen diesen beiden nicht ziehen. Wenn beim Ablöschen Rückstände bleiben, wird der Wasserkalk durch Mahlen auf Mehlfeinheit gebracht und gleichzeitig „in sich“ gemischt. Wasserkalk, welcher beim Ablöschen ohne Rückstand zerfällt, wird auch in Stücken in den Handel gebracht.

#### 4. Die Romazemente

entstehen aus tonreichen Kalkmergeln mit einem Silikatgehalt von mehr als etwa 20 Gewichtsteilen i. H. durch Brennen unterhalb Sinterglut. Die Romazemente erwärmen sich mit Wasser, zerfallen aber dabei nicht. Sie müssen daher immer gemahlen werden. Das Erhärten beginnt meist schon nach wenigen Minuten.

#### 5. Die Portlandzemente

gewinnt man in einzelnen Fällen aus Kalkmergeln von geeigneter Zusammensetzung (sogenannter „Naturzement“), gewöhnlich aber aus künstlich bereiteten innigen Mischungen kalk- und tonhaltiger Stoffe, stets durch Brennen bis zur völligen Sinterung und nachfolgendes Zerkleinern bis zur Mehlfeinheit. Das Vermahlen ist stets erforderlich, da das Wasser kein Zerfallen bewirkt. Die Portlandzemente enthalten gewöhnlich etwa 60—65 Gewichtsteile Kalk ( $\text{CaO}$ ).

i. S. und entsprechend etwa 35—30 Gewichtsteile „Silikat“ i. S. und sind je nach der Beschaffenheit der Rohstoffe mit mehr oder weniger Kalk bereitet. Es gibt langsambindenden und raschbindenden Portlandzement; der erstere zeigt beim Abbinden wenig Erwärmen, der letztere erwärmt sich stark.

### 6. Die Mischzemente

werden durch Vermischen von Wassermörtelstoffen mit anderen mehr oder weniger vollkommeneren Wassermörtelstoffen oder puzzolanartigen Stoffen erhalten. Es wird verlangt, daß die Mengenverhältnisse derartiger Mischungen dem Käufer bekanntgegeben werden. Zu dieser Gruppe gehören: der „Eisenportlandzement“ (Mischung von Portlandzement mit 30 % Eisenhochofenschlacke) und der „Hansazement“ (Mischung von Schlackenzement mit Portlandzement).

Als Mischzement im weiteren Sinne wird von manchen auch der Schlackenzement betrachtet<sup>1)</sup>, den wir zu den Puzzolanzementen gerechnet haben.

### 7. Die Magnesiazemente

enthalten teils den Kalk nur als nebensächlichen oder gar als unwesentlichen Bestandteil (kohlen-sauren Kalk), teils sind sie frei von Kalk. Sie gehören also streng genommen nicht hierher, sondern bilden eine Gruppe für sich. Trotzdem können sie hier nicht übergangen werden.

Sie sind von dreierlei Art. Die einen werden durch vorsichtiges Brennen von Dolomit (kohlen-saure Kalk-Magnesia) hergestellt, wobei nur die kohlen-saure Magnesia ihre Kohlen-säure verlieren soll; das Rohgestein anderer enthält außerdem noch Kieselsäure und wird bis zur völligen Sinterung gebrannt; die dritte Art aber wird unmittelbar beim Gebrauch durch inniges Vermengen von gebrannter Magnesia mit wässerigen Chlormagnesiumlösungen bereitet (Sorelzement).

<sup>1)</sup> Mit demselben Rechte kann man alle Puzzolanzemente hierzu rechnen.

Der Vollständigkeit unserer Zusammenstellung wegen möge hier kurz angefügt werden, daß es noch einen anderen mittels Kalkstein und Stuckgips herzustellenden Zement gibt, der von H. J. D. Scott durch Einwirkenlassen der Dämpfe brennenden Schwefels erhalten worden ist, und den Friedr. Schott sehr eingehend untersucht und vollkommener herzustellen gelehrt hat. Dieser aus dem „Scottschen Zement“ hervorgegangene „Schottsche Zement“ besteht indessen nur zu einem Drittel aus Kalk und gehört zu den Gipszementen, auf die wir hier ebensowenig eingehen können, wie auf den ferner noch zu den hydraulischen Mörtelstoffen zu rechnenden „Estrichgips“<sup>1)</sup>.

---

1) Näheres siehe in: A. Moyer, „Der Gips“ (Leipzig 1906, Verlag Thomas).



### III.

## Die Entwicklung der Bementindustrie.

„Es gibt,“ sagt Vitruvius, „eine Art von Staub, der merkwürdige Dinge hervorbringt; man findet ihn in der Gegend von Bajä und bei den Städten, welche in der Nähe des Vesuvs liegen. Mit Kalk gemischt, führt dieser Staub nicht nur eine große Festigkeit der Bauwerke herbei, sondern, was noch mehr ist, er verleiht diese besonders auch den Wasserbauten. Die daraus im Meere aufgeführten Dämme vereinigen sich schnell untereinander und werden so fest, daß weder die Flut noch sonst des Wassers Gewalt sie zu trennen vermag.“<sup>1)</sup>

Dieser von Vitruvius angeführte „Staub“, sein pulvis Puteolanus, sive Bajanus, sive Cumanus, ist, wie auch er bereits wußte, ein Erzeugnis vulkanischer Tätigkeit, welches noch heute in der Gegend von Neapel gefunden wird und nach dem Orte Puzzuoli den Namen Puzzolane trägt. Dieser Staub wird wie zur Zeit der Römer noch heute in Mischung mit Kalk zu Wasserbauten benutzt weil dieses Gemisch die merkwürdige Eigenschaft besitzt, unter Wasser steinartig zu erhärten, also ein Wassermörtel zu sein.

Durch die Angaben von Plinius und Vitruvius sind uns die Mörtelstoffe, welche die Römer zu ihren Bauten benutzten, sowie die damals schon hoch entwickelte Herstellung derselben wohl bekannt. Diese Angaben zeigen uns aber auch, wie gering, trotz ausgedehnter Verwendung von Mörtelmischungen, die damaligen Kenntnisse über das Wesen

<sup>1)</sup> II. Buch, Kap. 4.

dieser Bindemittel waren. Man wußte zwar, daß der Kalk gebrannt, gelöscht und dann mit Sand vermischt werden müsse, aber über die chemische Veränderung des Kalksteines durch das Brennen und über die Vorgänge, welche das Erhärten bewirken, wußte man noch nichts. Das ganze Mittelalter mußte verstreichen, ehe man diesen Vorgängen näher treten konnte. Erst im Jahre 1757 entdeckte Black das Gas, welches beim Kalkbrennen entweicht: die Kohlensäure; kurz vorher (1750) hatte Marggraf die Bestandteile des Gipses, welchen die Römer ebenfalls zu ihren Bauwerken benutzten, festgestellt. Und erst 1768 bewies Lavoisier, daß das Erhärten des gebrannten Gipses auf Bindung von Wasser beruht, eine Tatsache, die allerdings bereits Theophrastus gekannt zu haben scheint.

Die alten Römer, die, wie oben mitgeteilt, den Staub von Bajä als nützlich erkannt hatten und so vorteilhaft zu verwenden wußten, fanden dann bei ihrem Vordringen nach dem Rhein ähnliche Naturerzeugnisse auf der linken Rheinseite in den Abhängen der Eifel. Hier fanden sie den „Tuffstein“, der gemahlen als „Traß“ mit Zuschlag von Kalk noch gegenwärtig einen der geschätztesten Wassermörtel liefert, und legten seit dem 3. Jahrhundert die noch jetzt in Benutzung befindlichen Brücke an, um den Traß zu ihren Wasser- und Kastellbauten im Gebiet des Rheines zu verwenden. Später aber wurde der Tuffstein der Eifel während des ganzen Mittelalters hauptsächlich als Baustein benutzt. Im Jahre 1682 soll dann ein Holländer Namens van Santen die erste Tuffsteinmühle am Rhein erbaut haben, und es soll seit dieser Zeit der gemahlene Tuffstein unter dem Namen Traß (vom holländ. Worte Tyrass<sup>1)</sup>) = Kitt oder Bindemittel in Gebrauch geblieben sein.

Über die Zusammensetzung des Trasses und der damals schon bekannten hydraulischen Kalke, also über die Stoffe, welche den hydraulischen Bindemitteln die geschätzten Eigenschaften geben, wußte man auch zu jener Zeit noch nichts.

<sup>1)</sup> Dieses Wort wiederum wird auf das italienische terrazzo zurückgeführt.



Erst der Neubau des bekannten Leuchtturmes von Edystone in der Bucht von Plymouth, welcher Neubau im Jahre 1756 begonnen wurde, gab Anlaß zur Untersuchung der hydraulischen Mörtelstoffe und führte zu den ersten Feststellungen über ihre wirksamen Bestandteile. Der genannte Leuchtturm war bereits zweimal zerstört worden: das eine Mal durch die hochgehende See, das andere Mal durch Feuer. Man wollte nun den Neubau so widerstandsfähig als möglich herstellen. Der Erbauer dieses kühnen Werkes, der Ingenieur Smeaton, nahm daraus Veranlassung, den Kalk von Abertaw in der Grafschaft Glamorgan (Süd-wales), dessen vorzügliche hydraulische Eigenschaften in ganz England anerkannt waren, näher zu studieren, um ihn geeignetenfalls für den Bau zu verwenden. Dabei fand er, daß dieser hydraulische Kalk bei Behandlung mit verdünnter Salpetersäure eine bläulichgraue Masse hinterläßt, und daß diese die Eigenschaften des Tones besitzt. Er stellte auch fest, daß das untersuchte Gestein  $\frac{1}{8}$  seines Gewichtes an Ton enthielt und im übrigen aus Kalkstein bestand. Und aus zahlreichen weiteren Versuchen zog Smeaton den Schluß, daß alle Kalle, welche bei Behandlung mit Salpetersäure solchen Tonrückstand ergeben, beim Brennen einen im Wasser erhärtenden Mörtel liefern<sup>1)</sup>, daß also der im Kalkstein enthaltene Ton die Ursache der hydraulischen Eigenschaft (der „Hydraulizität“ oder Wassererhärtungsfähigkeit) des gebrannten Kalksteines sei. Seine Versuche, einen Kalk durch Zusatz von Ton hydraulisch zu machen, blieben jedoch erfolglos.

Nicht lange nachher, im letzten Viertel des 18. Jahrhunderts, befaßten sich auch Chemiker mit den hydraulischen Mörteln. Bergmann, der bekannte schwedische Chemiker, und mit ihm Guyton de Morveau in Frankreich waren der Meinung, die hydraulische Eigenschaft des Wassermörtels beruhe auf dessen Gehalt an Manganoxyd. Dann lernte Saussure auf seiner berühmten Alpenreise die hydraulischen

<sup>1)</sup> John Smeaton, Directions for preparing, making and using Puzzolana Mortar etc., London 1812.



Kalke von St. Gingolph in Savoyen näher kennen und glaubte ihre merkwürdigen Eigenschaften auf ihren Gehalt an Mangan, Quarz und Ton zurückführen zu müssen, ohne indes seine Ansicht zu begründen. Nach längerer Zeit, 1813, entdeckte der Bergingenieur Collet-Descoftils in dem natürlichen hydraulischen Kalk von Senonches, der, wie Arago betont, in ganz Frankreich als das „Urbild der Vollkommenheit“ galt, eine ziemlich bedeutende Menge eines fein verteilten kieselartigen Stoffes und glaubte auf diesen die kräftigen hydraulischen Eigenschaften des Kalkes zurückführen zu sollen. Er unterließ es indes, den Gegenstand weiter zu verfolgen und seine Ansicht näher zu begründen.

So stand es um die Mörtelfrage, als im Jahre 1818 dem französischen Ingenieur Vicat der Brückenbau von Souillac übertragen wurde, fast genau 60 Jahre nach den Versuchen von Smeaton.

Vicat stellte sich die Aufgabe, einen hydraulischen Kalk ähnlicher Art wie der von Senonches künstlich herzustellen. Zur Lösung dieser Aufgabe schlug er nicht den heutzutage üblichen wissenschaftlichen Weg ein, welcher von der Untersuchung des nachzunehmenden Kalkes, mit Hilfe von deren Ergebnis, zur Herstellung eines ähnlichen Erzeugnisses führen würde, sondern er probierte „auf gut Glück“. Und in der That, das Glück war ihm günstig. Indem er sich eine Mischung von reinem Kalk (Kreide) und Ton in geeignetem Verhältnisse herstellte und dieses Gemenge brannte, erhielt er einen Mörtelstoff, der in seiner Wassererhärtung den Kalk von Senonches noch übertraf. Im Jahre 1818 machte Vicat seine Entdeckung bekannt. Sie wurde, wider Gewohnheit und Gebrauch, günstig und mit Vertrauen aufgenommen, indem in Paris bald Fabriken zur künstlichen Darstellung hydraulischen Kalkes entstanden, deren Erzeugnis sogleich zu den Bauten der Quais bei der Senabrücke, dem Kanal St. Martin, sowie zu vier großen Schlachthäusern Verwendung fand.

Vicat begnügte sich aber keineswegs mit der Lösung der Aufgabe, hydraulischen Mörtelstoff (Zement) künstlich

herzustellen, sondern voraussehend, daß die Natur unmittelbar zum Brennen von Wassermörtelstoffen geeignete Gesteine in größeren Mengen aufgespeichert habe, steckte er sich das Ziel, die in Frankreich vorhandenen Gesteine dieser Art ausfindig zu machen. Zwölf Jahre lang durchforscht er zu diesem Zwecke sein Vaterland, vom Kanal bis zum Mittelmeer, von den Vogesen bis zu den Apenninen, entdeckte mehr als 900 Lager von Kalkstein für Wasserfalk und fand unter 80 Departements nur sechs oder sieben mit Urgebirgsformationen, denen der gesuchte Kalkstein gänzlich fehlte. Während man bisher die Mörtelstoffe für Wasserbauten aus Unteritalien und vom Niederrhein mit übergroßen Kosten herbeigeschafft hatte, konnte man nun dergleichen an Ort und Stelle bequem und billig herstellen. Vicat selbst wirkte auch hier bei der Herstellung und bei der Verwendung tatkräftig mit; zahlreiche Brücken, Schleusen, Viadukte, Tunnels, Kanäle, Hafengebauten usw. wurden unter seiner eigenen Aufsicht und nach seiner Anweisung in ganz Frankreich ausgeführt. Die durch diesen Fortschritt herbeigeführten Ersparnisse zählen nach Millionen; nach Arago stellte sich, um nur eines zu erwähnen, das Verhältnis der Baukosten beim Brückenbau von früher und jetzt, wie 100 : 47; Frankreich ersparte dabei bis 1845 allein 69,677.000 Franks (etwa 56 Millionen Mark). Diese Ersparnisse verschwinden aber gegen den Nutzen, den Vicats Entdeckung der Baukunst überhaupt und damit der Volkswohlfahrt auch der anderen Länder gebracht hat.

Als äußere Anerkennung der bedeutenden Verdienste Vicats bewilligte ihm im Jahre 1845 die Deputiertenkammer nach glänzender Lobrede Aragos eine lebenslängliche Rente von 6000 Franks.

Indessen blieb noch Wichtiges zu tun übrig: nämlich die wissenschaftliche Lösung der Wassermörtelfrage. Den ersten und wichtigsten Schritt in dieser Richtung getan und gleichsam den Schlüssel zur Erkenntnis der chemischen Vorgänge in den Wassermörtelstoffen gefunden zu haben, ist das unsterbliche Verdienst eines Deutschen, des Münchener Professors N. v. Fuchs. Durch seine 1832 ver-



öffentlichten beiden Arbeiten: „Über Kalk und Mörtel“ und „Über Eigenschaften, Bestandteile und chemische Verbindung der hydraulischen Mörtel“ hat er den empirischen Entdeckungen Vicats die Begründung hinzugefügt, ohne welche man sich gar keine Vorstellung von dem Wesen der hydraulischen Mörtelstoffe machen konnte.

Zwar hatte bereits Berthier 1822 auf die Wichtigkeit der Kieselsäure in den Wasserkalken hingewiesen, aber erst v. Fuchs erläuterte die Zusammensetzung, die Gründe des Erhärtens von Luft- und Wassermörtel mit solcher Klarheit, daß der Vorgang jedem, auch dem Laien verständlich wurde. Indem er eine Menge von Tatsachen brachte, die unwiderleglich bewiesen, daß nicht „ein besonderes hydraulisches Prinzip“ sondern die chemische Verbindung der durch Brennen löslich gemachten Kieselsäure mit dem freien Kalk unter gleichzeitiger Wasseraufnahme die Ursache des Erhärtens des Wassermörtels sei, widerlegte er die Annahme Vicats, als ob der Ton den Wasserkalk wassererhärtend mache und ähnlich wie beim gebrannten Gips eine bloße Aufnahme von Wasser<sup>1)</sup> seitens der im Feuer gebildeten Verbindungen dies bewirke. Fuchs beleuchtete ausführlich, welche Bedeutung für die Bildung der Mörtelstoffe den einzelnen Grundstoffen zuzuschreiben sei und in welcher Gestalt und in welchem Mengenverhältnis namentlich Kieselsäure, Kalk und Tonerde vorhanden sein müssen, wenn ein Wassermörtel entstehen soll.

Im Gegensatz zu Vicat ist Fuchs eine materielle Anerkennung nicht geworden. Seine Verdienste wurden vor der Öffentlichkeit nur dadurch gewürdigt, daß ihm die Hollandsche Maatschappij de Wetenschappen to Haarlem 1832 für seine Arbeit: „Über die Eigenschaften, Bestandteile und chemischen Verbin-

1) Auch beim Gips würde eine bloße Aufnahme von Wasser ohne gleichzeitiges Kristallisieren keine Erhärtung ergeben; jedoch ist im obigen nur von den chemischen Vorgängen die Rede.



dungen des hydraulischen Mörtels“ die goldene Medaille zuerkannte.

Noch ehe Vicat seine glücklichen Versuche zur Darstellung von Wassermörtelstoffen anstellte, hatte bereits Lejage 1802 auf ein Verfahren aufmerksam gemacht, nach welchem man aus einem Gestein, das an der Boulogner Küste vorkommt, durch starkes Brennen einen Wassermörtelstoff zu erzeugen vermochte. Die mit der Prüfung dieses Kalkes betraute Kommission nannte ihn *plâtre ciment*, weil er wie Gips schnell abband und wie der Wassermörtel der Alten im Wasser erhärtete.

In England, wo als die besten hydraulischen Kalk der vorerwähnte Aberthawkalk und der von Watchet (Somerset) und von Barrow (Leicester) galten, hatte bereits im Jahre 1796 James Parker ein Patent auf einen neuen Wassermörtelstoff erhalten, den er aus Tonkalkkonkretionen erbrannte und welcher alle anderen Wassermörtelstoffe übertraf. Dieser Wasserkalk erfreute sich bald eines ausgezeichneten Rufes und wurde unter dem Namen *Romanzement* oder *römischer Zement* über ganz Europa verkauft. Der Name sollte andeuten, daß der neue Mörtelstoff dem vorzüglichsten Wassermörtelstoff der Alten nahe stehe. Ähnliche Kalksteinnieren fanden sich bald an vielen anderen Orten. So in England auf den Inseln Wight und Sheppey, sowie an den Küsten von Kent, Sommerjet und Yorkshire. Aus den Kalksteinnieren in Hampshire bereitete man den sogenannten *Medinazement*, aus einem Kalkstein der Liassformation den *Atkinsonzement* usw. alles Erzeugnisse, die bald in guten Ruf kamen und nach denen viel Nachfrage war.

In Frankreich hatte man, wie schon erwähnt, bald nach dem günstigen Ergebnis der Versuche Vicats begonnen, aus Ton und Kalkhydrat durch Brennen künstliche Wasserkalke herzustellen. Berthier berichtet, daß Saint-Véger und Girault die ersten waren, die sich im großen damit beschäftigten, und daß sie durch Brennen von 4 Teilen Pariser Kreide mit 1 Teil Feuersteinnmehl (später mit Ton) hydraulischen Mörtel erzeugten.

In England folgte man bald diesem Beispiele, und zwar mit Glück; denn alle französischen Fabrikate überflügelte bald ein als Portlandzement bezeichneter Wassermörtelstoff, der unter Verwendung von Ablagerungen solcher englischer Flüsse gewonnen wurde, deren Lauf über Kreide- und Tonlager führt. Diese tonigen Ablagerungen wurden in inniger Mischung mit Kalk verarbeitet, indem man beide trocken miteinander vermengte und dann brannte.

Ursprünglich aber bezeichnete man mit dem Namen Portlandzement einen Wassermörtelstoff, der seit dem Jahre 1824 von F. Aspdin in Leeds dargestellt wurde und welcher seinen Namen nach dem Portlandstein erhielt, einem in England sehr geschätzten Baustein, der durch seine grünlichgraue Farbe dem Portlandzement ähnlich aussieht. Nach dem für England erteilten Patente wurde dieser Zement hergestellt aus Kalkstein, wie er in Leeds zum Wegebau diente. Diesen brannte man in Kalköfen, löschte ihn zu Mehl und mischte ihn durch Kneten innig mit je der gleichen Gewichtsmenge Ton und Wasser. Diese Rohmasse trocknete man, brach sie in Stücke, brannte sie scharf und vermahlte sie dann zu Mehl, um sie nun verpackt in den Handel zu bringen. Der so gewonnene Zement bildete ein mehr oder minder dunkles graues Mehl mit einem Stich ins Grünliche. Er erhärtete nicht sehr schnell, erreichte aber eine große Festigkeit.

Einen weiteren Erfolg erzielte C. W. Pasley 1828. Er fand, daß der blaue Ton des Medwayflusses, mit Kalkstein oder Kreide vermischt, ebenfalls einen ausgezeichneten Portlandzement gebe. Er wandte später  $13\frac{3}{4}$  Gewichtsteile frischen Medwaytones auf 10 Gewichtsteile reinen trockenen Kreidepulvers an.

In England entwickelte sich nun die Portlandzementfabrikation in den folgenden Jahrzehnten zu hoher Blüte. Die Tone aus den Buchten der Themse und des Medway zwischen Sheerneß und Maidstone, die weiße und graue Kreide der Kreideseifen an der Küste dienten als Rohstoffe; die daraus erzeugten hochwertigen Portlandzemente über-



flügelten die Romanzemente und wurden in großen Mengen nach Deutschland eingeführt, wo man bis zur Mitte des vorigen Jahrhunderts in diesem Zweige zurückgeblieben war. Zu den bedeutendsten englischen Fabriken gehörten die von Atkinjon, Lee, White Brothers, Robins & Co.

In Deutschland hat die Portlandzementfabrikation erst seit dem Jahre 1850 festen Fuß gefaßt; denn in diesem Jahre gelang es Gierow in Stettin, und 1852 Hermann Bleibtreu, einen dem englischen gleichwertigen Portlandzement zu erzeugen. In Stettin befindet sich die älteste Fabrik, von Bleibtreu in Verbindung mit Konsul Gutike errichtet; später entstanden die Quistorp'sche auf der Insel Misdroy und die Fabrik „Stern“ von Toepffer und Grawitz.

Seitdem folgte eine große Reihe ähnlicher Fabriken, so daß die Gesamtzahl der Portlandzementwerke im Deutschen Reiche gegenwärtig mehr als 100 beträgt, während außerdem noch viele, wenn auch meist kleinere Werke, Romanzement oder anderen Wasserkraft herstellen.

Die Portlandzementwerke im Deutschen Reiche haben sich seit dem Jahre 1877 zu dem „Verein deutscher Portlandzementfabrikanten“ zusammengeschlossen, welcher seinen Einfluß besonders auch dahin geltend macht, daß nur unverfälschter Portlandzement von guter Beschaffenheit in den Handel kommt. Diesem Verein gehört die große Mehrzahl der reichsdeutschen Werke, aber auch einige ausländischen Werke, an; wir geben hier deren Namen und Jahresleistungen:

### Mitgliederverzeichnis

des Vereins Deutscher Portlandzementfabrikanten. (E. V.)

1 Anteil = 50.000 Maß.

1. **Aalborg.** Aktieselskabet Aalborg, Portlandzementfabrik, 11 Anteile.

2. **Amöneburg b. Biebrich a. Rh.** Dyckerhoff & Söhne, Portlandzementfabrik, 22 Anteile.

3. **Bad Kösen.** Sächsisch-thüringische Aktiengesellschaft für Kalksteinverwertung, 6 Anteile.

4. **Beckum.** Beckumer Portlandzementwerk Müllens, Ruhr und Glasberg, 4 Anteile.



5. **Bedrum.** Aktiengesellschaft für Rheinisch-westfälische Zementindustrie, 4 Anteile.
6. **Bedrum.** „Westphalia“, Aktiengesellschaft für Fabrikation von Portlandzement und Wasserkalk, 4 Anteile.
7. **Berghausen.** Karlsruher Kalk- und Zementwerke, G. m. b. H., 3 Anteile.
8. **Berka a. M.** Aktiengesellschaft, Portlandzementwerk, 2 Anteile.
9. **Berlin.** „Adler“, Deutsche Portlandzementfabrik, NW. 7, Friedrichstraße 138, 3 Anteile.
10. **Berlin.** Portlandzementfabrik „Rüdersdorf“, R. Gutmann & Jeserich, NW. 7, Friedrichstraße 138, 16 Anteile.
11. **Bernburg.** Bernburger Portlandzementfabrik, Aktiengesellschaft, 4 Anteile.
12. **Blaubeuren.** Portlandzementfabrik, Gebr. Spohn, Aktiengesellschaft, 8 Anteile.
13. **Bochum.** Ennigerloher Portlandzement- und Kalkwerke, Grimberg & Rosenstein, Aktiengesellschaft, 5 Anteile.
14. **Bonn.** Bonner Bergwerks- und Hüttenverein, Zementfabrik bei Oberkassel, 7 Anteile.
15. **Brackwede.** C. Stockmeyer, Portlandzementfabrik, 1 Anteil.
16. **Breslau.** Gogolin-Goraszder Kalk- und Zementwerke, Aktiengesellschaft, 4 Anteile.
17. **Büren (Westfalen).** Bürener Portlandzementwerke, Aktiengesellschaft, 3 Anteile.
18. **Diedesheim-Neckarelz.** Portlandzementwerk Diedesheim-Neckarelz, Aktiengesellschaft, 3 Anteile.
19. **Dresden.** Sächsisch-böhmische Portlandzementfabrik in Tschischkowitz bei Lobositz in Böhmen, 7 Anteile.
20. **Gartenau b. Salzburg.** Gebrüder Leube, Zementfabrik, 2 Anteile.
21. **Geislingen-Steig.** Portlandzementwerk Geislingen-Steig, 2 Anteile.
22. **Geseke (Westfalen).** „Meteor“, Aktiengesellschaft, Geseker Kalk- und Portlandzementwerke, 3 Anteile.
23. **Glöthe b. Förderstedt.** Portlandzementwerk „Saxonia“, Aktiengesellschaft, vorm. Heinrich Laas Söhne, 6 Anteile.
24. **Göschwitz.** Sächsisch-thüringische Portlandzementfabrik, Brüßing & Co., 15 Anteile.
25. **Gößnitz i. Sachsen.** Portlandzementfabrik Gößnitz, Aktiengesellschaft, 2 Anteile.
26. **Grodziec i. Russ. Polen.** Portlandzementfabrik „Grodziec“, 1 Anteil.
27. **Groschowitz b. Oppeln.** Schlesiische Aktiengesellschaft für Portlandzementfabrikation, 12 Anteile.
28. **Groß-Strehlitz.** Oberschlesiische Portlandzement- und Kalkwerke, Aktiengesellschaft, 4 Anteile.

29. **Halle a. S.** Portlandzementfabrik Halle a. S., 4 Anteile.
30. **Hamburg.** Alsen'sche Portlandzementfabriken, 27 Anteile.
31. **Hamburg.** Portlandzementfabrik Hemmoor, Steinstraße, Posthof 14, 17 Anteile.
32. **Hamburg.** Portlandzementfabrik „Saturn“, Nobelshof (Fabrik in Brunshüttelekoog, Holstein), 9 Anteile.
33. **Hannover.** Hannover'sche Portlandzementfabrik, Aktiengesellschaft, 12 Anteile.
34. **Hannover.** Misburger Portlandzementfabrik Kronsberg, Aktiengesellschaft, 4 Anteile.
35. **Hannover.** Norddeutsche Portlandzementfabrik Misburg, 7 Anteile.
36. **Hannover.** „Teutonia“, Misburger Portlandzementwerk, 15 Anteile.
37. **Hannover.** Bormohler Portlandzementfabrik, Pland & Ko., Theaterplatz 1, 6 Anteile.
38. **Hardegsen.** Portlandzement- und Kalkwerke Hardegsen, S. Manske & Ko., G. m. b. H., 2 Anteile.
39. **Heidelberg.** Portlandzementwerke Heidelberg und Mannheim, Aktiengesellschaft, Fabriken in Heidelberg, Nürtingen, Mannheim und Weisenau, 40 Anteile.
40. **Hörter.** Aktiengesellschaft Hörter'sche Portlandzementfabrik, vorm. J. H. Eichwald Söhne, 4 Anteile.
41. **Hörter.** Portlandzementwerke Hörter-Godelheim, Aktiengesellschaft, 3 Anteile.
42. **Karlstadt a. Main.** Portlandzementfabrik Karlstadt a. Main, vorm. Ludwig Roth, Aktiengesellschaft, 10 Anteile.
43. **Kopenhagen.** Aktiefelskabet „Cimbria“, 2 Anteile.
44. **Kufstein (Tirol).** Eger & Lüthi, Portlandzementfabrik, Kirchbühl, 6 Anteile.
45. **Kupferdreh a. Ruhr.** Narjes und Bender, Portlandzementfabrik, 3 Anteile.
46. **Lägerdorf (Holstein).** Breitenburger Portlandzementfabrik, 11 Anteile.
47. **Lägerdorf (Holstein).** Holsteinische Portlandzementfabrik, G. m. b. H., 5 Anteile.
48. **Lauffen a. Neckar.** Württembergisches Portlandzementwerk, Aktiengesellschaft, 4 Anteile.
49. **Lédecz b. Illava (Ungarn).** Lédecz Portlandzementfabrik und Kalkwerke des Adolf v. Schenk-Lédecz, 1 Anteil.
50. **Lehrte.** Portlandzementfabrik „Germania“, Aktiengesellschaft, 29 Anteile.
51. **Leungfurt a. Main.** Portlandzementwerke „Wetterau“, 5 Anteile.
52. **Lüneburg.** Portlandzementfabrik, vorm. Heyn Gebrüder, Aktiengesellschaft, 6 Anteile.
53. **Malmö.** Stånska Cement Aktie Bolaget, 8 Anteile.



54. **Malstatt-Burbach b. Saarbrücken.** C. H. Böcking & Diehsch, Portlandzementfabrik, 3 Anteile.
55. **Neub.** Lothringer Portlandzementwerke, Fabriken in Diesdorf und Heming, 7 Anteile.
56. **München.** Bayerisches Portlandzementwerk Marienstein, Aktiengesellschaft, 3 Anteile.
57. **Münstingen.** Süddeutsches Portlandzementwerk, 3 Anteile.
58. **Münster i. W.** Lengericher Portlandzement- und Kalkwerke, 4 Anteile.
59. **Neubekum.** Portlandzement- und Wasserkalkwerke „Marf“, 6 Anteile.
60. **Neunkirch (Katzbach).** Niederschlesische Portlandzementfabrik, 2 Anteile.
61. **Neustadt W.-Preußen.** Preussische Portlandzementfabrik 2 Anteile.
62. **Nieder-Zugelheim a. Rhein.** Portlandzementfabrik Zugelheim a. Rhein, Aktiengesellschaft, vorm. C. Krebs, 3 Anteile.
63. **Offenbach a. Main.** Offenbacher Portlandzementfabrik, Aktiengesellschaft, 3 Anteile.
64. **Oppeln.** Oberschlesische Portlandzementfabrik, 10 Anteile.
65. **Oppeln.** Oppelner Portlandzementfabriken, vormals F. W. Grundmann, 10 Anteile.
66. **Oppeln.** Portlandzementfabrik, vorm. M. Giesel, 5 Anteile.
67. **Oppeln.** „Silesia“, Neue Oppelner Portlandzementfabrik, Aktiengesellschaft, 1 Anteil.
68. **Porta.** Bremer Portlandzementfabrik Porta, 5 Anteile.
69. **Porz-Söln.** Rheinische Portlandzementwerke, Porz bei Köln, 5 Anteile.
70. **Recklinghausen.** Wickingsche Portlandzement- und Wasserkalkwerke, 10 Anteile.
71. **Regensburg.** Kalk- und Portlandzementwerk „Walhalla“, D. Funk, 2 Anteile.
72. **Saarburg i. Lothr.** Heminger Portlandzementwerke, Aktiengesellschaft, 3 Anteile.
73. **Salder.** Braunschweiger Portlandzementwerke zu Salder, 2 Anteile.
74. **Schimischow (Oberschlesien).** Schimischower Portlandzement-, Kalk- und Ziegelwerke, 4 Anteile.
75. **Stettin.** Pommerscher Industrieverein auf Aktien, 13 Anteile.
76. **Stettin.** Portlandzementfabrik „Stern“, Doepffer, Grauwitz & Co., 9 Anteile.
77. **Stettin.** Stettiner Portlandzementfabrik, 7 Anteile.
78. **Stettin.** Stettin-Bredower Portlandzementfabrik, 9 Anteile.
79. **Stuttgart-Blauenren.** Stuttgarter Zementfabrik Blauenren, Filiale des Stuttgarter Immobilien- und Baugeschäfts, 11 Anteile.



80. **Alm a. D. C. Schwenk**, Portlandzementfabrik, 6 Anteile.  
 81. **Besfel**, Weßler Portlandzement- und Tonwerke, 4 Anteile.  
 82. **Wickede a. Ruhr**, Wickeder Werke und Portlandzementfabrik, G. m. b. H., Zentralbureau Dortmund, 2 Anteile.  
 83. **Wickendorf b. Schwerin i. M.** Portlandzementfabrik Wickendorf b. Schwerin, 1 Anteil.  
 84. **Wunstorf-Bahnhof**, Wunstorfer Portlandzementwerke, Aktiengesellschaft, 6 Anteile.  
 85. **Zollhaus (Bez. Wiesbaden)**, Portlandzement- und Tonwerk, Gewerkschaft „Nirke“, 3 Anteile.

Das vorstehende Verzeichnis der dem „Verein deutscher Portlandzementfabrikanten“ angehörenden Werke umfaßt etwa 90 Fabriken, von denen 8 im Auslande liegen. Die Gesamtjahresleistung der aufgeführten, im Deutschen Reiche liegenden Fabriken beträgt an Portlandzement 530 Anteile zu je 50.000 Normalfaß (das Normalfaß 170 kg Reingewicht), während der Verein im ganzen eine Jahresleistung von 568 Anteilen an Portlandzement aufzuweisen hat. Der Zement dieser Fabriken steht im In- und Ausland wegen seiner tadellosen Beschaffenheit, Gleichmäßigkeit und Preiswürdigkeit seit lange in ausgezeichnetem Ruf. Er hat nicht nur die englischen Zemente vom deutschen Markte fast vollständig verdrängt, sondern hat sich auch im europäischen und im außereuropäischen Auslande ein immer größeres Gebiet erobert.

In Österreich hat sich, infolge weit verbreiteten Vorkommens günstig zusammengesetzten Gesteines, besonders die Fabrikation von Romanzement an vielen Orten erfreulich entwickelt, während diejenige von Portlandzement gegenüber der deutschen den erzeugten Mengen nach weit zurücksteht. Die erste österreichische Portlandzementfabrik war die von Angelo Saullich in Perlmoos bei Kirchbichl in Tirol; sie ging später in den Besitz der Perlmooser Zementfabrik-Aktiengesellschaft über, welche das älteste jetzt bestehende Portlandzementfabrikunternehmen Österreichs ist.

In neuester Zeit, etwa seit 1890, ist die österreichische Portlandzementindustrie erheblich gewachsen, und es hat sich der „Verein der österreichischen Zementfabrikanten“ gebildet, welchem folgende Fabriken angehören:

Aktiengesellschaft der k. k. priv. hydraul. Kalk- und Portlandzementfabrik zu Perlmooß (vorm. Angelo Saullich) in Wien.

Gebr. Leube in Gartenau bei Salzburg.

Steinbrücker Zementfabrik in Steinbrück, Steiermark.

Portlandzementfabrik in Mariaschein, Böhmen.

Hartmann & Ko. in Leopoldstal, Salzburg.

Judendorfer Zementfabrik von Josef Priebisch & Sohn in Judendorf bei Graz.

Kadotiner Zementfabrik von Max Herget in Prag.

Böhmische Aktiengesellschaft zur Gewinnung und Verwertung von Baumaterial in Prag.

Kurowitzer Portland- und Romanzementfabrik Sr. Erz. des Grafen Karl Max Seilern & Ko. in Tlumatschau, Mähren.

Trifailer Kohlenwerks-Gesellschaft in Wien.

Osterreichische Portlandzementfabriks-Aktiengesellschaft in Szczałkowa, in Wien.

Egger & Lütthi in Auffslein, Tirol.

Portlandzementwerk Kirchdorf von Hofmann & Ko., Linz.

B. Liban & Ko. in Podgorze bei Krakau.

Portlandzementfabriks-Aktiengesellschaft in Lengensfeld in Krain.

Witersdorfer Portland- und Romanzementwerke von Ph. Knoch & Ko. in Magensfurt.

Portland- und Romanzementwerke Waldmühle, Aktiengesellschaft in Rodaun, in Wien.

Golleschauer Portlandzementfabrik in Golleschau, österr. Schlesien.

Sächsisch-böhmische Portlandzementfabriks-Aktiengesellschaft in Dresden (Fabrik in Tschischkowitz bei Lobositz).

Aktiengesellschaft zur Kalk- und Zementherzeugung in Prag.

Zamboni, Stock & Ko. in Spalato.

Max Reiche in Steinschal, Niederösterreich.

Gilardi & Battiza in Salona.

Portlandzementfabrik in Weißenegg bei Graz.

Portlandzementfabrik Frizzera bei Trient.

Portlandzementfabrik in Hodolein in Mähren.

Portlandzementfabrik in Putna, Bukowina.

Einige der österreichischen Portlandzementfabriken stellen sogenannten „Naturportlandzement“ her, indem sie günstig zusammengesetztes Gestein unmittelbar (selbstverständlich ebenfalls bis zur Sinterung) brennen. Es sind dies unter den oben genannten die Fabriken:

Gebr. Leube in Gartenau bei Salzburg,



Judendorfer Zementfabrik von Josef Priebich & Sohn in Judendorf bei Graz und außerhalb des Vereines ein größeres Werk in Spalato, sowie einige kleinere Werke im Süden der österreichischen Monarchie. Andere Werke, die früher ebenfalls Naturportlandzement herstellten, mußten später zum künstlichen Portlandzement übergehen, weil das zum ersteren geeignete Gestein aufgebraucht war.

Von den ungarischen Portlandzementfabriken sind hauptsächlich die „Beocsiner Zementfabriken-Union A. G.“ (bei Neusatz) mit einer Jahresleistung von 10.000 Waggons Portlandzement und die gräfl. Koonische Lábatlaner Portland- und Romanzementfabrik der „Vereinigte Ziegel- und Zementfabriks-A. G.“ in Budapest mit 7000 Waggons Portlandzement Jahresleistung zu nennen.

Ähnlich wie dies Vicat in Frankreich getan, hat Fuchs in Deutschland und in Österreich auf zahlreiche Mergellager aufmerksam gemacht, wie sie sich durch Hannover, Westfalen, Hessen, Thüringen, Württemberg, auf der langen Mergelkette der Alpen vom Bodensee durch Oberbayern, Tirol, Salzburg, Niederösterreich bis nach Ungarn ziehen. Seitdem werden diese Mergelkalle an verschiedenen Orten in ziemlich großen Mengen zu Wasserfalken verarbeitet, wie der Bielefelder Romanzement, derjenige aus der Porta Westphalica, der Ulmer und der bayerische Zement (Tegernsee, Wiesbach), der Ruffsteiner hydraulische Kalk (A. Saullich in Perlmoos bei Ruffstein) und andere ähnliche Erzeugnisse beweisen.

Diese Wasserfalken, von denen besonders der Romanzement eine Rolle spielt, stellen sich zwar billiger als Portlandzement, wechseln aber auch in ihrer Beschaffenheit bei weitem mehr, wie schon nach der Art ihrer Rohstoffe erwartet werden muß, und besitzen selbst im günstigsten Fall ein viel geringeres Erhärtungsvermögen als jener.

Die Zementwerke Frankreichs erzeugten nach G. Leduc<sup>1)</sup> im Jahre 1899 1 722 713 t<sup>2)</sup> hydraulische

1) G. Leduc, Chaux et Ciments (Paris Baillièrre et Fils 1902) S. 55—62.

2) t = Tonne zu 1000 kg.



Kalke und 1 144 271 t Zemente verschiedener Arten, unter letzteren ungefähr 550 000 t künstlich zusammengesetzten Portlandzement. Die Industrie der hydraulischen Kalke ist besonders stark vertreten in dem Departement Ardèche. Künstlich zusammengesetzten Portlandzement liefert in den größten Mengen das Departement Bas-de-Calais (386 000 t) und Naturportlandzement erzeugt hauptsächlich das Departement Sère (besonders die Société des ciments de la porte de France). Von den Fabriken für künstlich zusammengesetzten Portlandzement (ciment portland artificiel) sind hauptsächlich zu nennen: Die Werke der Société des ciments français in Boulogne-sur-Mer, Desvres (Bas-de-Calais), eines in der Gironde und in Guerville bei Mantes (Seine et Oise). Nahe letzterem Orte liegt in Dennemont die Fabrik der Société parisienne Candlot et Cie. Im Bas-de-Calais sind Hauptfabrikorte mit mehreren Portlandzementwerken: Desvres, Neuschâtel und Dannes.

Außerdem werden in Frankreich an Zementen noch hergestellt: der Grappierzement, ein Nebenerzeugnis der Herstellung von hydraulischem Kalk und der Schlackenzement. Auch wird Naturportlandzement mit Grappierzement gemischt.

Die Mengen von hydraulischem Kalk und von Naturportlandzement, welche Frankreich herstellt, scheinen größer zu sein als die irgend eines anderen Landes.

Die ziemlich zahlreichen Zementfabriken Rußlands sind am stärksten vertreten in Südrußland, Polen, Westrußland, bei Moskau und bei Riga. Die meisten der dortigen großen Fabriken stellen Portlandzement her, einige daneben noch bedeutende Mengen Romanzement.

Schließlich sei noch auf die Zementindustrie Englands und besonders auf die schon sehr bedeutende und schnell wachsende Zementindustrie der Vereinigten Staaten von Nordamerika hingewiesen.

Italien steht mit seiner Zementindustrie im allgemeinen noch weit zurück, obwohl die Rohstoffe dazu in großer Menge vorhanden sind. Indessen hat man dort seit Ende des vorigen Jahrhunderts einige ganz neuzeitliche Werke (z. B. in Civitavecchia) gebaut.

In fast allen diesen Ländern beruht heutzutage die Bedeutung der Zementindustrie hauptsächlich auf dem Portlandzement. Dieser wird wegen der bedeutenden Festigkeit, die er dem Mörtel verleiht, und wegen seiner Zuverlässigkeit, zu den größeren Wasserbauten, wie Schiffahrtskanäle und Häfen im Binnenlande und am Meere, Brücken, Abwasserkanäle u. dgl. und zu vielen anderen größeren Bauwerken, z. B. Festungen, mit Vorliebe verwendet. Der Staat hat also ein erhebliches Interesse an der Gewährleistung der stets sachgemäßen Herstellung dieses Mörtelstoffes. Es ist daher sehr dankenswert, daß der „Verein deutscher Portlandzementfabrikanten“ in dem Wunsche, das Vertrauen der Öffentlichkeit auf die Zuverlässigkeit des Portlandzementes zu erhalten, schon frühzeitig die Forderungen feststellte, denen der Portlandzement genügen muß, daß ferner der Verein das Prüfungsverfahren schuf, und daß er auch die Erfüllung der notwendigen Forderungen überwacht. Außerdem noch gibt er durch seine alljährlichen Versammlungen in Berlin Gelegenheit und wirksame Anregung zur Erörterung aller den Portlandzement betreffenden Fragen, wobei neben der Herstellung des Portlandzementes und seiner Untersuchung besonders auch seine wissenschaftliche Erforschung weitgehende Berücksichtigung findet.

Nachdem oben schon die Verdienste von Vicat und Fuchs hervorgehoben worden sind, mögen hier noch einige andere Namen Platz finden, die mit der Entwicklung der Zementindustrie für immer verbunden bleiben und auf welche wir in den weiteren Ausführungen noch zurückkommen werden; es sind dies die Namen: Pettenkofer, Kuhlmann, Winkler, Feichtinger, Manger, Ziurek, Bleibtreu, Schulatschenko, W. Michaëlis, Fr. Schott, Erdmenger und Dyckerhoff.

---



#### IV.

### Die Puzzolanen.

Die Auswurfstoffe der Vulkane waren früher, als die jetzt längst erloschenen Vulkane noch tätig waren, und sind noch heute: einesteils die in breiten Strömen ausfließende unzersetzte eigentliche Lava, anderenteils durch Dämpfe von hoher Spannung herausgeschleuderte und hierbei durch die Dämpfe teilweise oder vollständig zersetzte Lava, „vulkanischer Schutt“ genannt. Bei dem letzteren unterscheidet man je nach der Größe der Stücke oder Stückchen, aus welchen er besteht: Blöcke von mehreren Fuß Durchmesser, Bomben, Lapilli, Sand, Asche, und außerdem Bimsstein, sowohl in Gestalt von Gerölle als in Gestalt von Sand. Die größeren Stücke sind nur außen zersetzt; die kleinen Stücke, der Sand und die Asche, sowie der Bimsstein sind völlig zersetzte Lava. Es besteht die Annahme, daß diese feinzerteilten Lavamassen dadurch hydraulisch geworden sind, daß sie noch während des Niederfallens durch Regengüsse, wie sie bei Vulkanausbrüchen oft eintreten, „abgeschreckt“ wurden.

Diese aus den Vulkanen herausgeschleuderten, mehr oder weniger zersetzten Massen wurden durch das Wasser zusammengeschwemmt und verdichteten sich durch Druck allmählich zu den geschichteten Trümmergesteinen, die wir „Tuffe“ nennen. Ganz besonders verkittend wirkten hierbei die durch ihre feine Zerteilung dem Angriffe des Wassers am meisten ausgesetzten Auswürflinge: die Asche und der vulkanische Sand. Unter den Tuffen unterscheidet man verschiedene Arten, die meist mit Feldspatkrystallen (Sanidin und Oligoklas) und den Krystallen anderer Silikate durchsetzt sind, so hauptsächlich: Porphyrtuff, Grünsteintuff oder



Diabastuff, Trachyttuff und Phonolithtuff, Bimssteintuff und Basalttuff.

Von diesen Gesteinsarten, die äußerlich sehr verschiedene Beschaffenheit haben, interessieren uns hier hauptsächlich die Bimssteintuffe, zu denen der Traß, die Puzzolane und wohl auch die Santorinerde gehören. Sie bestehen im wesentlichen aus zermaltem und durch das Wasser veränderten Bimsstein mit Bruchstücken von Bimsstein und Trachyt, sowie mit Kristallen von Sanidin und anderen Silikaten und mit Glimmerblättchen.

Fundorte der Bimssteintuffe sind in der Eifel am Saarer See, auch bei Neuwied (Engers, Bendorf), in Italien die phleggräischen Felder westlich von Neapel, die Umgebung des Vesuv und die Insel Ischia, in Ungarn die Gegend von Schemnitz und Neusohl und im griechischen Meere die Insel Santorin.

Diese Bimssteintuffe sind Tonerdesilikate, welche die Kieselsäure im aufgeschlossenen Zustande enthalten. Sie bestehen in der Hauptsache aus Verbindungen der Kieselsäure mit Tonerde und enthalten noch geringe Mengen von Kalk, Bittererde, Eisenoxyd und Alkalien. Weil sie die Kieselsäure bereits im verbindungs-fähigen Zustande enthalte, so besitzen sie die Eigenschaft, durch innige Vermengung mit Kalkhydrat einen in Wasser erhärtenden Mörtelstoff zu liefern. Aus gewöhnlichem gelöschtem Kalk kann also durch Zusatz solcher natürlicher gepulverter Silikate ein Zement hergestellt werden. Da die Wirkung der genannten hydraulisch machenden Stoffe, die man nach der Puzzolane zusammenfassend als „die Puzzolanen“ bezeichnet, von der löslichen Kieselsäure ausgeht, so ist sie um so stärker, je mehr lösliche Kieselsäure die verwendete Puzzolaneart enthält.

Obwohl die Ausbreitung der Portlandzementfabrikation längst eine derartige ist, daß ihr gegenüber die Benützung von Traß, Santorinerde und Puzzolane in alleiniger Mischung mit Kalk, weit in den Hintergrund tritt, müssen wir doch auf die Puzzolanen wegen ihrer örtlichen Bedeutung noch näher eingehen, und auch deswegen, weil sie

in neuerer Zeit mit gutem Erfolg als Zusatz zu Portlandzement-Kalk-Mörteln dienen.

### Die Puzzolane.

Die Puzzolane ist, wie die schon vorgenannten ihr verwandten Stoffe, vulkanischer Auswurfstoff, der vom Wasser zusammengeschwemmt wurde und hierbei Lager bildete. Sie ist ein Tuff von aschgrauer, auch gelblichbrauner Farbe, leicht zerreiblich, im Bruche theils feinkörnig und eben, theils erdig, glanzlos.

Die Puzzolane tritt an der südwestlichen Seite der Apenninenkette in einer fortlaufenden Reihe von Hügeln auf, die sich in der Gegend von Rom bis gegen die pontinischen Sümpfe und gegen Viterbo und Bolsena erstrecken; ebenso bei Neapel bei dem Orte Buzzuoli, dem Puteoli der Alten, wovon sie ihren Namen trägt. Auf sie bezieht sich die oben gegebene Äußerung Vitruvs<sup>1)</sup>. In der Neapeler Gegend nennt man sie auch Pausilipptuff.

Die Puzzolane fand bereits im Altertum bei den Römern die ausgedehnteste Verwendung zur Mörtelbereitung, wie wir namentlich durch Plinius und Vitruvius wissen. Puzzolanemörtel wurden sowohl bei Luft- als auch bei Wasserbauten benutzt, wie uns die vor etwa 2000 Jahren gebaute appische Straße und die Hafendämme von Buzzuoli beweisen.

Und in der neueren Zeit wurde die Puzzolane nicht nur zu den Wasserbauten an den Küsten Italiens benützt, sondern sie diente vielfach auch zu denjenigen in Frankreich und England. Bei dem Bau der Istrianer Bahn z. B. wurde sie mit Fettkalk vermischt verarbeitet und lieferte einen sehr befriedigenden Mörtel<sup>2)</sup>; ebenso bewährte sie sich bei den Istrianer Wasserversorgungsbauten. Das beste Ergebnis lieferte die Mischung von 1 Teil Kalk mit 3 Theilen Puzzolane.

1) Siehe Seite 22.

2) Wochenschr. des österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1883, S. 217.

Über ihre Zusammensetzung geben nachstehende Analysen ein Bild. Nr. 1, Puzzolane von St. Paul bei Rom nach Berthier; Nr. 2 von Neapel nach Rivot; Nr. 3 von Pausilipp, gelb, nach Abich; Nr. 4 von San Paolo nach Demarchi und Fodera:

	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4
Kieselsäure . . . . .	44·5	52·2	52·80	47·66
Tonerde . . . . .	15·0	17·8	15·83	14·33
Eisen-(Mangan-)oxyd .	12·0	6·3	7·57	10·33
Kalk . . . . .	8·8	9·2	3·13	7·66
Magnesia . . . . .	4·7	0·9	0·84	3·86
Nali . . . . .	1·4	} 2·6	7·66	} 4·13
Natron . . . . .	4·1		2·90	
Chlor . . . . .	—	—	0·15	
Wasser . . . . .	9·2	10·2	9·26	7·03
Sand . . . . .	—	—	—	5·0

Nach Faujas de St. Fond sind folgende Arten Puzzolane zu unterscheiden:

1. Basaltartige, aus Lava und Basalt bestehend, dicht und bröcklig;
2. lavaartige, welche schwammig, porös und leicht zerreiblich ist und am häufigsten angetroffen wird;
3. bimssteinartige, seltener auftretend, vom Bimsstein herstammend;
4. tonige, in erloschenen Kratern angetroffen, aus rötlicher bis gelbgrauer, dichter, weicher Masse bestehend;
5. gemischte, durch Fortschwemmung aus den genannten Arten entstanden.

### Der Traß.

Der Traß, Luffstein oder Dackstein tritt an den östlichen Abhängen der Eifel in der Nähe des Laacher Sees auf, und zwar namentlich im Brohltal und im Nettetal, zwei linken Seitentälern des Rheines, in der Nähe der Städte Andernach und Neuwied. Er ist ein Erzeugnis der längst erloschenen Eifelvulkane, deren staubförmige Auswurfmassen jene Gegenden überdeckten und durch Wasser und Druck in



Zahrtausende langer Lagerung zu den unteren, gegenwärtig festen Gesteinschichten erhärteten. Infolge dieser Lagerung trifft man zu unterst die den frühesten Ausbrüchen entstammenden, festesten, darüber die jüngeren, weniger festen Traßschichten an; zu oberst lagert lose vulkanische Asche von Ackererde überdeckt. Die Mächtigkeit sämtlicher Schichten wechselt mit den Geländestufen und steigt im Brohltal bis 10 Meter und darüber<sup>1)</sup>. Die unterste älteste Schicht zeigt etwa die Härte eines gut gebrannten Ziegels mit scharfkantigem Bruch, ist porös, gelblichgrau bis graublau gefärbt. Sie führt den Namen echter Traß, gibt gemahlen ein graues, sich scharf anführendes Pulver und wird am meisten geschätzt.

Der jüngere, von den späteren Ausbrüchen herstammende Tuffstein wird in Brohl Knuppen, in Andernach Tauch genannt. Er besitzt ungefähr die Härte der Kreide, bricht rundlich, ist nicht porös wie der echte und ist mit Bimsstein und Tonschiefer vermengt.

Die jüngste oberste Schicht endlich besteht aus vulkanischer Asche und heißt wilder Traß; sie stellt ein lockeres, weißgraues Pulver dar, das weit geringeren Wert hat als die vorgenannten Schichten.

Wie oben schon betont, diente der Traß, mit gelöschtem Kalk vermischt, bereits den Römern zu ihren Bauten und wurde ebenso am Rhein, in Holland und im 18. Jahrhundert auch in England neben der Puzzolane zu hydraulischem Mörtel für den Wasserbau benutzt. Damals wurde er durch unterirdischen Abbau gewonnen, gegenwärtig gewinnt man ihn durch Tagebau.

Das Nettetäl hat die Gestalt einer breiten Mulde mit schwachem Gefälle; das Brohltal und das in dieses ausmündende Tönnissteinertal dagegen sind bis zu 60 Meter tief eingeschnittene, schmale, stark abfallende Gebirgstäler. Der feste Tuffstein setzt ungefähr in der Höhe der Talsohlen an; die mächtigen Schichtungen des Brohltales gestatten das Abräumen des wilden Trasses nicht; daher erfolgt hier

1) Löhmann, rheinischer Traß. D. Bauztg. 1878, S. 54.

nur ein Anarbeiten der Talwände. Die unmittelbar an der Talsohle anstehenden Tuffwände sind aber meistens soweit ausgebeutet, als sie bequem erreichbar waren; daher muß man gegenwärtig große Massen wilden Trasses mit bewältigen, um echten Traß in größeren Mengen fördern zu können. Die Arbeit ist umständlich und kostspielig und auch der Grund, warum die heutige Betriebsleistung im ganzen gering ist. Die Traßgewinnung erfolgt im Brohltal auf einer größeren Zahl zerstreuter Arbeitsstätten, auf einzelnen Terrassen mit wenigen Arbeitern, welche unten die Knuppen, bzw. die ohne zu großen Wasserandrang zu erreichenden festen Tuffsteine lösen, weiter oben aber die vulkanische Asche mit Harten abtragen und ins Tal hinabrieseln lassen, wo sie gesammelt, getrocknet und gesiebt wird.

Die festen Tuffstücke und Knuppen zerkleinert man auf durch Wasser getriebenen Stampfern und Mahlgängen, deren 8 bis 10 im Betriebe stehen.

Im flachen Nettetel, bei den Orten Blaidt, Krust und Areg, wo weniger Abraummassen zu bewältigen sind, ist die volle Ausbeute des 5 bis 12 Meter mächtigen Tufflagers möglich, sobald erst der wilde Traß über dem Bruch auf größerer Fläche beseitigt ist. Trotzdem verursacht das Abräumen große Kosten, so daß daselbst nur sechs Gruben in lebhaftem Betriebe stehen. Der Tuffstein wird durch Sprengarbeit in etwa 10 kg schweren Stücken gebrochen, nach oben gefördert und in langen Haufen zum Trocknen aufgesetzt.

Hierauf versendet man einen Teil der Stücke mittelst Fuhrwerk nach Andernach und von dort weiter mit Bahn oder Schiff. Das übrige gelangt in die Mühlen, von denen in Andernach eine, im Nettetel drei bedeutende von zusammen 200 Pferdekraft und mit 24 Mahlgängen gehen. Dort werden die Tuffsteinstücke in Steinbrechern zerkleinert, dann auf Mahl- oder Kollergängen (siehe unten) gemahlen und wird schließlich das Mehl durch Trommelsiebe gesiebt. Man gewinnt angeblich in elfstündigem Tagesbetriebe mit einem Mahl- oder Kollergang und 8 bis 10 Pferdekraft gewöhnlich 13 Tonnen Traßmehl.

Die chemische Zusammensetzung des Trasses zeigen folgende



Analysen Nr. 1 von Berthier, Nr. 2 und 3 von Rivot und Nr. 4 von Elsner:

	Nr. 1	Nr. 2	Nr. 3	Nr. 4
Kieselsäure	57.0	57.5	54.0	48.94
Tonerde	16.0	10.1	16.5	18.93
Eisen-(Mangan-)Oxyd	5.0	3.9	6.1	12.34
Kalk	2.6	7.2	4.0	5.41
Magnesia	1.0	1.1	0.7	2.42
Kali	7.0	} 6.4	} 1.0	0.37
Natron	1.0			3.56
Wasser	9.6	—	—	7.65

Versuche von Berthier und Fuchs zeigten, daß, bei Vermischen von Traß mit fettem Kalk und Wasser, sowohl die aufgeschlossene Kieselsäure als auch die Tonerde mit dem Kalk Verbindungen eingehen, nämlich kiesel-sauren Kalk und Tonerdekalk unter Aufnahme von Wasser bilden.

Der rheinische Traß besitzt also die Bestandteile des Zementes, nur ist sein Kalkgehalt sehr geringfügig. Den Kalk setzt man ihm nun als Kalkhydrat bei der Mörtelbereitung zu. Hierbei ist Kalkteig dem lediglich zu Staub gelöschten Kalk (Staubkalk) vorzuziehen, weil im ersteren weniger leicht noch ungelöschte Teile verblieben sein können. Einen guten Traßmörtel erhält man durch Mischen von:

2 Raumteilen Traß mit 1 Raumteil Fettkalk oder  
1 Raumteil " " 1 " " Wasserkalk.

Die unter anderem " bei " dem Bau der Harburger Hafenschleuse 1877 aus den Andernacher Gruben bezogenen etwa 2000 t Traß, mußten bei Druckproben mit Würfeln von 10 cm Seite, die aus einer Mischung von 2 Raumteilen Traß mit 1 Raumteil Fettkalk hergestellt waren, nach 40 tägiger Erhärtung (1 Tag in Luft, 39 Tage in Wasser bei 20° C) 1700 kg Druckfestigkeit aufweisen, also 17 kg für den cm<sup>2</sup>.

Im September 1900 hat der „Deutsche Verband für die Materialprüfungen der Technik“ auf seiner Versammlung zu Rüdelsheim Normen für die Prüfung von Traß aufgestellt<sup>1)</sup>.

Das sogenannte Ries oder der Riesgau bei Nörd-

<sup>1)</sup> Wortlaut derselben siehe: Hambloch, Traß (Selbstverlag, Andernach).



lingen in Bayern wird von Hügeln umgrenzt, welche neben Süßwasserkalk ebenfalls einen Tuffstein enthalten, der Traß liefert. Dieser Tuffstein wird in dortiger Gegend noch häufig als Baustein benutzt, wurde aber in früherer Zeit gemahlen und diente in Mischung mit Kalkbrei zur Bereitung von Wassermörtel. Indessen handelt es sich hier um einen Tuffstein und einen Traß, die von dem rheinischen Vorkommen und auch von den anderen bekannten Puzzolanen durchaus verschieden sind. Feichtinger<sup>1)</sup> untersuchte das Vorkommen im Riesgau näher. Er beobachtete, nach Anmachen mit Kalkbrei, unter Wasser eine gute Erhärtung. Analysen von C. Köthe und von Feichtinger ergaben eine sehr wechselnde Zusammensetzung, welche die Verwendung dieses Trasses erheblich beeinträchtigt, und ein eigenartiges Verhalten. Bei Behandlung mit Salzsäure zeigt sich keine Ausscheidung von Kieselsäure; aber nach dieser Behandlung ist ein nicht unerheblicher Teil der Kieselsäure in verdünnter Kalilauge löslich.

### Die Santorinerde.

Die Santorinerde findet sich auf der im griechischen Meer gelegenen Vulkaninsel Santorin, die aus den Inseln Thera und Therasia sowie einigen kleineren besteht. Sie ist das Erzeugnis früherer vulkanischer Tätigkeit. Sie wird besonders hoch geschätzt und in Mischung mit Kalkbrei bei Wasserbauten gebraucht. Zu diesem Zweck wird sie bis nach Dalmatien, sowie nach Fiume, Triest und Venedig ausgeführt.

In ihrem Aussehen ist sie dem Traß sehr ähnlich. Von ihm und von der Puzzolane unterscheidet sie sich durch ihren bedeutenden Gehalt an Kieselerde. Nach Feichtinger<sup>2)</sup> enthält sie 20·3% das ist beinahe ein Drittel ihres ganzen Kieselerdegehaltes in Gestalt amorpher, in verdünnter Kalilauge löslicher Kieselerde; eine kleine Menge, 5·1% Kieselerde ist als Bestandteil von Silikaten vorhanden, welche durch Salzsäure zersetzbar sind. Durch

<sup>1)</sup> Bayr. Jnd. u. Gewbl. 1872, S. 14.

<sup>2)</sup> Dingl. Journ. 1870, S. 146 u. 197.

konzentrierte Salzsäure wird daher keine merkliche Menge Kieselgallerte ausgeschieden. Die amorphe Kiesel-erde gibt der Santorinerde ihre Wassererhärtungsfähigkeit (Hydraulizität); sie ist es, die mit Kalk unter Wasser sich verbindet und dem Mörtel die Härte des Portlandzementes verleiht; wird ihr die amorphe Kiesel-erde entzogen, so vermag die Santorinerde keine Erhärtungsfähigkeit mehr zu erteilen<sup>1)</sup>.

Über die chemische Zusammensetzung der Santorinerde, verglichen mit derjenigen des Trasses aus dem Ries, belehrt folgende Tafel:

Santorinerde — wirksamer Teil	Traß aus dem Ries	
	bei Mauern	bei Christgarten
Kiesel-erde . . . . . Spur	15.52	8.88
Tonerde . . . . . 1.31	5.95	5.48
Eisenoxyd . . . . . 0.54	4.66	3.55
Kalk . . . . . 0.84	2.98	2.16
Magnesia . . . . . 0.48	1.20	1.32
In Chlornasserstoffsäure löslich 3.17	30.31	21.39
Kiesel-erde . . . . . 71.44	49.45	59.85
Tonerde . . . . . 8.56	7.46	8.45
Eisenoxyd . . . . . 3.30	1.10	2.95
Kalk . . . . . 1.80	1.71	1.78
Magnesia . . . . . 1.36	0.88	0.95
Kali . . . . . 1.86	2.91	1.82
Natron . . . . . 3.74	0.35	0.34
In Chlornasserstoff. unlöslich 92.06	63.95	76.14
Glühverlust . . . . . 4.61	5.66	2.59
	99.84	100.12
Kiesel-erde in Kalilauge löslich . . . . . 28.4	2.18	2.57
Kiesel-erde nach Behandlung m. Chlornasserstoff. in Kalilauge löslich . . . . . —	13.22	6.13

Nach E. J. Heider<sup>2)</sup> kann man die Santorinerde durch Schlämmen in drei Massen trennen: 1. etwa  $\frac{1}{5}$  Bims-

<sup>1)</sup> Dingl. Journ. 1870, S. 146 u. 197.

<sup>2)</sup> Bau d. verein. Slip- u. Trocken-Docks im neuen Arsenal d. österr. Lloyd in Triest.

stein; 2.  $\frac{3}{5}$  eigentliche Santorinerde als lichtgraues Pulver; 3.  $\frac{1}{5}$  scharfkantiger, verschieden gefärbter Sand, der hauptsächlich aus Obsidian besteht. Nr. 2 zeigt namentlich die Eigenschaft der Wassererhärtung. Nach Heider ist die Santorinerde als ein Gemenge von Zement und Sand zu betrachten. Der Kalkzusatz zur Santorinerde wird nach dem größeren oder geringeren Gehalt an dem wirksamen Teile zu bemessen sein.

Die Verbindung von Kieselsäure und Kalk unter Wasser erfolgt nur langsam, die Erhärtung tritt nur unter Wasser ein, nicht in der Luft, wie bereits Elsner gefunden und auch Feichtinger bestätigt. An der Luft wird der mit der Kieselsäure vermengte Kalk durch die Kohlenäure in kohlen-säuren Kalk übergeführt; der Mörtel wird bröckelig und leicht zerreiblich.

Von in verdünnter Kalilauge löslicher Kieselsäure wurden folgende Mengen gefunden:

I. 5.2%; II. 28.4%; III. 3.4%.

Für Wasserbauten an der See verwendet man Mörtel-mischungen aus:

11 Teilen Santorinerde mit 1 Teil Sand und  
4 Teilen mit Meerwasser gelöschtem Kalk.

Die oben genannten drei Bestandteile der Santorinerde zeigten folgende chemische Zusammensetzung:

	I.	II.	III.
	Bimsstein.	Feinere Teile	Größere Stücke
In Salzsäure löslich	Kalkerde . . . 0.40	0.84	0.68
	Magnesia . . . 0.25	0.48	0.35
	Eisenoxyd . . . 0.28	0.54	1.86
	Tonerde . . . 0.75	1.31	1.64
	Kieselsäure. Spur	Spur	Spur
In Salzsäure unlöslich	Kieselsäure. 72.84	71.44	63.07
	Kalk . . . . . 2.15	1.80	3.15
	Magnesia . . . 1.33	1.36	1.58
	Tonerde . . . 11.51	8.56	14.03
	Eisenoxyd . . . 4.07	3.30	6.87
	Kali . . . . . 1.28	1.86	1.87
	Natron . . . . 2.65	3.74	3.86
Wasser . . . . . 2.25	4.61	1.14	
	99.76	99.84	100.10



### Künstlich hergestellte Puzzolanen.

Auch gewisse in Fabriken als Nebenerzeugnisse gewonnene Stoffe liefern durch Mischen mit Kalkbrei Wassermörtel (hydraulischen Mörtel). Besonders tun dies die Eisenhochofenschlacken, wenn sie rasch erstarrt sind. Man bewirkt ihr rasches Erstarren durch Einlaufenlassen der glutflüssigen Schlacke in fortwährend frisch zulaufendes, kaltes Wasser, wobei die Schlacke in himmelsteinartig porösen Stücken erhalten wird. Durch dieses „Abstrecken“ wird in ähnlicher Weise, wie es bei den später zu Tuffstein gewordenen Vulkanauswürflingen der Fall war, die Bildung schwer löslicher Silikate verhindert. Daher kommt es, daß die Salzsäure aus der „granulierten“ (geföhrnten) Schlacke Kieselsäure ausscheidet. Da indessen die Wirkung dieser Schlacke gegen diejenige der anderen Puzzolanen oft zurücksteht, hat sie eine gleichartige selbständige Verwendung nur in geringerer Ausdehnung gefunden und zwar beim „Steinjchen Zement“<sup>1)</sup>, der durch Vermischen von getrockneter, gemahlener granulierter Hochofenschlacke mit zu Staub gelöschtem Kalk hergestellt wird. Dem Portlandzementmörtel mengt man die Hochofenschlacke nicht zu, wie es mit dem Traß geschieht. Aber als Gemengteil des „Eisenportlandzementes“, der davon 30 a. H. des in ihm als Grundbestandteil enthaltenen (aus Schlacke und Kalkstein hergestellten) Portlandzementes besitzt, wird die Hochofenschlacke in großen Mengen verbraucht. Allein in Deutschland werden jetzt annähernd 300 000 t Schlacken zu Eisenportlandzement und Schlackenzement verarbeitet.

1) So benannt nach dem Fabrikanten Stein in Wehlar.

## Die Wasserkalke (hydraulischen Kalke) und der Portlandzement.

### Die Rohstoffe (Kalkstein und Ton) nach Vorkommen und Zusammensetzung.

Die Rohstoffe für die Herstellung aller wichtigeren Zemente (lösliche Wasserkalke, Romanzemente, Portlandzemente) sind also Gemische von kohlenjäurem Kalk (Kalkstein) und Ton. Diese werden entweder in den passenden Mischungsverhältnissen in der Natur fertig vorgefunden und bedürfen dann bei geeigneter Stückgröße nur des Trocknens und des Brennens; oder sie werden aus mehlfein gemahlenem Kalkstein und Ton künstlich hergestellt. Wir werden zunächst das Vorkommen dieser Rohstoffe zwischen den verschiedenen Erdschichten und ihre Verbreitung in Europa betrachten.

### Der Kalkstein.

Zur Herstellung von Zementen — entweder des einen oder des anderen — können alle Arten von Kalkstein (kohlenjäurer Kalk) benutzt werden. Da jedoch der dichte, feste Kalkstein einen großen Kraftaufwand bei der Zerkleinerung und sehr viel Brennstoff erfordert, so verwendet man hauptsächlich die leicht zerreiblichen Kalksteinarten: Den Mergel, die Kreide und den Süßwasserkalkstein (Wiesenkalkstein). Wir berücksichtigen im folgenden aber nicht bloß diese Kalksteinarten, sondern auch alle anderen, welche für die Herstellung hydraulischer Kalke und Portlandzemente überhaupt in Betracht kommen.

In den älteren Formationen liegen Kalkstein- und Ton-schichten meistens voneinander getrennt und scharf abgegrenzt. Hierher gehören die sogenannten Urkalksteinarten (Marmor), welche für die Zementherstellung unwichtig sind. Erst in der Trias und in der Kreide treten hierfür geeignetere Ablagerungen auf. In den Tertiärgebilden sind die Ton- und Kalksteinschichten wieder scharfer voneinander abgegrenzt und auf bestimmte Gebiete beschränkt. Im Alluvium kommen nur der Kalktuff und Wiesenkalk in Betracht. Im Devon lagern an einzelnen Stellen, mit Kalkstein wechselnd, mergelige Gebilde von grauer bis grünlicher Farbe. Häufig gehen sie hier in einen von welligen oder faserigen Schieferlamellen durchzogenen Schieferkalkstein über, der zoll- bis fußgroße Platten, Nieren und Knollen bildet, von Ton-schiefermassen umschlossen. In einzelnen Gebieten, wie z. B. in Westfalen und Rheinland, ist dieser Schieferkalkstein bekannt als Kramenzelstein, das ist Ameisenstein, weil sich in den durch Auslösen der Kalknieren entstehenden Löchern gern Ameisen (Kramenzel) ansiedeln. Der devonischen Formation gehören auch die häufigen mergeligen Gebilde des zwölf Meilen langen kohlenreichen Kalksteinzuges von Düsseldorf über Elberfeld, Herlohn bis nach Allendorf an. Endlich gehen diese mergeligen Kalksteine in den devonischen Gebieten des Lahntales und der Eifel nicht selten in Dolomit über.

Zu den bunten Mergeln der Trias gehören die in der Buntsandsteinformation und im Keuper in noch größerer Ausdehnung auftretenden Tonmergel, welche mit Säuren nur wenig aufbrausen und die nicht selten in grün- bis blaugraue Schiefertone oder in gelb und rotbraun gefärbte Dolomitmergel übergehen.

Noch wichtiger ist der Muschelkalk der Trias<sup>1)</sup>, der vorherrschend aus einem marinen Kalksteine, aus Mergeln und Dolomiten gebildet wird. Die Arten dieser Kalksteine sind sehr zahlreich; sie werden in ihren deutschen

1) Über Kalklager vergl. Zwick, Kalk und Luftmörtel.



Vorkommnissen unterschieden als Wellenkalk und Schaumkalk.

Die Muschellalkformation breitet sich besonders entwickelt aus in:

Oberschlesien: Zwischen Oder und Malapanne über Tarnowitz bis Krakau, und andererseits bis Bunzlau.

Provinz Brandenburg: Rüdersdorf bei Berlin.

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

Thüringen: Bei Halle, über Merseburg bis Gotha, Erfurt, Eisenach.

Süddeutschland: Vom roten Main bis Schweinfurt, südlich über Würzburg in das Gebiet von Jaxt und Roher, und zu den 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 faßt man häufig zusammen unter dem Sammelbegriff Alpenkalk. Diese sind, wie nach ihrer Entstehung und Lagerung nicht anders zu erwarten, in ihrer Zusammensetzung ungemein verschieden, selten rein, meistens mit Ton, Magnesia, Kiesel, Eisenverbindungen usw. vermischt und haben die verschiedensten Färbungen. Diese Alpenkalk verbreiten sich in außerordentlichen Massen von der Schweiz bis östlich an die Donau hin, zu beiden Seiten um die Zentralstöcke des Alpenmassivs und bieten oft wilde, zerklüftete Formen. Ihre Ausnützung zu Bausteinen, Fußsteig-, Tisch-, Bekleidungsplatten, Kaminen, Futtertrögen, Wasserbehältern usw., ebenso diejenige eingelagerter Marmorarten (Füßen, Tegernsee, Untersberg), diejenige der gewöhnlicheren Sorten zum Kalkbrennen und in Tirol, Salzburg und Oberbayern zur Zementfabrikation, ist in den verschiedenen Ländern eine ungemein große. Hierher gehören die sog. Werfener Schichten (Guttenberger Kalk) in Salzburg und im nördlichen Tirol, die Campilerschichten und Virgloria-

falle in Südtirol, die Kephelopodenfalle (Partnachschichten) in Nordtirol, Bayern und Salzburg, die Arlbergfalle in Vorarlberg, die Wettersteinfalle, Halltatterfalle, Dachsteinfalle u. a.

Im Juragebiete treten auf, und zwar im Bias (sprich Liass von layers = plattenförmige Gesteinschichten), die versteinungsreichen plattenförmigen Kalkmergel, tonigen Kalksteine, bituminösen Kalksteine und Stinkfalle, die man insgesamt Liassfalle nennt, und welche sich durch eine sehr große Anzahl in vielen Arten auftretender Versteinungen auszeichnen. Sie sind verbreitet in den nördlichen Kalkalpen, und zwar inselartig im Gebiete des Lech, der Isar, Saale, 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 gegen Metz hin, südlich von Lyon um die Sevennen. In England von der Südküste nordwärts bis Yorkshire und Lincolnshire.

Im mittleren und südwestlichen Deutschland tritt über 300 Meter mächtig auf, und zwar im schwäbischen und fränkischen Jura: Kalkstein, Kalkmergel und Dolomit. Der Kalkstein ist teils dicht, teils wenig kristallinisch; teils reiner kohlen-saurer Kalk, teils von Kieselsäure und organischen Stoffen durchsetzt. Ist er von Bitumen frei, so zeigt er weiße, gelbliche, grau- bis rötlichweiße Farbe, ist oft bunt geadert, geschichtet oder ungeschichtet. Ist er plattenförmig geschichtet, gleichmäßig dicht, gelblichweiß gefärbt, so geht er in Plattenkalkstein (lithographischen Stein) über. Der Dolomit zeigt sich zerrissen und zerklüftet und wird von Höhlen durchzogen (fränkischer Jura: Muggendorfer Tropfsteinhöhle).

In Deutschland ist der weiße Jura 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.

In der Schweiz lagert er mächtig entwickelt im Jura-gebirge. Außerdem findet er sich in Mittelfrankreich.

Der braune Jura tritt in den bayerischen Alpen im Kalkstein von Bils bei Füssen und Haselberg und Westernberg bei Kupolding, in den österreichischen im Kalkstein vom Guntstberge und von der Klausalpe bei Hallstadt auf; in Deutschland schließt er den ganzen westlichen Rand der rauhen Alp ein.

Unter den Kalksteinen der Kreideseformation sind zu unterscheiden die eigentlichen Kreidekalksteine und die Kreide.

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

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

Die weiße Schreidekreide — in ihren Eigenschaften bekannt — tritt großartig auf an der 130 Meter hohen, fast senkrecht abfallenden Stubbenkammer auf Rügen. Die Korallenkreide besteht aus kleinen Korallentrümmern, die durch Kreidemasse verkittet sind; sie ist mürbe bis erdig und wird in Sütland, Jünen, Seeland, Rügen gefunden. Die Tuffkreide ist ein gelblicher, weicher, schneidbarer Kalk, der aus zerkleinerten Überresten verschiedener Kreidetiere besteht und im Petersberge bei Maastricht in einer 30 Meter großen Mächtigkeit auftritt.

In der Kreide treten auf: der Flint- oder Feuerstein — Knollen, die aus amorpher Kieselsäure, aus verkieselten Organismenresten bestehen.

Unter den Kreidegebieten sind zu nennen:

1. Das norddeutsche Kreidegebiet, welches sich auf 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 Genfer See bis Wien reichend, die Turagebiete umsäumend, das hier und da inselförmig zutage kommt.

3. Das nordfranzösisch-englische Kreidegebiet, ausgezeichnet durch seine großen Lager von Schreibkreide, durchzieht Nordfrankreich, geht durch den Kanal von Calais nach Südenland und kommt ebenso nordöstlich an den Westküsten Belgiens und Hollands wieder zum Vorschein.

4. Das südwestliche französische Kreidegebiet in der Gegend der Garonne.

In der Tertiärzeit hatten sich bereits beträchtliche Länderstrecken der Gegenwart über den Meeresspiegel erhoben, z. B. die von England in Verbindung mit Frankreich und Mitteleuropa. Innerhalb dieser Länder waren zahlreiche Wasserbecken zurückgeblieben, Binnenmeere, von Strömen durchflossen. So das Becken von Südenland, welches gegenwärtig das Themse- oder Londoner Becken darstellt, das der Loire und Seine, das gegenwärtige Pariser Becken, eine Reihe kleinerer Becken am Niederrhein und Main, wie das Mainzer Becken usw. In diesen wurden zahlreiche Sedimente abgelagert, darunter auch Kalksteine, die sich bald fein-, bald grobkörnig, bald dicht, bald porös, erdig, sandig usw. darstellen. Unter ihnen nennen wir: die verschieden gefärbten Nummulitenkalksteine mit ihren münzenförmigen (daher Nummuliten) Abdrücken, meistens dicht, grau, gelb bis braun gefärbt, nicht selten in Nummulitentonkalkstein und Mergel übergehend. Ferner die Nummulitenkalksteine mit Braunkohle, die bei Haring in Tirol von dem unteren Keuperkalksteine und dem Buntsandstein des Innthales umschlossen sind und zwischen Ruffstein und Rattenberg ein länglichrundes Becken ausfüllen. Nach Gumbel lagert über dem Keuperkalk zunächst ein mächtiges Kohlenflöz mit Zwischenlagen von Brandschiefer

und bituminösem Kalkstein; dann folgt darüber ein bituminöser plattenförmiger Kalkstein, über diesem liegt eine bedeutende Schicht Mergelschiefer, Mergel und sandige Kalksteine, dann wiederum eine mächtige Ablagerung von Mergelschiefer und zu oberst eine mächtige Kalkkonglomeratbank.

Die letzteren, die an manchen Stellen eine Mächtigkeit von 60 Metern erreichen und welche die an vielen Stellen auftretenden Septarien in zentimeter- bis metergroßen Knollen führen, erstrecken sich, häufig allerdings durch jüngere diluviale Bildungen überdeckt, von Posen bis nach dem Rheinlande und von da nach Süden bis an das Mainzer Becken.

Die bedeutendsten Vorkommnisse des Septarientones in Norddeutschland sind:<sup>1)</sup>

1. Im Odergebiete bei Stettin: Züllichow und Schollwin; weiter südlich Buckow und Freienwalde in der märk. Schweiz, Neustadt;

2. nördlich von Berlin: Hermsdorf, Dranienburg, Joachimstal;

3. in Mecklenburg = Schwerin: Mallis unweit Dömitz;

4. zwischen Eilenburg und Magdeburg: Piezpuhl, Hohenwarte, Görzig bei Köthen;

5. im Braunschweigischen; Söllingen, Celle;

6. bei Düsseldorf: Ratingen;

7. im ehemaligen Kurhessen: Ostseite des Habichtswaldes (Kassel, Melungen, Hofgeismar).

Der Grobkalk: ein gelblichweißer, bald fester, bald zerreiblicher Kalkstein, im Seinebecken mächtige Ablagerungen bildend; der grauweiße, schichtige Litorinellenkalk des Mainzer Tertiärbeckens, die Cerithienkalk am Rhein abwärts und über diesem wieder Litorinellenkalk. Die letzteren, die ausgedehnteste und wichtigste Schicht, bestehen aus grünlichgrauen Mergeln mit weiß- und gelbgrauem Kalkstein. Der Leithakalk oder Nulliporenkalk des Wiener

<sup>1)</sup> Leunis, Synopsis d. Mineralogie. III., 1188.



Beckens. Hierher gehören vor allen Dingen die mächtigen Ton-schichten, welche bekannt sind als Septarientone, welchen Namen sie führen von den darin enthaltenen Kalkmergelnieren, die mit kristallinischem Kalkstein durchzogene Adern haben, die nicht so leicht an der Luft zerfallen als der übrige eigentliche Mergel, daher sie oft hervorstehende Rippen (Septarien, von Septum: Mauer, Wand, Rippe) zeigen. Ihr Hauptbestandteil ist ein toniger Kalk, der vielfach zerklüftet und dessen Klüfte von kohlen-saurem Kalk ausgefüllt werden. Solche Septarientone sind die Londontone im südlichen England, deren Mergel-septarien Parker benützte, ferner die Septarientone Norddeutschlands.

Unter den jüngeren Sedimentgesteinen nehmen die Ablagerungen von diluvialem und alluvialem Süßwasserkalk unsere Aufmerksamkeit in Anspruch. Dieser besteht entweder aus Abjäten von Kalkschlamm in Seebecken, in welche Flüsse mündeten, die durch Kalkgesteine ihren Lauf nahmen, oder er ist aus Kalklösungen durch Wasserverdunstung entstanden. Die alluvialen Süßwasserkalke oder Wiesenkalke sind vorherrschend erdig und porös, und lagern in den Becken ehemaliger oder noch bestehender Seen. Diesem Kalkstein sind fast immer zahlreiche Überbleibsel der in den Seen lebenden Tiere beigemischt. Die alluvialen Kalke stellen ein grobes Aggregat von kristallinischen Körnern oder von diesen und erdigem Kalk dar, und bilden sich noch gegenwärtig im Gebiete von durch Kalkstein führenden Quellen.

Hierher gehören die Süßwasserkalke und Mergel im Osnabrückischen, bei Kassel, Grefeld, bei Ulm und Zwißalten in Württemberg, Kleinkems in Baden, die von Luzern, Bern, von Aix und Marseille; die Cyrenenmergel von Mainz (Ingelheim, Hochheim usw.) und Südbayern, die Litorinellenkalke von Mainz, Wiesbaden, Oppenheim.

Die Tertiärkalke Südbayerns erstrecken sich von dem Nordabhange der bayerischen Voralpen über die bayerische Hochebene und sind zu unterst graue, weiche Mergel und mergelige Sandsteine an der Isar bei Tölz, bei Wiesbach, bei Traunstein, dann aus gelblichen Kalksteinkonglo-



meraten mit sandigkalkigem Bindemittel, grünlichgrauem, oft sandigglimmerigem und dann Flinz genanntem Mergel und kalkhaltigem Ton.

### Der Ton<sup>1)</sup>.

Der Ton, das ist kiesel-saures Tonerdehydrat, ist der zweite Hauptbestandteil der Zemente.

Wenn er nicht schon in dem benutzten Kalkstein in ausreichender Menge vorhanden ist, so muß er — wie dies bei den Portlandzementen der Fall — möglichst innig zugemischt werden. Die Tone sind durch Zersetzung feldspathaltiger Gesteine aus deren Feldspat entstanden. Man unterscheidet primäre Tone (Kaolin- oder Porzellanton) und sedimentäre oder aufgeschwemmte Tone.

Die für die Zementherstellung geeigneten Tone dürfen nur geringe Sandmengen enthalten und wenig Eisen führen. Letzteres ist daran zu erkennen, daß der frische Ton grau bis blau aussieht und daß er beim Verwittern hellgelb wird.

Der Grundbestandteil jedes Tones ist die Tonsubstanz, wasserhaltige, kiesel-saure Tonerde, bestehend aus:

Kiesel-säure 47·05 i. H.

Tonerde 39·21 " "

Wasser 13·74 " "

Dieser sind mechanisch beigemischt, durch Wasser aus-schlammbar, bald größere, bald kleinere Mengen Quarz-sand, Kiesel-mehl, Mineral-reste; mechanisch eng mit ihr verbunden, daher nicht ab-schlammbar, sind kohlen-saurer Kalk (siehe Mergel), Eisen-oxyd-hydrat, Gips und feine Mineral-reste, die man als Schluff bezeichnet. Nach ihrer Bild-samkeit und ihrem Gehalt an Kalkstein unterscheidet man:

1. fette Tone, wozu gehören: Töpferton, Eisenton, Schieferletten;
2. magere Tone, Lehm;

<sup>1)</sup> Ausführliches hierüber und über Untersuchung siehe: Zwick, Natur der Ziegel-tone. U. Hartleben's Verlag. Wien.

3. kalkhaltige Tone, Mergelarten.

Für die Zementfabrikation ist ein kieselssäurereicher Ton besonders geeignet, und zwar um so mehr, je mehr er amorphe Kieselssäure enthält. Nach Michaëlis<sup>1)</sup> zeigten geeignete Tone beispielsweise folgende Zusammensetzung:

	1.	2.	3.	4.
Kieselssäure . . . .	60·06	59·25	60·00	62·48
Tonerde . . . . .	17·79	23·12	22·22	20·00
Eisenoxyd . . . . .	7·08	8·53	8·99	7·33
Kalk . . . . .	9·92	—	4·18	6·30
Magnesia . . . . .	1·89	2·80	1·60	1·16
Kali . . . . .	2·50	1·87	1·49	1·74
Natron . . . . .	0·73	1·60	0·72	0·37
Schwefelk. Kalk . .	0·60	2·73	0·89	0·60
	5.	6.		
Kieselssäure . . . .	68·45	64·72	(31·46 Sand)	
Tonerde . . . . .	11·64	24·27		
Eisenoxyd . . . . .	14·80	7·64		
Kalk . . . . .	0·75	1·89		
Magnesia . . . . .	—	—		
Kali . . . . .	1·90	—		
Natron . . . . .	2·10	—		
Schwefelk. Kalk . .	—	—		

1. Ton aus der Provinz Sachsen, von der Elbe (Michaëlis);
2. Ton aus Vorpommern (Michaëlis);
3. Ton vom Oberharz (Michaëlis);
4. Ton aus der Mark Brandenburg (Michaëlis);
5. Medway-Ton (Feichtinger);
6. Medway-Ton (Faraday).

**Die Untersuchung der Rohstoffe.**

Von großer Wichtigkeit für die Fabrikation ist die genaue Kenntniss der Zusammensetzung der Rohstoffe. Es ist daher eine Untersuchung von Durchschnitts-

1) Hydraulischer Mörtel und Portlandzemente, S. 99.

proben derselben notwendig, und diese wird öfter wiederholt werden müssen, da das Gestein (z. B. der Kalkstein) nicht selten mit den Schichten erheblich wechselt.

Für die Untersuchung ist die sachgemäße Ausführung der Probenahme überaus wichtig. Diese kann im Steinbruch zur Gewinnung kleiner Proben an frischen Bruchstellen mittelst eines Brustbohrers geschehen. Man nimmt von jeder Schicht eine besondere Probe — diese bei sehr mächtigen Schichten aus verschiedenen Höhen — und mißt die Mächtigkeit der einzelnen Schichten. Darnach fertigt man sich zweckmäßig eine schematische Zeichnung und trägt darin die Analyseergebnisse ein. Aus dem Tonlager entnimmt man die Proben nach Beseitigung des Abraumes zunächst mit dem Erdbohrer. Aus einem Haufen von Bruchsteinen, dessen durchschnittliche Beschaffenheit ermittelt werden soll, nimmt man an verschiedensten Stellen ohne Wahl einzelne Steine heraus — wenn das Gestein kleinstüchtig ist, nimmt man die Probe mit der Schaufel — zerschlägt die größeren Stücke sämtlich zu annähernd gleichem Schotter, mengt diesen durcheinander, breitet das Ganze aus, teilt es in gleich große Felder und entnimmt davon zwei oder vier einander gegenüberliegende. Man zerkleinert die so erhaltene kleinere Probe in einem eisernen Mörser auf geringe Korngröße und verfährt weiter in ähnlicher Weise wie vorher, bis man eine kleine Probe zum Feinpulvern für die Analyse gewonnen hat.

Die Untersuchung ist zunächst eine physikalische, wobei es sich um Gleichartigkeit der Masse, um Einschlüsse, um die Dichte, das Korn usw. handelt, dann eine chemische Analyse, welche die Arten der vorhandenen Stoffe und deren Mengenverhältnis ermittelt. Die chemische Untersuchung des Kalksteines und des Tones dient dann beim Portlandzement als Grundlage für die Herstellung der Rohstoffmischungen, die nach den Ergebnissen von Probebränden festgestellt werden. Endlich muß ausprobiert werden, auf welche Weise die Rohstoffe am besten zerkleinert (Tone unter Umständen auch von untauglichen Stoffen befreit) werden und wie sie sich beim Brennen verhalten.



Chemische Analyse.<sup>1)</sup>

Die chemische Analyse erstreckt sich auf die Untersuchung des Kalksteines, des Mergels und des Tonens.

## 1. Untersuchung des Kalksteines und Mergels.

Diese ist verhältnismäßig einfach und erfolgt am schnellsten durch Titrier-(Maß-)Analyse oder durch Messen der ausgetriebenen gasförmigen Kohlenäure.

Zum Titrieren bedarf man einer Normalsalzsäure, das ist eine verdünnte Salzsäure, welche im Liter 36.5 g Salzsäure enthält. Zur Herstellung dieser nimmt man zunächst eine reine konzentrierte Salzsäure, prüft sie mittelst der Senkwage (Aräometer), unter genauer Beobachtung ihrer Temperatur, auf ihr spezifisches Gewicht und liest dann den Gehalt an Salzsäure in einer Tabelle ab<sup>2)</sup>. Darauf verdünnt man auf Grund einer einfachen Rechnung die konzentrierte Salzsäure mit soviel destilliertem Wasser, daß sie beinahe die Stärke der Normalsalzsäure erreicht<sup>3)</sup>. Nach genügendem Umschütteln entnimmt man davon mittelst einer Pipette genau 20 cm<sup>3</sup> und läßt diese in ein nicht zu großes, aber geeignet hohes Glas einfließen, in welches man zuvor 0.8 g chemisch reinen getrockneten kohlenäuren Kalk<sup>4)</sup> ein- gewogen und mit einer mäßig großen Menge destillierten

1) Die Apparate dazu liefert: Chem. Laboratorium f. Tonindustrie Prof. Dr. H. Seger und E. Cramer, G. m. b. H., Berlin NW 21, Dreysestr. 4.

2) Z. B. im Chemikerkalender (Verlag Springer).

3) Man habe z. B. bei 15° C das spezifische Gewicht 1.100 (13° Baumé) gefunden. Die Tabelle gibt dafür 19.9 g Salzsäure in 100 cm<sup>3</sup> an. Im Liter sind also 199 g Salzsäure enthalten. Aus 1 l dieser Säure aber können 199:36.5 = 5.452 l Normalsäure durch Verdünnen hergestellt werden. Jedem Liter der Säure unseres Beispiels fehlen daher 4.452 l destilliertes Wasser. Man setzt nun zunächst bloß 4.400 l Wasser zu und stellt erst nach dem Ergebnis einer Titrierung (s. Anm. S. 62) durch weiteren Zusatz von Wasser genau ein.

4) Ein stets zuverlässig reiner kohlenäurer Kalk ist der wasserklare isländische Doppelspat; vor dem Abwägen muß man ihn pulvern.

Wassers übergossen hat. Nach völligem Lösen des kohlen-sauren Kalkes verdünnt man ein wenig mit destilliertem Wasser, fügt einige Tropfen Methylorangefärbung hinzu und läßt nun aus einer Bürette soviel Halbnormal-Natronlauge zufließen, daß die Färbung der Flüssigkeit eben gerade aus rosa in gelb umschlägt. Die Halbnormal-Natronlauge ist eine verdünnte Natronlauge, welche im Liter 20.03 g Natronhydrat enthält. Sie ist gerade halb so stark als die Normal-salzsäure; 2 cm<sup>3</sup> von ihr „sättigen“ also 1 cm<sup>3</sup> Normal-salzsäure, eine Wirkung, die man an der beginnenden Gelbfärbung des zugefügten Methylorange erkennt. Man kann die Lauge freilich erst dann auf den Halbnormalgehalt einstellen, wenn man eine Säure von genau bekanntem Gehalt besitzt. Aber es genügt schon vollkommen, wenn man das Verhältnis der Stärke der Natronlauge zu der gerade verwendeten verdünnten Salzsäure feststellt. Denn man will ja lediglich ermitteln, wieviel Kubikzentimeter der zum kohlen-sauren Kalk zugefügten annähernd normalen Salzsäure bei der Zersetzung des kohlen-sauren Kalkes übrig geblieben sind, um daraus zu schließen, wieviel Kubikzentimeter der Salzsäure durch die Zersetzung verbraucht, also der abgewogenen Menge des reinen kohlen-sauren Kalkes gleichwertig sind<sup>1)</sup>.

Bei der Verwendung der Salzsäure zur Untersuchung von Kalkstein aber will man wiederum die überschüssigen Kubikzentimeter Salzsäure ermitteln, um nun aus der Anzahl Kubikzentimeter der durch die Zersetzung verbrauchten Normal-salzsäure die Menge des im Kalkstein enthaltenen kohlen-sauren Kalkes zu berechnen. 1 cm<sup>3</sup> Normal-salzsäure

1) Es seien bei der Prüfung der oben als Beispiel gewählten, schon annähernd richtig verdünnten Salzsäure zum Lösen der nach dem Trocknen und Abkühlen neuerdings abgewogenen 0.8 g kohlen-sauren Kalkes wiederum 20 cm<sup>3</sup> Säure verwendet worden. Man habe nun aber bloß 8.5 cm<sup>3</sup> Halbnormalnatronlauge nötig gehabt, welche, wie ein Versuch gezeigt, 4.2 cm<sup>3</sup> der zu prüfenden Salzsäure entsprachen. Es sind also  $20 - 4.2 = 15.8$  cm<sup>3</sup> der Salzsäure von dem kohlen-sauren Kalk zersetzt worden, und es fehlen jedem Liter der Säure gerade noch  $\frac{0.2 \times 1000}{15.8}$  cm<sup>3</sup> Wasser.



säure entspricht gerade 0.05 g kohlenfauren Kalkes. Falls der ermittelte Wirkungswert der verdünnten Salzsäure von der Normalisalzäure ein wenig abweicht, kann man auch diesen Wirkungswert (diesen „Liter“) zur Berechnung der Ergebnisse gebrauchen. Die normale Einstellung der Titrierflüssigkeiten aber hat den Vorzug, daß man bei ihrem Gebrauch alles Ausrechnen durch eine nur einmal aufzustellende sehr schnell zu berechnende Tabelle ersetzen kann. Von den zu untersuchenden mehlflein zerriebenen und bei 120° C getrockneten Kalkstein- oder Mergelproben (ebenso von trockenen pulverigen Rohmassen) wägt man zweckmäßig je 1.000 g ab. Für Kalkstein sind dann je 25 cm<sup>3</sup> Normalisalzäure erforderlich; für Mergel und Rohmassen genügen 20 cm<sup>3</sup>. Das Lösen der zu untersuchenden Proben erleichtert man durch Erhitzen. Ein Wegkochen der Kohlenäure ist bei Verwendung von Methylorange nicht nötig<sup>1)</sup>.

Bei Abwägen von 1 g Kalkstein und Verwendung von 25 cm<sup>3</sup> Normalisäure bedeutet z. B. der Verbrauch von 16 cm<sup>3</sup> Halbnormalnatronlauge, daß in 100 g dieses Kalksteines  $(25-8) \times 5 = 85$  g Ca CO<sub>3</sub> enthalten sind. Und bei Abwägen von 1 g Mergel und Verwendung von 20 cm<sup>3</sup> Normalisäure bedeutet der Verbrauch von z. B. 14.2 cm<sup>3</sup> Halbnormalnatronlauge, daß in 100 g dieses Mergels  $(20-7.1) \times 5 = 64.5$  g Ca CO<sub>3</sub> enthalten sind.

Zum Messen der ausgetriebenen gasförmigen Kohlenäure bedarf man einer Vorrichtung mit in Zehntelkubikzentimeter genau geteilter Meßröhre für das Gas. Es gibt mehrere solcher Vorrichtungen, unter denen sich der „Baurische Kohlenäurebestimmungsapparat“ durch Einfachheit und doch völlige Zweckmäßigkeit auszeichnet. Bild 1 gibt ihn wieder. Das genau geteilte Gasmeßrohr steht, durch Korkringe gestützt, in einem Kühlrohr. Neben ihm hängt ein Thermometer in der Kühl-

1) Benützt man statt dessen Phenolphthalein, so ist ein Kochen unter Umschütteln und heißes Titrieren erforderlich. Dafür gibt dieser Farbstoff einen schärfer hervortretenden Farbumschlag (mit Säure farblos, mit Lauge rot).



flüssigkeit, die zugleich Sperrflüssigkeit für die Gasmeßröhre ist. Das Kühlrohr kann, zugleich mit dem Meßrohr, durch einen Glashahn in die untergestellte verstopfete Flasche entleert werden und wird dann aus dieser mittelst eines Gummiballgebläses wieder gefüllt. Das Kohlenäuregas gelangt in

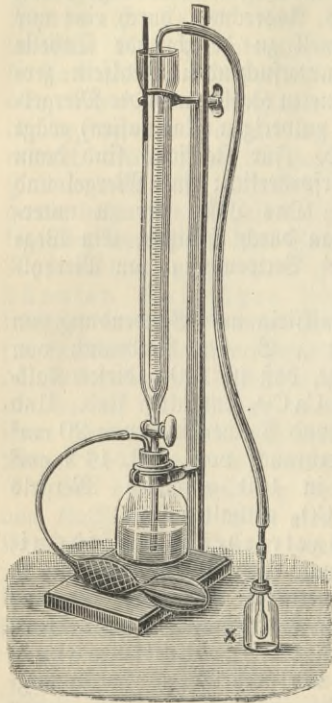


Bild 1.

das Meßrohr aus einer kleinen Gasentwicklungsflasche, die mittelst Gummischlauch angeschlossen ist. Der Anschluß des Gummischlauches an die Entwicklungsflasche wird durch ein Glasrohr bewirkt, dessen unteres Ende als ausgießbares Gefäß für die Salzsäure ausgebildet ist, während der aus der Flasche herausragende Teil eine durch überschiebbaren Gummiring verschließbare seitliche Öffnung enthält. Letztere dient als Luftauslassventil beim Einstellen unmittelbar vor der Gasentwicklung. Dem Apparat wird eine Tafel zum Aufsuchen der bei jeweiligem Barometerstand und Temperatur erforderlichen Gewichtsmenge Kalksteinmehl (oder Kohlmischungsmehl) beigegeben, damit auf der Teilung der Gasmeßröhre unmittelbar der kohlen-säure

Kalkgehalt von 100 Gewichtsteilen des Mehles abgelesen werden kann.

Enthält der Kalkstein oder Mergel eine nicht sehr geringe Menge kohlen-säure Magnesia (welche sich in der Regel schon durch auffallend langsame Kohlen-säureentwicklung bemerklich

macht), so muß man deren Menge gewichtsanalytisch bestimmen.

Liegt Mergel vor, so muß die Analyse auch auf dessen übrige Bestandteile ausgedehnt werden.

## 2. Untersuchung der tonigen Zuschläge<sup>1)</sup>.

Die Untersuchung der tonigen Zuschläge erfordert die gewichtsanalytische Bestimmung folgender Stoffe:

Kieselsäure (chemisch gebundene, fein verteilte und Sand).

Tonerde.

Eisenoxyd (mitunter auch etwas Manganoxyd).

Kalk.

Magnesia.

Alkalien.

Schwefelsäure.

Wasser

organische Stoffe } Glühverlust.

Kohlensäure }

Schon vor der Analyse verlangt unter diesen Stoffen der Sand Aufmerksamkeit. Ist im Ton soviel Sand, daß das daraus hergestellte Rohmehl mehr als einige Gewichtsteile im Hundert enthalten würde, so muß vor Verwendung des Tones der Sand entfernt, also der Ton geschlämmt werden. In solchen Fällen ist es erforderlich, daß auch die Analysenprobe dem geschlämmten Ton entnommen wird.

Eine sorgfältig ausgeführte „Schlämmanalyse“ gibt hierüber Auskunft. Sie wird am besten mit dem Schläm-  
apparat von Schöne<sup>2)</sup> ausgeführt. Man erhält durch diese mechanische Trennung folgende Bestandteile:

Ton: Korndurchmesser nicht über 0.01 mm, erhalten bei 0.2 mm Stromgeschwindigkeit in der Sekunde;

Schluff: Korndurchmesser nicht über 0.025 mm, erhalten bei 0.7 mm Stromgeschwindigkeit in der Sekunde;

<sup>1)</sup> Näheres siehe: Post, chem.-techn. Analyse, Bd. 2, Heft 1. Braunschweig 1906. — Siehe auch weiter unten die einfache „Silikatbestimmung“.

<sup>2)</sup> Siehe: Zwick, Natur der Ziegeltone, S. 160—167 und 175—181.



**Staubsand:** Korndurchmesser nicht über  $0.04\text{ mm}$ , erhalten bei  $1.5\text{ mm}$  Stromgeschwindigkeit in der Sekunde;

**Feinsand:** Korndurchmesser  $0.04\text{--}0.2\text{ mm}$ ; dieser Sand bleibt im Schlammtrichter;

**Grobsand:** Korndurchmesser über  $0.2\text{ mm}$ ; dieser Sand gelangt nicht in den Schlammapparat, sondern bleibt auf dem 900-Maschen Sieb zurück.

Die Probe muß in jedem Fall für die Analyse so fein gepulvert werden, daß sie durch das 5000-Maschen Sieb hindurchgeht, wovon man sich durch Absieben überzeugen soll. Die so vorbereitete Probe wird bei  $110\text{--}120^\circ$  getrocknet, wozu 2 Stunden knapp ausreichen, und dann durch dichten Verschuß vor Luftfeuchtigkeit geschützt.

Von dem so vorbereiteten Ton wägt man zur Analyse  $1\text{--}1.2\text{ g}$  in einen Platintiegel, in welchem man sie mit der 2—3fachen Gewichtsmenge von kalzinierter Soda oder kohlensaurem Kalinatron innig vermischt, um nun das „Aufschließen“ mit kleiner Bunsenflamme zu beginnen und durch klaren Schmelzfluß über voller Bunsenflamme zu vollenden.

Die Kieselsäure wird dann bestimmt, indem man die Schmelze zunächst in einer Platinschale in destilliertem Wasser und allmählich zugesetzter Salzsäure auflöst. Um zu diesem Zweck den Kuchen aus dem Tiegel herausbringen zu können, kühlt man den letzteren nach Erstarren der Schmelze rasch ab, was durch einen gegen den Boden gerichteten Gebläseluftstrom geschehen kann. Die Schmelze muß sich durch die Säure vollständig zersetzen lassen. Dann wird auf dem Wasserbad völlig abgedampft und zur Vertreibung der letzten Spuren von Salzsäure im Trockenschrank während 2 Stunden auf annähernd  $140^\circ$  erhitzt. Den so vorbereiteten Rückstand behandelt man auf dem Wasserbade mit einer geringen Menge konzentrierter Salzsäure, bis alles zergangen ist, verdünnt und filtriert unter Dekantieren. Nach gründlichem heißen Auswaschen wird das Filter mit dem Niederschlag ohne vorheriges Trocknen in den Platintiegel gebracht. Nach dem Veraschen wird schließlich über dem Gebläse geblüht.



Bei Anwesenheit von Titansäure erhält man diese mit der Kieselsäure zusammen.

In dem Filtrat von der Kieselsäure bestimmt man

Tonerde und Eisenoxyd. Hierzu füllt man das Filtrat in einer Maßflasche auf  $500\text{ cm}^3$  auf und entnimmt hiervon nach gründlichem Vermischen  $200\text{ cm}^3$ . Nachdem mittelst weniger Tropfen Salpetersäure durch Erhitzen im Becherglase das Eisenoxydul in Oxyd übergeführt ist, wird in der Hitze mit soviel Ammoniak gefällt, daß die Flüssigkeit nur schwach darnach riecht. Man filtriert ab und löst den Niederschlag mit heißer verdünnter Salzsäure, um ihn nochmals zu fällen. Zum Auswaschen benützt man heißes, mit wenig Ammoniak versetztes Wasser. Man verascht und glüht im Platintiegel.

Das Filtrat verwendet man zur Bestimmung von Kalk und Magnesia.

Um die Mengen des Eisenoxydes und der Tonerde einzeln zu erfahren, bestimmt man das Eisenoxyd noch allein. Man schmilzt wiederum  $1\text{--}1.2\text{ g}$  Ton in Vermengung mit  $2\text{--}3\text{ g}$  kohlensaurem Kalinatron, wie oben. Man löst aber die Schmelze diesmal in verdünnter Schwefelsäure, um die Lösung mit Kaliumpermanganat titrieren zu können. Vor dem Titrieren müssen etwa vorhandene organische Stoffe, die ebenfalls auf das Permanganat wirken würden, oxydiert werden, indem man bis eben zur bleibenden Rötung mit Permanganat tropfenweise versetzt und kocht, im Fall der Entfärbung aber Permanganat nachfügt. Hierauf ist das Reduzieren des Eisenoxydes der Lösung durch Zink erforderlich, damit unmittelbar anschließend das Titrieren mit der Permanganatlösung (ohne Erwärmen) geschehen kann. Mit dem ersten, die ganze Flüssigkeit rötenden Tropfen ist der Endpunkt erreicht.

Die hierzu notwendige Permanganatlösung bereitet man durch Auflösen von etwa  $5\text{ g}$  reinsten Kaliumpermanganates in  $1\text{ l}$  destillierten Wassers. Diese vor Licht zu schützende Maßflüssigkeit ist veränderlich, besonders in den ersten Tagen. Man stellt ihren Gehalt zur Zeit der Analyse gewöhnlich mittelst einer frischen Eisenoxydullösung fest, die durch Auf-

lösen von 0.1 g reinsten Eisendrahtes in verdünnter Schwefelsäure, bei vollkommenem Luftabschluß (durch Gummiventil) bis zum Erkalten, gewonnen worden ist. Man nimmt das 0.996 fache vom Gewichte des Drahtes als reines Eisen an.

Das Mangan ist fast immer in so geringer Menge vorhanden, daß deren Bestimmung nicht lohnt.

Der Kalk wird aus dem Filtrat von Tonerde und Eisenoryd nach hinreichendem Eindampfen heiß mit oxalsaurem Ammoniak gefällt. Man filtriert erst nach vollständigem Absitzen, zuweilen erst nach 12 Stunden warmen Stehens, und wäscht mit heißem Wasser aus, um den oxalsauren Kalk schließlich durch Glühen über dem Gebläse in Altkalk zu verwandeln.

Die Magnesia fällt man aus dem beim Kalkfällen gewonnenen Filtrate, nachdem man es entsprechend eingedampft und stark ammoniakalisch gemacht hat. Man fällt sie mittelst phosphorsauren Natrons als phosphorsaure Ammoniakmagnesia und filtriert erst nach 48 Stunden. Zum Auswaschen dient eine kalte Mischung aus: 3 Raumteilen Wasser, 1 Raumteil Ammoniakflüssigkeit von der Dichte 0.96 und  $\frac{1}{20}$  Raumteil Alkohol. Der Niederschlag wird, nach dem Trocknen, durch starkes Glühen im Porzellantiegel in pyrophosphorsaure Magnesia ( $Mg_2 P_2 O_7$ ) umgewandelt.

Die Alkalien (fast nur Kali und Natron) erfordern ihrer geringen Menge wegen zur Bestimmung etwa 5 g Ton. Nachdem diese in einer Platinschale mit Salzsäure völlig befeuchtet worden, gibt man soviel Flußsäure zu, daß man durch Röhren einen dünnen Brei erhält. Den letzteren läßt man 6 Stunden oder länger im warmen Zimmer, fügt nun 5  $cm^3$  konzentrierte Schwefelsäure hinzu und verdampft in vorsichtiger Weise bis zur Trockne. Nach Anfeuchten mit Ammoniak löst man den Rückstand von der Schalenwandung los, übergießt mit Salzsäure, erwärmt und verdünnt, um dann mit oxalsaurem Ammoniak unter Nachfügen von Ammoniak in der Siedhitze zu fällen. In Lösung bleibt hierbei von sämtlichen Basen neben den Alkalien nur die Magnesia. Die Flüssigkeit zusammen mit dem Niederschlag



bringt man baldigt in einen Literkolben, der in halber Höhe seines unteren Teiles einen angeblasenen Hahn besitzt („Hahnliterkolben“) und an dessen Litermarke eine weiter hinaufgeführte enge Teilung anschließt. Man mischt durch Umdrehen durcheinander und läßt 12 Stunden absetzen. Darauf entnimmt man durch den Hahn an klarer Flüssigkeit die Hälfte des ganzen Kolbeninhaltes in einen Halbliterkolben mit ähnlicher Teilung, indem man durch ein trockenes Filter laufen läßt. Nach Eindampfen in einer Platinschale und Vertreiben der Ammoniaksalze gibt man eine kleine Menge aufgeschwemmtes Quecksilberoxyd hinzu, dampft ab und glüht unter einem gut ziehenden Abzuge<sup>1)</sup>, bis alle Quecksilbersalze verjagt sind. Beim Aufnehmen mit wenig Wasser erhält man jetzt nur die Alkalien, und zwar als Sulfate, in Lösung, die man zum Abdampfen und Wägen in eine Platinschale filtriert.

Die Schwefelsäure, die gewöhnlich in Gestalt von Gips anwesend ist, löst man aus 186 g des staubförmigen, getrockneten Tonens mit mäßig warmem Wasser heraus. Man benützt auch hier wieder den oben bereits erwähnten Hahnliterkolben, in welchen man den Ton samt Lösung schließlich bringt, um bis zur Marke aufzufüllen und dann nach Absitzen 500 cm<sup>3</sup> zu entnehmen. In diesen 500 cm<sup>3</sup> hat man die Schwefelsäure von gerade 100 g Ton. Man dampft mit Salzsäurezusatz etwas ein und fällt dann mit Kalhydrat. Aus dem Filtrat dieses Niederschlages fällt man die Schwefelsäure nach Salzsäurezusatz in der Siedehitze mit Chlorbarium.

Den Glühverlust bestimmt man aus einigen Grammen des getrockneten Tonpulvers durch Glühen im Platintiegel über dem Gebläse.

Die für die laufende Betriebsuntersuchung oft ausreichende „Silikatbestimmung“ (Bestimmung von Ton, Eisenoxyd, Kieselsäure und Unlöslichem zusammen als ein Niederschlag) geschieht wie folgt:

<sup>1)</sup> Die Giftigkeit der Quecksilberdämpfe nötigt zu besonderer Vorsicht.



Nach dem Trocknen des feingeriebenen Mehles bei 110 bis 120° C werden 2 g abgewogen und in einem Becherglase zuerst mit ein wenig destillierten Wassers übergossen und dann mittelst Salzsäure nebst wenig Salpetersäure in Lösung gebracht, wobei man nach dem Aufbrausen für kurze Zeit zum Sieden erhitzt. Nach mäßigem Verdünnen fällt man mit so viel Ammoniak aus, daß die Flüssigkeit schwach danach riecht, kocht nochmals kurz auf, läßt absetzen, filtriert sofort, wäscht mit heißem Wasser aus, verascht im Platintiegel ohne besonderes Trocknen, glüht und wägt.

Die Analyse der Rohstoffe kommt hauptsächlich bei der Herstellung von Portlandzement in Betracht. Sie gibt zwar den nötigen Anhalt für die Berechnung der anzuwendenden Mengen der Rohstoffe, sie läßt aber über deren Verhalten im Feuer und über die damit innig zusammenhängenden Eigenschaften des Erzeugnisses vollständig in Ungewißheit. Es muß daher zu diesen Untersuchungen noch der technische Versuch treten, bei welchem man in einem Probierofen den Vorgang des Großbetriebes nachahmt.

Hierzu ist notwendig, daß die Rohstoffe zuerst getrocknet, dann möglichst fein zerrieben, gesiebt, in dem richtigen Mengenverhältnis innig gemischt werden (gewöhnlich probiert man verschiedene Verhältnisse) und daß man die Mischung dann unter Zusatz von Wasser zu Probeziegeln formt. Die Probeziegel werden getrocknet und kommen nun in den Probierofen. Die Einrichtung dieses Ofens muß in ihren Grundzügen dem Ofen für den eigentlichen Betrieb entsprechen; sie muß nicht nur den Grad der Hitze, sondern auch die Dauer des Brennvorganges zu regeln ermöglichen. Alle Teile des Ofens, die der Hitze ausgesetzt sind, bestehen aus Schamotte. Solch kleinen Schachtofen heizt man mit Koks; sein Inhalt darf nicht unter 0.05 m<sup>3</sup> betragen. Der spätere eigentliche Betrieb wird dann durch fortgesetzte Erhärtungs- und Festigkeitsproben in unten angedeuteter Weise überwacht.

## Der Portlandzement.

Portlandzement ist ein im Wasser erhärtendes Bindemittel mit nicht weniger als 1.7 Gewichtsteilen Kalk ( $\text{CaO}$ ) auf 1 Gewichtsteil: lösliche Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ) + Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) + Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), hergestellt durch feine Zerkleinerung und innige Mischung der Rohstoffe, Brennen bis mindestens zur Sinterung und Feinmahlen<sup>1)</sup>.

### Die Auswahl der Rohstoffe.

Die Zusammensetzung der in der Natur auftretenden Tonkalksteingemische ist eine sehr wechselnde. Es müssen daher auch die daraus erbrannten Wasserkalke (hydraulischen Kalke) von sehr verschiedener Zusammensetzung sein. Nun hat aber die Erfahrung gelehrt, daß das einen vorzüglichen Zement ergebende Mischungsverhältnis für ein und dieselbe Art Rohstoffe nur zwischen ziemlich engen Grenzen schwanken darf, und daß jede Überschreitung dieser Grenzen bei sonst gleicher Behandlung die Beschaffenheit des Zementes stark beeinflußt. Die natürlichen Mergel haben nur in wenigen Fällen eine zwischen jenen günstigen Grenzen liegende Zusammensetzung.

Zu besseren Ergebnissen kommt man, wenn man sich die Rohstoffe für die Wasserkalke künstlich zusammensetzt. Die chemische Analyse der als ausgezeichnet geltenden Zemente, die Art ihrer Herstellung zeigen hier deutlich den Weg. Aus den sich vorfindenden Rohstoffen läßt sich ein Gemisch von erwünschter und gleichbleibender Zusammensetzung herstellen, woraus bei richtiger weiterer Behandlung ein Zement entsteht, dessen Beschaffenheit natürlich auch besser und gleichartiger sein muß.

Dieses künstliche Mischen der Rohstoffe auf Grund quantitativer analytischer Ergebnisse hat sich allgemein bewährt. Man stellt auf diesem Wege und durch Brennen der Mischungen bis zur Sinterung den Portlandzement

<sup>1)</sup> Begriffserklärung nach dem Deutschen Normenentwurf von 1908.



her, nachdem F. Aspdin darin vorangegangen (vgl. oben: Entwicklung der Zementindustrie).

Wir geben hier die Analysen einer Reihe von Portlandzementen und teilen nachstehend die Herkunft dieser Zemente mit:

	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.
Kalk . . . . .	59.06	62.81	61.91	55.06	57.83	55.28	61.46	62.13
Kieselsäure . . . .	24.07	23.22	24.19	22.92	23.81	22.86	21.30	20.45
Tonerde . . . . .	6.92	5.27	7.66	8.00	9.38	9.03	6.59	8.05
Eisenoxyd . . . . .	3.41	2.00	2.54	5.46	5.22	6.14	5.38	4.37
Magnesia . . . . .	0.82	1.14	1.15	0.77	1.35	1.64	0.45	1.48
Kali . . . . .	0.73	1.27	0.77	1.13	0.59	0.77	0.44	—
Natron . . . . .	0.87		0.46	1.70	0.71	—	0.43	—
Schwefelk. Kalk .	2.85	1.30	—	1.75	1.11	3.20	—	2.13
Ton . . . . .	1.47	2.54	1.32	2.27	—	1.08	2.89	0.98
Sand . . . . .								

1. Portlandzement von White und Brother (von Michaëlis analys.); 2. Stettiner Zement (von Michaëlis analys.); 3. Wildauer Zement (von Michaëlis analys.); 4. englischer Zement (von Hopfgartner analys.); 5. Zement vom Bonner Bergwerks- und Hüttenverein (von Hopfgartner analys.); 6. Zement von Kraft und Saullich in Perlmoos (von Feichtinger analys.); 7. Folkestoner Zement; 8. Cliffer (Kent) Zement.

Auch für den Portlandzement sind die Rohstoffe Kalkstein und Ton. Zu seiner Herstellung ist im allgemeinen jeder kohlen-saure Kalk geeignet: reiner harter Kalkstein, Kreide, Wiesenkalk, Kalkmergel u. dgl. Mit wirtschaftlichem Erfolg ist jedoch der Kalkstein nur dann verwendbar, wenn er

1. eine gleichbleibende qualitative und quantitative chemische Zusammensetzung hat und

2. durch seine physikalischen Eigenschaften (Härte, Dichte und anderes) eine billige Verarbeitung zu vollwertigem Zement gestattet.

Der gute Erfolg kann aber nur dann erreicht werden, wenn das Herstellen der Mischung (der „Rohmischung“) fortlaufend überwacht wird. Diese Überwachung ist nur durch chemische Untersuchung möglich. Je nach der besonderen Art der Rohstoffe und je nach dem Betriebsverfahren kann man



für die laufende Untersuchung entweder mit der Bestimmung des kohlen-sauren Kalkes durch Titrieren oder der Bestimmung des kohlen-sauren Kalkes durch Messen der ausgetriebenen Kohlen-säure auskommen, oder man muß auch die niemals ganz entbehrliche Silikatbestimmung öfter zu Hilfe nehmen. Wird dolomitischer Kalkstein benützt — was nicht gerade empfohlen werden kann — so muß auch die Magnesia bestimmt werden.

Über Ausführung der chemischen Untersuchung siehe Seite 61. Über die Feststellung der physikalischen Beschaffenheit des Tones siehe Seite 65.

Bei der Auswahl des Kalksteines bevorzugt man die mäßige Mengen Ton enthaltenden Kalkmergel, also diejenigen Kalkgesteine, welche bereits Ton in inniger Mischung beigemischt führen und nur noch eines geringen Zusatzes von Ton bedürfen. Es ist erwünscht, daß der Mergel nicht von Kalkspatdrüsen durchsetzt sei. Wenn das Gestein freie Kieselsäure enthält, so ist es notwendig, daß diese sehr fein verteilt sei; ein starker Gehalt davon ist nicht erwünscht. Ferner scheut man die Verwendung von viel Magnesia haltendem Gestein, da man im Zement nicht mehr als 4 i. H. Magnesia dulden will.

Nach R. Dyckerhoff ist die Wirkung der Magnesia auf Portlandzement eine nachteilige, da sie durch ihre chemische Wasseraufnahme sich erst nach der Erhärtung des Zementes ausdehnt und seine Festigkeit wieder zerstört. Dieses „Treiben“ durch Magnesia tritt bisweilen erst nach Monaten ein.

Die Ursache der späten und starken Ausdehnung der Magnesia zemente soll darin liegen, daß die Magnesia eine zu große Dichte beim Brennen erreiche; infolgedessen nehme sie anfangs sehr langsam, später rasch Wasser auf und blähe sich durch Bildung von Magnesiahydrat auf.

Dyckerhoff glaubt sich zu folgenden Schlüssen berechtigt: 1. Zemente, welche nach längerer Zeit Zerstörungen am Bauwerke erzeugten, hatten hohen Magnesiagehalt, waren also keine Portlandzemente. 2. In gefinterten Zementen mit Magnesia bewirkte die letztere später eine schädliche

Ausdehnung des Mörtels. 3. Bei nicht gefinterten Romanzementen scheint ein höherer Magnesiagehalt keine schädliche Wirkung auszuüben. 4. Die üblichen Prüfungsmethoden gestatten nicht, diese treibenden Eigenschaften magnesiahaltiger, gefintertter Portlandzemente zu erkennen. 5. Ein Gehalt bis zu 3 i. H. Magnesia im Portlandzement ist unschädlich.

Bemerkenswerterweise ist es bisher nicht geglückt, aus chemisch reinem kohlen sauren Kalk und reinem Tonerde-Silikat einen tadellosen Portlandzement herzustellen, woraus wohl zu schließen ist, daß gewisse Beimischungen, besonders Eisenoxyd und Alkalien, notwendig sind.

Wo man Gestein findet, welches bereits die richtige Zusammensetzung für Portlandzement besitzt, brennt man dieses auch heute noch unmittelbar. Nur muß man hier beim Sprengen genau den Weg einhalten, den jedesmal zuvor die Analyse ermittelt hat. Ein solches Mergellager befindet sich bei Perlmoos in Tirol, wo es viele Jahre hindurch seitens der Perlmooser Zementfabriks = Akt. = Ges. ausgebeutet wurde, bis dies nicht mehr lohnte. Nach G. Feichtinger ist die Zusammensetzung dieses Mergels folgende:

Mergel	Portlandzement daraus:
Kohlens. Kalk . . . . . 70·64	Kalk . . . . . 57·18
"    Magnesia . . . . . 1·02	Magnesia . . . . . 1·32
Eisenoxyd . . . . . 2·58	Tonerde . . . . . 9·20
Tonerde . . . . . 2·86	Eisenoxyd . . . . . 5·12
Schwefels. Kalk . . . . . 0·34	Kali . . . . . 0·58
Wasser, org. Subst. 0·79	Natron . . . . . 0·70
Löslich in Salzsäure	78·23
Kieselerde . . . . . 15·92	Kieselerde . . . . . 23·36
Tonerde . . . . . 3·08	Kohlensäure . . . . . 1·90
Eisenoxyd . . . . . 1·40	Schwefelsäure . . . . . 0·64
Kali . . . . . 0·55	
Natron . . . . . 0·82	
Unlöslich in Salzsäure	21·77

Bereits bei den Wasserkalken ist auf die Benützung der bituminösen Tonstiefer und Plattenkalke aufmerksam



gemacht worden. Diese Plattenfalle kommen nach Frühling<sup>1)</sup> den jungen Kalkmergeln in chemischer Beziehung ziemlich nahe. Bei geeigneter Zusammensetzung liefern sie ebenfalls einen guten Portlandzement.

Auch die physikalischen Eigenschaften der Rohstoffe machen sich in mehrfacher Weise geltend. So gibt die dichte Kreide eine größere Ausbeute an Portlandzement als der lockere Wiesenkalk. Nach Michaëlis reichen 100 Steine Kreide gewöhnlichen Ziegelformates aus für 1 t Portlandzement, während von Wiesenkalk 200, ja bis 300 erforderlich sind.

Nach Fuchs und Dyckerhoff soll sich mit der Härte des Kalksteines auch die Widerstandsfähigkeit und Härte der Zemente vergrößern, wogegen Michaëlis einwendet, daß sich aus Wiesenkalken durch richtige Mischung und Brand Zemente von ebenso hohem spezifischen Gewichte (3.1 bis 3.2) erzielen lassen.

Während der Ton ohne weiteres in einen zarten Schlamm verwandelt werden kann, ist dies zwar noch möglich bei den Wiesenkalken, nicht aber bei den festen Lagenkalken der älteren Formationen. Diese erfordern zur Zerkleinerung und Überführung in einen solchen Schlamm besonderen Kraft- und Kostenaufwand; daher mußte früher von ihrer Verwendung abgesehen werden. Gegenwärtig vermahlt man sie mittelst Raßrohrmühlen zu Schlamm.

Ein beliebter Rohstoff ist die Kreide, weil sie leicht zerreiblich ist. Leider ist sie meistens von Feuersteinknollen durchsetzt, deren Aussonderung am besten durch einen Schlämmprozess vor sich geht. Dem letzteren werden auch die Wiesenfalle zur Ausscheidung von Verunreinigungen gewöhnlich unterzogen.

Der andere Hauptrohstoff für den Portlandzement, der Ton, ist ein Gemisch von kieselurem Tonerdehydrat mit Sand, Mineraltrümmern, Eisenoxyd, Kalk, Alkalien usw. Bereits ist auf die Eigenschaften und auf die Einwirkung seiner wichtigsten Bestandteile mehrfach hingewiesen wor-

1) Rotizbl. 1870, S. 107.



den. Es braucht hier nur daran erinnert zu werden, daß vor allen Dingen die Kieselsäure im leicht aufschmelzbaren Zustande vorhanden sein muß, daher ein Ton um so mehr an Brauchbarkeit verliert, je mehr er freie Kieselsäure in Form von Sand beigemischt enthält. In diesem Falle ist durch Schlämmen der Kieselsäuregehalt auf den erforderlichen Grad herabzudrücken.

Ein mäßiger Gehalt an Eisenoxyd oder -oxydul ist dadurch vorteilhaft, daß er das Sintern erleichtert. Das gleiche gilt für die Alkalien.

Starke Gehalt an Magnesia besitzen die Tone selten.

Ein für Portlandzement geeigneter Ton enthält etwa:

Kieselsäure . . . .	60—70	i. H.
Tonerde . . . .	15—25	" "
Magnesia . . . .	2—4	" "
Eisenoxyde . . . .	5—12	" "
Alkalien . . . .	1—4	" "

Von H. Klose ist früher<sup>1)</sup> auf die Brauchbarkeit des Schlicks der Flußmündungen an der deutschen Nord- und Ostseeküste für die Zementfabrikation hingewiesen worden. Dieser Schlick entsteht aus den ungemein feinen, sich ablagernden Sinkstoffen, hat im frischen Zustande eine graubraune Farbe, getrocknet sieht er rötlich graubraun und mergelartig aus. Er wird von den an jenen Küsten gelegenen Zementwerken seit langer Zeit in großen Mengen verwendet. Ähnlichen Schlick verarbeitet man in Dänemark.

Über die Verwendbarkeit des Diabas (früher „Grünstein“ genannt), sowie des Diorit und dessen Kersantit genannter Abart zur Erzeugung von Zement stellte Karl A. M. Balling Versuche<sup>2)</sup> an. Der angewandte Diabas vom Augustinschacht in Drkolnow bei Pzibram war dunkelgefärbt, feinkörnig und enthielt:

<sup>1)</sup> Der Portlandzement S. 5.

<sup>2)</sup> Österr. Zeitschr. für Berg- und Hüttenwesen 1871, Nr. 35. Polytechn. Zentralbl. 1871, 1251. Notizbl. von S. Seger. 1871, S. 357.

Kohlenf. Kalk . . . . .	2·60	} lösliche Bestandteile zusammen 19·9 i. H.
" Magnesia . . . . .	1·00	
Eisenoxyd und Eisenoxydul mit wenig Tonerde . . . . .	16·30	
Silikate . . . . .	79·25	
Zusammen . . . . .	99·15	

Er wurde im Gewichtsverhältnis 2 zu 3 mit gebranntem Urkalkstein von Gimelitz (a) und Übergangskalkstein von Zditz (b), bestehend aus:

Kohlenf. Kalk . . . . .	97·00	a)	97·05	b)
" Magnesia . . . . .	—	" "	1·41	" "
Eisenoxyd und Tonerde . . . . .	2·00	" "	1·40	" "
Kieselerde . . . . .	1·00	" "	0·22	" "
	zusammen 100·00		100·08	

unter Feinmahlen vermischt und scharf gebrannt. Der entstehende Zement war von Eisen dunkel gefärbt; mit Wasser angerührt, erwärmte er sich nicht, zog sehr bald an und erhärtete unter Wasser nach einigen Tagen.

### Das Zusammensetzen der Rohmischung für Portlandzement.

Die Zusammensetzung der Portlandzemente von 90 deutschen Fabriken ist nach D. Schott im Durchschnitt die folgende<sup>1)</sup>:

Kalk (Ca O) . . . . .	63·15	i. H.
Kieselsäure (Si O <sub>2</sub> ) . . . . .	22·38	" "
Tonerde (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	7·83	" "
Eisenoxyd (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) . . . . .	2·51	" "

Hierin ist der Kalk oft zu einem kleinen Teil (etwa bis 3 i. H.) durch Magnesia ersetzt.

<sup>1)</sup> Hierbei ist (wie immer in erster Linie) der langsambindende Portlandzement gemeint. Über den „raschbindenden“ Portlandzement siehe am Schluß dieses Unterabschnittes und des nächsten („Brennen des Portlandzementes“).

Nach der Zusammenetzung des Portlandzementes (welche mit der Verschiedenheit der Rohstoffe etwas schwankt) kann man leicht das erforderliche Mischungsverhältnis der Rohstoffe berechnen, sobald man deren chemische Zusammenetzung kennt.

Angenommen, es stehe eine Kreide und ein Ton zur Verfügung, welche hinsichtlich der Hauptstoffe folgende Zusammenetzung haben:

Kreide (wasserfrei):	
Kohlensaurer Kalk (mit Magnesia)	84.0 i. H.
Kieselsäure . . . . .	10.0 " "
Tonerde . . . . .	1.5 " "
Eisen . . . . .	0.5 " "
Ton (wasserfrei):	
Kieselsäure . . . . .	60.0 i. H.
Tonerde . . . . .	22.0 " "
Eisenoxyd . . . . .	8.0 " "
Kohlensaurer Kalk (mit Magnesia)	5.0 " "

Aus diesen beiden Rohstoffen soll nach oben genanntem Vorbilde ein Zement mit 63 i. H. Kalk und 37 i. H. „Silikat“<sup>1)</sup> (d. i. Kieselsäure + Tonerde + Eisenoxyd) hergestellt werden.

Die 84 i. H. kohlensaurer Kalk der Kreide entsprechen 47 i. H. gebranntem Kalk ( $100 : 56 = 84 : x$ )

$$(x = \frac{56 \times 84}{100} = 47 \text{ i. H.}).$$

Von diesen 47 i. H. Kalk der Kreide wird aber ein Teil schon von dem der Kreide beigemengten „Silikat“ zum Bilden von Rohmischung beansprucht. Da die obige Kreide 12 i. H. Silikat enthält, so ergibt sich aus der Gleichung  $37 : 63 = 12 : x$ , daß hierzu 20.4 Gew.-T. Kalk beansprucht werden, und daß daher nur  $47 - 20.4 = 26.6$  Gew.-T. Kalk noch frei verfügbar bleiben.

Der obige Ton dagegen enthält neben 90 i. H. Silikat auch 5 i. H. kohlensuren Kalk, entsprechend 2.8 i. H. gebranntem Kalk. Diese 2.8 i. H. Kalk aber beanspruchen von

<sup>1)</sup> Über diesen Ausdruck siehe S. 69.



dem Silikat des Tones nach der Gleichung  $63 : 37 = 2.8 : x$  vorweg 1.6 Gew.=T., so daß  $90 - 1.6 = 88.4$  Gew.=T. Silikat noch frei verfügbar bleiben.

Um nun zu erfahren, wieviel Gewichtsteile Ton 100 Gew.=T. Kalkstein erfordern, berechnet man mittelst der Gleichung  $63 : 37 = 26.6 : x$  die erforderliche Menge Silikat ( $x = 15.6$ ) und findet dann durch die Rechnung  $88.4 : 100 = 15.6 : x$ , daß diese Menge „Silikat“ in 17.6 Gew.=Teilen Ton verfügbar ist. Die Rohmischung für diesen Zement würde also bestehen aus:

100 Gew.=Teilen getrockneter Kreide und  
17.6 „ „ getrocknetem Ton.

Freilich erhält man so noch nicht einen vollständig dem obigen Vorbild gleichenden Zement, wenn nicht auch die sonstige Zusammenetzung aller Rohstoffe und die weitere Behandlung bei beiden Zementen eine ähnliche ist.

Die äußersten Grenzen, zwischen denen die Zusammenetzung des Portlandzementes selbst schwanken darf, sind nach älterer Angabe, welche die Mengen von Kieselsäure und Sesquioxiden dem Kalk gegenüberstellt, folgende:

1 ( $\text{SiO}_2 + \text{R}_2\text{O}_3$ ), 2 CaO und  
1 „ „ 2.4 CaO.

Michaëlis prüfte in ausgedehnter Versuchsreihe, inwieweit eine Veränderung des Kalkgehaltes innerhalb dieser Grenzen eine Änderung in den Eigenschaften herbeiführe, und kam zu folgenden Ergebnissen:

1. Sinkt der Kalkgehalt unter die erstere der hier angegebenen Grenzzahlen, so zerfällt die gebrannte Zementmasse beim Abkühlen und der Zement liefert einen lockeren, wenig brauchbaren Mörtel.

2. Wird der Kalkgehalt über die höhere der obigen Grenzzahlen hinaus gesteigert, so treibt der Zement, das heißt, er bläht sich nach dem Abbinden auf, verliert mehr oder weniger den bereits gewonnenen Zusammenhang und dadurch seine Festigkeit.

3. Da ein höherer Kalkgehalt die guten Eigenschaften der Zemente wesentlich erhöht, so empfiehlt es sich, nicht

unter 2 Gewichtsteile Kalk ( $\text{CaO}$ ) auf 1 Gewichtsteil Silikat herabzugehen.

4. Der oberen Grenze, 2.4 Äquivalent Kalk, kann man sich ohne Schaden um so mehr nähern, je inniger die Mischung der Masse ist.

Nach neuerer Angabe von D. Schott schwankt die Zusammensetzung guter Portlandzemente zwischen den Grenzen:

20—23	i. S.	$\text{SiO}_2$
8—14	" "	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$
60—67	" "	$\text{CaO}$

Einige Hundertteile<sup>1)</sup> des Kalkes können durch Magnesia vertreten sein. Diese Vertretung ist freilich eine fragliche und mindestens keine vollwertige.

Man muß bei jedem Wechsel der Rohstoffe und bei jedem Wechsel der Aufbereitungseinrichtungen die zulässige Höchstgrenze des Kalkgehaltes durch technische Versuche feststellen und dann im Betriebe dieser Grenze möglichst nahe bleiben, um höchste Mörtelfestigkeiten erreichbar zu machen.

Eine Abart des Portlandzementes ist der rasch bindende Portlandzement. Die Eigenart seiner Zusammensetzung ist ein geringerer Kalkgehalt, also auch ein größerer Tongehalt. Der Kalkgehalt kann mehrere Hundertteile<sup>1)</sup> unter den des Normalbinders herabgehen, richtet sich aber im einzelnen Fall nach der gewünschten Bindezeit, nach der näheren Zusammensetzung der Rohstoffe, sowie auch nach dem Brennen.

### Die Aufbereitung der Rohstoffe für Portlandzement.

Die Aufbereitung des Kalksteines und des Tones ist für die Herstellung des Portlandzementes von großer Bedeutung; denn von der Feinheit der Mahlung und von der Snügkeit und Gleichmäßigkeit der Mischung hängt ein großer Teil des Erfolges ab. Nur bei staubfeinem Mahlen und vollkommenem Mischen können die

<sup>1)</sup> = „Prozente.“



Kalkstein- und Tonteilchen durch das Brennen miteinander bis in ihren innersten Kern, also ohne Rest verschmolzen werden, zumal es sich hier nicht um eigentlichen Schmelzfluß (Fließen der ganzen Menge), sondern um „Sintern“ (lediglich Verschmelzen der einander benachbarten Mehlteilchen) handelt. Und das restlose Verschmelzen ist notwendig, wenn sich die chemischen Verbindungen bilden sollen, die allein dem Portlandzement seine geschätzten Eigenschaften verleihen.

Das Aufbereiten kann nach verschiedenen Verfahren geschehen:

1. Naßverfahren, auch Schlammverfahren genannt.
2. Halbnäßverfahren.
3. Trockenverfahren.

Welches dieser Verfahren im einzelnen Fall das wirtschaftlich vorteilhafteste ist, läßt sich erst nach Kenntnisnahme aller örtlichen Verhältnisse entscheiden<sup>1)</sup>. Es kommen dabei besonders in Betracht: die Art der Rohstoffe, die Kohlenpreise, die Höhe der Löhne und die Ausdehnung des Betriebes.

Den größten technischen Erfolg verbürgt jedoch im allgemeinen die nasse Aufbereitung, wenn sie in sorgfamer Weise ausgeübt wird, weil sie zur innigsten Mischung der Rohstoffe führt und dadurch die Herstellung des vorzüglichsten Zementes ermöglicht. Für weiche Kreide und andere Rohstoffe, die viel Wasser aufgesaugt enthalten, empfiehlt sich dieses Verfahren ganz besonders, weil das Vortrocknen derselben viel Kohle erfordern würde und sie sich im Wasser leicht zerteilen lassen.

Das Trockenaufbereitungsverfahren hat durch die Vervollkommnung der Mahlmaschinen und Sichtvorrichtungen in neuerer Zeit ebenfalls große Erfolge in der Herstellung der innigen Mischung erzielen lassen; jedoch kann es die Vollkommenheit der Mischung des sorgfältig betriebenen Schlammverfahrens schwerlich erreichen. Durch richtig scharfes Brennen kann aber beim Trockenverfahren

1) Notizbl. 1870, S. 190; 1875, S. 81.



dieser Unterschied in der Regel wieder ausgeglichen werden, wenn nämlich nicht ein erheblicher Gehalt an freier Kieselsäure vorhanden ist.

Es sei noch erwähnt, daß beim Trockenverfahren die Überwachung der Zusammensetzung der Mischung eine bequemere ist.

In solchen Fällen, wo man einen in seiner Zusammensetzung wenig wechselnden Kalkstein und dazu einen fetten Ton zu verarbeiten hat, welcher Sand enthält, wählt man mitunter das Halbnaßverfahren. Dieses gestattet kein so inniges Mischen wie das Schlammverfahren; gegenüber dem Trockenverfahren aber bietet es neben der Möglichkeit, den schädlichen Sand zu entfernen, auch den Vorteil einer größeren Mahlleistung.

## Beschreibung der Aufbereitungsverfahren.

### 1. Naße Aufbereitung.

Beim Naßverfahren oder Schlammverfahren vermahlt man den Mergel oder Kalkstein und den Ton unter Zusatz von viel Wasser und gewinnt so die Rohmischung als Schlamm. Weil es aber keineswegs gleichgültig ist, wie dick der Schlamm gerät, regelt man den Wasserzusatß so, daß man einen Dick Schlamm oder Dünnschlamm von dem für den Betrieb erforderlichen Wassergehalt erzielt.

Wo es angängig ist, zerkleinert man Kalkstein (Kreide!) und Ton sogleich zusammen in dem Wasser. Es setzt dies voraus, daß der Kalkstein in dem Wasser leicht zertheilbar ist, wie besonders die Kreide. Man wirft die abgewogenen Mengen der grubenseuchten Rohstoffe Kreide und Ton in das abgemessene Wasser. Es geschieht das in einer sogenannten Schlämme (Bild 2 zeigt eine solche von F. L. Smidth & Co. in Kopenhagen), das ist eine kreisrunde gemauerte Grube mit senkrechten Seitenwänden, über deren wagerechten Boden hin sich eine kräftige Rührvorrichtung bewegt. Diese Vorrichtung wird von den wagerechten Armen einer in der Mitte der Grube senkrecht aufgestellten Welle getragen. Die Welle wird mittelst eines

Regelrädervorgelegtes angetrieben. Nach etwa halbstündigem Rühren läßt man den Schlamm durch eine mit grobem Sieb versehene Ausflußöffnung in einen Kanal fließen, aus welchem ihn eine Tauchkolbenpumpe hebt, um ihn durch eine Rohrleitung in eine Feinmahlvorrichtung (Maßmahlgang in früherer Zeit, besser Maßrohmühle) zu befördern; denn in der Schlämme bildet sich viel Gries, der in dem fortwährend umgerührten Schlamm nicht zum Absitzen kommt und in der Regel aus nutzbarem Rohstoff besteht.

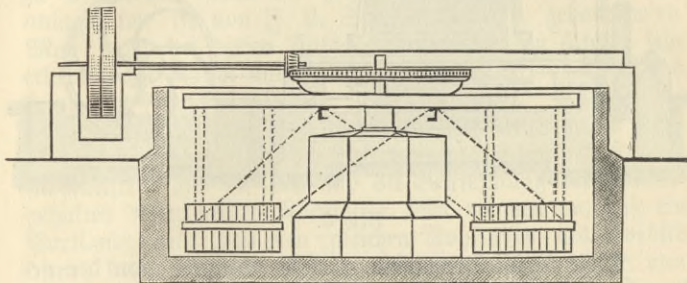


Bild 2.

Die in der Kreide gewöhnlich vorkommenden Feuersteinknollen bleiben am Boden der Schlämme zurück und werden von Zeit zu Zeit bei Stillstand der Schlämme entfernt.

Wenn man Sand zu entfernen wünscht, schlämmt man dünner und leitet den Dünnschlamm durch winklig geführte Kanäle, die mit niedrigen Überfällen zum Festhalten des niedergefunkenen Sandes versehen sind. Die Schlämme für Dünnschlamm besitzt größere Tiefe als die für Dickschlamm.

In Fabriken, wo man Sand oder dergleichen nur aus dem Ton zu entfernen hat, wird der Ton für sich allein geschlämmt und nötigenfalls in Absitzkanälen von dem Sand oder anderem befreit. Man hat dann im weiteren die Wahl zwischen Maßverfahren und Halbmaßverfahren.

Muß harter Kalkstein verarbeitet werden, so ist im allgemeinen das Trockenverfahren oder das Halbmaßverfahren angezeigt. Will man jedoch hier ebenfalls das



Schlammverfahren anwenden, so arbeitet man mit dem Naßkollergang (der in einem kreisrunden Wasserbehälter steht), nachdem man auf dem Brecher vorzerkleinert hat, und stellt Dünnschlamm her. Das Eisenwerk A. G. (vorm. Nagel & Kämp) in Hamburg schöpft diesen Schlamm aus einem Sammelbecken mit seinen Naßsibtrommeln unter Hinterlassung des Grieses aus und verarbeitet dann den Gries auf der Naßrohmühle.

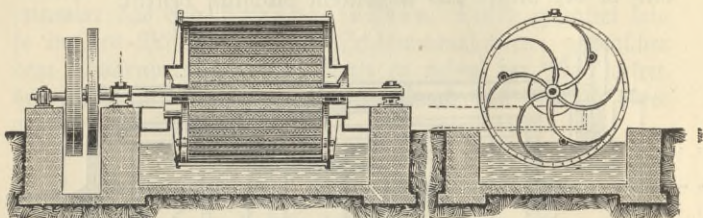


Bild 3.

Diese Naßsibtrommeln, welche übrigens von der genannten Maschinenfabrik auch für Schlamm aus anderen Rohstoffen benützt werden, sind durch das Bild 3 veranschaulicht. Das Sieb dreht sich in dem auszusüpfenden Schlamme und läßt den siebfeinen Teil desselben durch Rohrstutzen bei der Welle an seinen beiden Enden in Rinnen ausfließen.

Bei den älteren Schlammereianlagen, deren fertige Rohmasse in Schachtöfen oder Ringöfen gebrannt wurde, ließ man den auf die nötige Feinheit gebrachten Schlamm (und zwar Dünnschlamm) in Schlammbecken von ziemlich großer Ausdehnung laufen, welche außerhalb der Gebäude reihenweise angeordnet waren. Aus jedem dieser Becken ließ man nach dem Abfließen das überstehende Wasser durch ein Rohr ablaufen; ein anderer Teil versickerte oder verdunstete. Dann wurde der Schlamm ausgestochen und getrocknet oder zuvor verziegelt.

In neuerer Zeit dagegen stellt man in der Schlämme (wenn kein Sand entfernt werden muß) unmittelbar Dick-



Schlamm her, pumpt diesen in die Rührmühle zum Feinmahlen, läßt ihn von dort in mehrere mäßig große, unter Dach liegende Sammelbecken laufen, die zugleich dem genauen Einstellen der chemischen Zusammensetzung dienen, und pumpt den fertigen Dickschlamm nun ohne weiteres in Drehrohröfen. Damit die Sammelbecken zugleich für das Mischen (Homogenisieren) dienen können, stattet man sie mit Rührvorrichtungen aus, die auch nach dem Einstellen in Tätigkeit bleiben müssen, um ein Absetzen des Schlammes zu verhindern. Bild 38 zeigt eine solche Schlammereinlage, wie sie von F. L. Smidth & Co. gebaut wird. Man spart bei diesen Anlagen gegenüber den älteren sehr erheblich an Raum und ganz bedeutend an Handarbeit und kommt in sehr viel kürzerer Zeit zum Ziele.

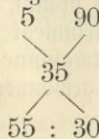
Zum Zusammensetzen der Rohstoffe (Kalkstein und Ton) ist zunächst erforderlich: die Bestimmung des Glührückstandes im Kalkstein und im Ton und die Bestimmung des Silikatgehaltes dieser beiden Rückstände. Wir nehmen an, daß ein Portlandzement aus den gleichen Rohstoffen als Vorbild diene; dieser enthalte 35 i. H. „Silikat“. Wir mögen nun z. B. in den Glührückständen des Kalksteines und des Tones gefunden haben: einerseits 5 i. H. Silikat, andererseits 90 i. H. Silikat. Wir finden dann das Mischungsverhältnis  $x$  durch

die Formel  $x = \frac{n-s}{S-n}$  in welcher wir unter  $s$  und  $S$  die

Gewichtsmengen „Silikat“ in 100 Gewichtsteilen des geglühten Kalksteines und Tones verstehen und mit  $n$  den vorgeschriebenen Silikatgehalt für 100 Gewichtsteile Zement bezeichnen.

Bei obigem Beispiel erhalten wir dann  $x = \frac{35-5}{90-35} = 30 : 55$ .

Wir brauchen also auf 5.5 Gewichtsteile Glührückstand des Kalksteines gerade 3.0 Gewichtsteile Glührückstand des Tones. Zur gleichen Lösung gelangt man durch Subtrahieren mit Hilfe der Schreibweise



Links stehen die Zahlen für den Kalkstein, rechts die für den Ton.

Die zu verwendenden Mengen der grubenfeuchten Stoffe endlich erhalten wir auf Grund obiger Bestimmungen. Wenn z. B. 100 Gewichtsteile des grubenfeuchten Kalksteines 50 Gewichtsteile Glührückstand ergeben haben und 100 Gewichtsteile des grubenfeuchten Tones 80 Gewichtsteile Glührückstand liefern, so sagen uns die Gleichungen  $50 : 100 = 55 : x$  und  $80 : 100 = 30 : x$ , daß wir zu je 110 kg des Kalksteines 37,5 kg des Tones nötig haben.

Beim Schlammverfahren geschieht das Probenehmen für die laufende Betriebsuntersuchung der Rohmasse im Sammelbecken. Man entnimmt je eine Probe Schlamm nahe der Oberfläche und aus der Tiefe. Mit diesen Proben füllt man tiefe zylindrische Gefäße von  $\frac{1}{2}$  Liter Inhalt bis an den Rand, wägt diese Menge Schlamm und wägt dann hieraus ohne Verzug — nach vorherigem sorgfältigen Umrühren mit einem eisernen Stabe — 20 g in eine tarierte flache Nickelschale hinein, um sie auf dem Sandbad zur Trockne abzdampfen und den Rückstand samt der Schale zu wägen. Den trockenen Rückstand verreibt und mischt man in einer Achatreibschale oder dgl. und entnimmt daraus die Proben zum Titrieren des kohlen sauren Kalkes sowie zur „Silikat“-bestimmung (vgl. S. 61 und 69). Aus den obigen Wägungen aber erfährt man das Gewicht eines Liters Schlamm und weiter durch einfache Berechnung die Menge Trockensubstanz, welche in dieser Gewichtsmenge des Liters Schlamm enthalten ist.

## 2. Halbnaße Aufbereitung.

Bei diesem Verfahren schlämmt man nur den Ton, vermahlt dagegen den Kalkstein trocken zu feinstem Mehl. Man mißt nun immer die gleiche Menge Schlamm ab, indem man ihn in ein Meßgefäß pumpt, und setzt dann die jeweils erforderliche Menge Kalksteinmehl hinzu, um Schlamm und Mehl mittelst einer Knetmaschine zu gleichförmigem Brei zu verarbeiten. Die so gewonnene Rohmasse wird dann verziegelt.



Bei der Berechnung des Kalksteinzusatzes zu dem Ton-  
schlamm können wir wiederum die schon beim Raßverfahren  
(Seite 85) benützte Formel verwenden. Wir müssen in  
diesem Fall zuvor feststellen, wieviel Glührückstand sowohl  
der Trockenrückstand des Schlammes als auch das Kalkstein-  
mehl enthält, und wieviel „Silikat“<sup>1)</sup> in je 100 g dieser  
beiden Glührückstände enthalten ist. In der Formel  $x = \frac{n-s}{S-n}$   
ist dann  $s$  das Silikat in 100 g Kalksteinmehlgührückstand,  
 $S$  das Silikat in 100 g Schlammgührückstand und  $n$  das

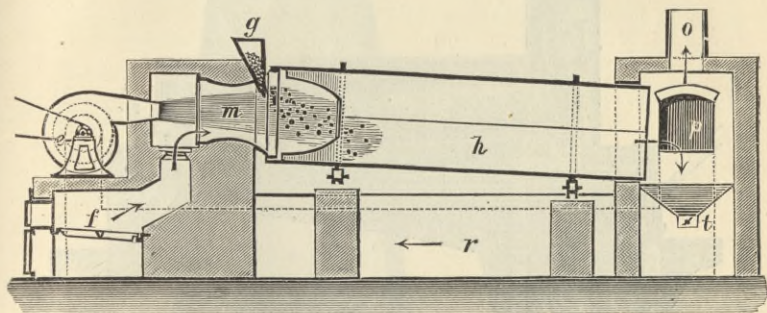


Bild 4.

Silikat in 100 g des vorbildlichen Zementes. So ergibt sich  
das Mischungsverhältnis  $x = \frac{\text{Schlammgührückstand}}{\text{Kalksteinmehlgührückstand}}$ ,  
aus welchem man wieder auf Schlamm und auf Kalkstein  
umrechnen muß.

Man muß daher hier gerade so wie beim Raßverfahren  
von jeder Schlammprobe das Vitergewicht und die Menge  
der Trockensubstanz feststellen.

Näheres über das Schlämmen siehe ebenfalls unter  
Raßverfahren.

1) Erklärung dieses Wortes S. 69.



## 3. Trockene Aufbereitung.

Hierbei trocknet man Kalkstein und Ton, jedes von beiden gesondert, entweder ehe man sie in der Mühle irgendwie zerkleinert, oder nachdem man sie grob vorzerkleinert hat. Letzteres geschieht bei der Möller & Pfeiferschen Trockentrommel (Bild 4), die für alle Fälle anwendbar ist. Die auf zwei Rollenpaaren schräg gelagerte, sich drehende Trommel ist ihrer ganzen Länge nach in zur Achse parallelaufende, offene Zellen eingeteilt, in welche der durch den

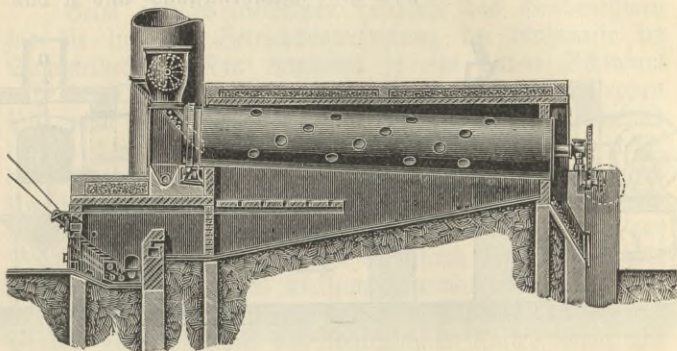


Bild 5.

Trichter einfallende Schotter sich verteilt. Gleichzeitig bläst in der gleichen Richtung ein Ventilator in die Trommel einen heißen Luftstrom, der seine hohe Temperatur dadurch erhält, daß er vor der Trommel die Gase einer etwas tiefer liegenden Feuerung ansaugt. Hierdurch wird der Schotter äußerlich sofort getrocknet und am Festkleben verhindert, weshalb er nun imstande ist, ohne weitere Hilfsmittel die Zellen zu durchlaufen. Aus diesen fällt er am unteren Ende der Trommel völlig trocken heraus. Die Hauptmenge der mit ihm aus der Trommel herausziehenden heißen Luft wird wieder zum Ventilator zurückgeführt. Ein Aufwirbeln von Staub ist durch die Einrichtung der Trommel fast ganz vermieden.

Eine Trockentrommel von anderer Bauart, aber ebenfalls in Verbindung mit einem Ventilator arbeitend, ist der Gummerische Trockner des Eisenwerkes vormals Nagel & Kämp N. G. in Hamburg. Diesen zeigt Bild 5. Die drehbar gelagerte Trommel ist an ihrem ganzen Umfange mit Öffnungen versehen, an welche sich im Inneren

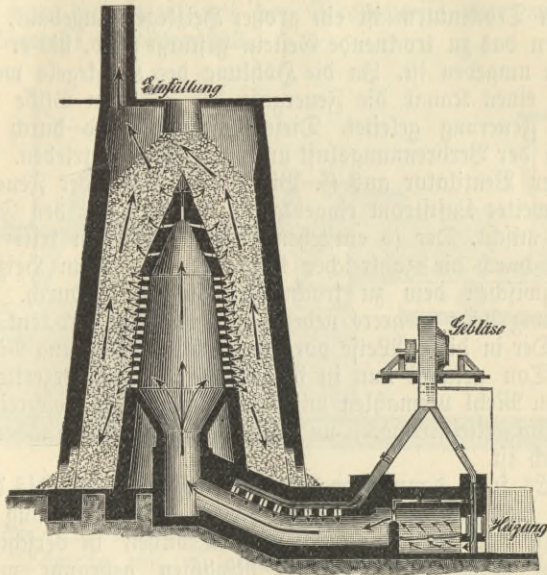


Bild 6.

kurze Anierohre anschließen. Durch letztere ziehen die Feuer- gasse, welche die Trommel umspülen, in deren Inneres, in- dem sie mittelst eines Ventilators angefaugt werden, der über dem Einlauftrichter stehend an letzteren anschließt. Dieser Ventilator treibt den in Trockentrommel und Einlauf sich entwickelnden Staub samt dem Wasserdampf unmittelbar in eine Staubkammer, aus welcher die feuchten Schwaden durch den Schornstein entweichen. Die Feuerung ist von



besonderer Bauart; sie besitzt Schrägrost und selbsttätige Kostbeschickung, welche rauchfreies Arbeiten ermöglichen.

Eine andersartige, bewährte Vorrichtung ist der durch Bild 6 im Schnitt dargestellte Trockenturm von F. L. Smidth & Co. in Kopenhagen. In diesen werden Kalkstein oder Ton ohne vorheriges Zerkleinern unmittelbar vom Steinbruch aus mittelst Luftseilbahn eingefüllt. Mitten in den Trockenturm ist ein großer Heizkegel eingebaut, über welchen das zu trocknende Gestein gestürzt wird, bis er ganz davon umgeben ist. In die Höhlung des Heizkegels werden durch einen Kanal die Feuergase der auf dem Bilde sichtbaren Feuerung geleitet. Diese Feuerung wird durch Einblasen der Verbrennungsluft unter den Kost betrieben. Vom gleichen Ventilator aus (s. Bild) wird hinter der Feuerung ein zweiter Luftstrom eingeblasen, der sich mit den Feuergasen mischt. Der so entstehende heiße Luftstrom tritt unter Druck durch die zahlreichen Öffnungen rings im Heizkegel und zwischen dem zu trocknenden Gestein hindurch. Eine Feuerung heizt mehrere nebeneinanderstehende Trockentürme.

Der in dieser Weise vorgetrocknete Kalkstein und Mergel oder Ton gelangt nun in die Mühle, wo er vorzerkleinert und zu Mehl vermahlen wird, wie es aus der Beschreibung der Vorzerkleinerungs- und Feinmahlmaschinen näher ersichtlich ist.

Es folgt dann entweder das Anfeuchten des bis dahin ganz trockenen Mehles zum Zweck der Herstellung von Ziegeln aus ihm, die nach dem Trocknen in verschiedenartigen Schachtöfen oder in Ringöfen gebrannt werden können; oder man feuchtet das Mehl nur so weit an, daß es sich ballt, und befördert es ohne weiteres mittelst Schnecken in Drehrohröfen.

Das Anfeuchten des Rohmehles zum Zwecke des Verziegelns geschieht in der Anfeuchtschnecke. Diese besteht aus einer vierkantigen Welle, die mit schmalen, starken, auf einer Schraubenlinie verteilten Flügeln besetzt ist und sich in einem offenen Troge dreht. Darüber liegt ein fein gelochtes Rohr einer Wasserleitung, aus welchem das den Trog durchwandernde Mehl in dem gewünschten Maße



besprengt wird, während unterdessen die Flügel das besprengte Mehl zerteilen, damit die Anfeuchtung eine gleichmäßige werde.

Man geht mit dem Anfeuchten entweder bis zur Herstellung eines zähen Teiges (etwa 14 bis 22 i. H. Wasser) oder nur so weit, daß das Mehl sich durch Druck dicht zusammenballen läßt (etwa 6 bis 10 i. H. Wasser), je nachdem man die Ziegel mit der Strangpresse oder mit der Trockenpresse herstellen will.

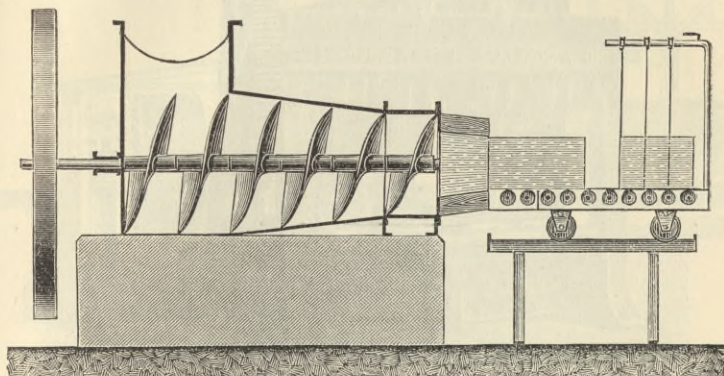


Bild 7.

Die Strangpresse (Bild 7) besitzt eine liegende starke Schnecke mit einzelnstehenden Flügeln, auch Messer genannt, welche sich in einem geschlossenen eisernen Kasten dreht. An ihrem hinteren Ende wird sie von der darüber liegenden Anfeuchtschnecke aus durch den senkrechten Stutzen hindurch mit der vorbereiteten Rohmasse gespeist und drückt diese nun durch ein vor ihr befestigtes Mundstück hinaus, wo der entstehende Strang auf den Rollen eines fahrbaren, von Hand bedienten Abschneidetisches hingeleitet. Die Rollen sind gewöhnlich mit Filz überzogen. Zum Abschneiden der einzelnen Ziegel dienen die auf dem Bilde sichtbaren, in einen Bügel eingespannten Drähte. Das Mundstück bedarf

einer steten Bewässerung seiner Reibungsfläche, weshalb diese mit Blechschuppen gepanzert ist, zu denen eine kleine Wasserleitung führt. Es sei noch bemerkt, daß das durch die Messer leicht verursachte Herumschleifen der Masse verhindert werden muß; man läßt deswegen von der einschließenden Wandung aus einige kräftige Dornen zwischen die Messer hineinragen.

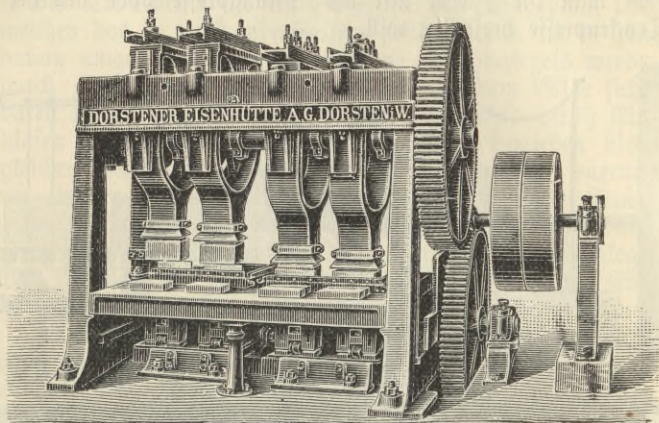


Bild 8.

Von Trockenpressen gibt es verschiedene Arten: Schlagpressen, Wasserdruckpressen („hydraulische“ Pressen) und Aniehebelpressen. Am meisten verbreitet sind die Schlagpressen, und zwar die Dorstener Presse und die Presse von Winkler. Bei beiden fallen schwere Rammen auf die in entsprechende Höhlungen des Pressentisches von einer Vorrichtung selbsttätig eingefüllte, wenig feuchte Rohmasse. Jeder Ziegel wird durch mehrere Schläge geformt, so daß die in ihm eingeschlossene Luft Zeit hat, zu entweichen. Nach dem letzten Schläge hebt die Presse den fertigen Ziegel heraus und schiebt ihn zur Seite, wo er abgenommen wird. Die Dorstener Presse ist durch das nebenstehende Bild 8 veranschaulicht.



Die Ziegel müssen nun vor dem Brennen erst getrocknet werden. Bei denjenigen „trocken“ gepreßten Ziegeln, die im Ringofen gebrannt werden sollen, ist keine besondere Trockenvorrichtung notwendig, weil nach oberflächlichem Abtrocknen der Ringofen selbst das übrige Trocknen besorgen kann. Sonst aber trocknet man die Ziegel, besonders die naß gepreßten, vor dem Einsetzen in den Brennofen meist gründlich aus.

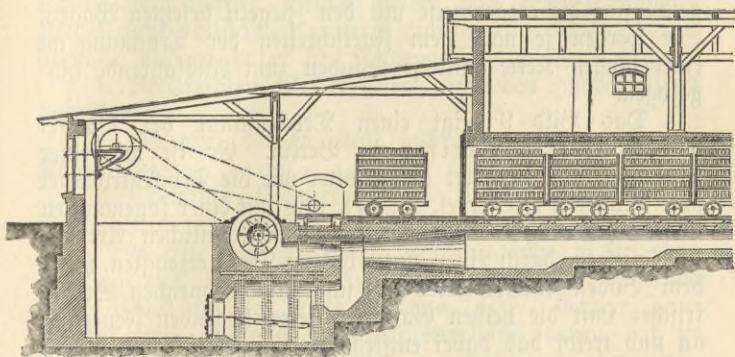


Bild 9.

Während sonniger warmer Sommerzeit ist das Trocknen der Ziegel an freier Luft möglich, wobei man sie entweder auf Lattengerüste oder in mehreren Reihen unmittelbar aufeinander stellt, indem man die Ziegel jeder höheren Reihe gegen die Ziegel der darunter stehenden im Winkel versetzt. Abgesehen von dieser zeitweisen Ausnahme sind meist besondere Trockenvorrichtungen für die Ziegel notwendig.

In älteren Werken bedient man sich zuweilen noch der früher mehr verbreiteten Darren oder Trockenkammern, deren aus Gußeisenplatten zusammengesetzter Boden auf den Zügen einer versenkt angeordneten Feuerung liegt. In kleine Kammern läßt man die Züge durch den Fußboden hindurch ausmünden und zieht die Dämpfe durch den Schornstein ab; große Kammern versieht man mit Ventilatoren.



In der Regel aber verwendet man Trockenkanäle (siehe Bild 9). Es sind dies zu ebener Erde in Mauerwerk hergestellte, etwa manns hohe, geradlinig verlaufende lange Kanäle, deren mehrere dicht nebeneinander gebaut werden und deren jeder sowohl mit einem Geleise ausgestattet ist, als auch geheizt und an seinen Enden mit Türen verschlossen wird. Auf diesen außerhalb bis zur Ziegelpresse weitergeführten Geleisen stehen dicht aneinandergeschlossen die etagenweise mit den Ziegeln besetzten Wagen. Sie werden je nach dem Fortschreiten der Trocknung an einer langen Kette mittelst Winden zum Ausfahrende hingezogen.

Das Bild 9 zeigt einen Trockenkanal der Bauart von Möller & Pfeifer in Berlin. Er ist mit einer Feuerung ähnlicher Art ausgestattet wie die Trockentrommel von Möller & Pfeifer (s. S. 87), also mit einer sogenannten „Ejektorgeuerung“. Diese saugt, in einer ähnlichen Art wie der Injektor, durch einen unter hohem Druck erzeugten, unter dem Boden des Kanales sich schnell ausdehnenden Strom frischer Luft die heißen Gase der tiefer liegenden Feuerung an und treibt das dabei entstehende Luftgemisch von mäßig hoher Temperatur durch eine Reihe von Öffnungen des Bodengewölbes in den eigentlichen Trockenkanal hinein, welcher mit den Ziegelwagen (Etagenwagen) besetzt ist. Am anderen Ende des Trockenkanales wird die verbrauchte, mit Wasserdampf gesättigte Luft durch einen Schornstein abgeführt.

Verbreitet ist ferner der Trockenkanal der Bauart von Gummer des Eisenwerkes (vorm. Nagel & Rämp) A. G. in Hamburg. Dieser ist mit einer selbsttätig beschickten Treppenrostfeuerung, sowie mit Ventilatoren ausgestattet.

Da, wo die Rohziegel im Ringofen gebrannt werden, bedient man sich in neuerer Zeit der äußeren Abhitze des Ringofens zum Trocknen der Rohziegel. Man stellt zu diesem Zwecke die Bedachung des Ringofens luftdicht her, bringt um den Ringofen Gestelle für die Ziegel an und leitet die mit Wasserdampf gesättigte Luft durch mehrere, hohlen Wänden gleichende Schornsteine aus Holz ab. Es ist dies die Bauart C o h r s.

### **Das Brennen des Portlandzementes.**

In dem Rohziegel, wie auch in der ungeformten Rohmasse, liegen Kalkstein und Ton, deren feuerbeständige feste Bestandteile sich chemisch mit einander verbinden sollen, noch solcher gegenseitiger Einwirkung unfähig nebeneinander. Sie enthalten außer der Kohlenäure des kohlen sauren Kalkes noch Wasser, welches selbst aus dem getrockneten Ziegel nicht vollständig entfernt worden ist. Das Zementbrennen umfaßt daher der Reihe nach folgende Vorgänge:

1. Verdampfen alles Wassers, auch des Hydratwassers des Tones;
2. Vergasen der an Kalk und Magnesia gebundenen Kohlenäure;
3. Chemische Einwirkung der feuerbeständigen festen Bestandteile auf einander.

Der erste der genannten drei Vorgänge ist bei etwa 600° bereits beendet, der zweite vollzieht sich bei etwa 800—1000° und der dritte bei etwa 1400°. Letztere Temperatur muß natürlich so lange einwirken können, daß sie sich auch den innersten Teilchen der Rohziegel oder Rohmassenbrocken mitteilt; sie muß aber auch so lange anhalten, daß alle Teilchen zum Erweichen kommen, oder muß bei kurzer Dauer des Durchglühens entsprechend überschritten werden. Ein zu langes Einwirken der Glut ist dagegen schädlich.

Dieses Brennen geschieht in großen Brennösen verschiedener Art, in welchen zur Erzeugung der Glut Steinkohle oder Koks verbrannt wird. Wie große Mengen von Steinkohle oder Koks erforderlich sind, läßt sich im voraus nur nach den Erfahrungen abschätzen, die man mit Öfen gleicher Art wie der zur Verfügung stehende gemacht hat.

Der zum Austreiben des Wassers, welches beim Vortrocknen nicht entfernt werden konnte, theoretisch nötige Wärmeaufwand entzieht sich schon durch die schwankenden Mengen der verbliebenen Feuchtigkeit der Berechnung. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß jedes Kilogramm des



anhaftenden Wassers<sup>1)</sup>, bei Annahme einer Anfangstemperatur von  $10^{\circ}$  C, zum Verdampfen  $90 + 537 = 627$  Wärmeeinheiten<sup>2)</sup> verbraucht.

Aber auch das Austreiben der Kohlen Säure ist mit einem erheblichen Wärmeverbrauch verbunden. 1 kg reiner kohlen-saurer Kalk (bestehend aus 560 g Kalk und 440 g Kohlen Säure) erfordert ohne das Vorwärmen bis zur Zersetzungstemperatur, also allein zur Austreibung seiner Kohlen Säure 447 Wärmeeinheiten. Daher verbraucht die Rohmasse für 10 000 kg Portlandzement, unter der Annahme, daß der Zement 60 i. H. Kalk enthalten wird, daß also 4700 kg Kohlen Säure ausgetrieben werden müssen,  $447 \times 10\,700$  Wärmeeinheiten zur Austreibung der Kohlen Säure. Durch weiteres Ausrechnen ergibt sich, daß allein zu dieser Zersetzung auf die 10 000 kg Portlandzement theoretisch schon fast 700 kg einer mittelguten Steinkohle von 7000 Wärmeeinheiten Heizwert nötig sind.

Der Wärmeverbrauch sowohl bei der Verdampfung des Wassers, als auch bei Vergasung der Kohlen Säure hält die Steigerung der Temperatur der zu brennenden Masse so lange auf, bis er beendet ist.

Bei allen Brennöfen, mit Ausnahme der Drehrohröfen, muß besondere Sorgfalt darauf verwendet werden, daß der Zug sich auf den ganzen Querschnitt des Ofens möglichst gleichmäßig verteilt, damit überall Flamme hinkommt und im ganzen Querschnitt die Hitze gleich stark wird. Dazu ist auch eine gleichmäßige Verteilung der Kohle (Flammkohle oder Koks) erforderlich, die übrigens nie über Maßgröße haben darf und für manche Öfen noch feiner zerkleinert sein muß. In denjenigen Ofenarten, in welchen die Ziegel regelmäßig gesetzt stehen, erreicht man die richtige Feuerverteilung durch gitterartiges Setzen allein oder auch noch durch Anordnung ausgeparter besonderer Kanäle; in denjenigen Ofenarten aber, in welche man die Ziegel

<sup>1)</sup> Außerdem ist auch eine geringe Menge Hydratwasser (chemisch gebundenes Wasser) des Zementes auszutreiben.

<sup>2)</sup> Eine solche Wärmeeinheit, eine „große Kalorie“, erwärmt 1 kg Wasser um  $1^{\circ}$  C.



oder die Massebrocken einfach hineinstürzt, ist man genötigt, die in der Weißglut bald hier bald dort zusammenbackenden und den Zug verlegenden Massen mit langen eisernen Stoßstangen immer wieder zu zerteilen.

Durch das Brennen kommt die Zementmasse zum Erweichen und zum „Sintern“, nicht aber bis zum Schmelzen. Die Zementmasse zieht sich zusammen und erlangt größere Dichte (größeres spezifisches Gewicht); das so bewirkte Zusammeninken des Ofeninhaltes ist ziemlich erheblich und tritt bei Ofen, in denen die Ziegel regelmäßig gesetzt werden, sehr deutlich in Erscheinung. Die gar gebrannten Stücke, die „Klinker“ sind oft um ein Fünftel kürzer und schmaler als die naß gepreßten Rohziegel waren. Die Stücke sind in solchem Fall also auf die halbe Raumgröße (das halbe Volumen) zusammengesintert. Der gut gare hochkalkige Klinker sieht grau oder grünlichgrau aus; er ist rauh, porös, klingend und erheblich schwer. Man setzt ihm zum Verlangsamten des Abbindens und zur genaueren Regulierung der Bindezeit des Zementes bis zu 2 a. S. Gipsstein vor dem Mahlen zu.

Überbrannte Klinker sind nicht mehr porös und haben basaltartiges Aussehen; sie ergeben keinen Zement mehr.

Die Klinker für rasch bindenden Portlandzement, welche geringeren Kalkgehalt haben, brennt man entsprechend weniger scharf und läßt ihnen zum Zweck besonders raschen Abbindens mitunter einen Teil ihres Schwachbrandes beigemischt. Zur Herstellung eines für besondere Zwecke verlangten Gießzementes setzt man zu den Klinkern unmittelbar vor dem Mahlen eine geringe Menge (etwa  $\frac{1}{2}$  a. S.) Soda.

Zum Brennen des Portlandzementes benutzt man heutzutage allgemein, fast schon ausschließlich, ununterbrochen betriebene Ofen. Der in der ersten Entwicklungszeit der Portlandzementtechnik herrschende Schachtofen mit unterbrochenem Betrieb soll trotzdem hier nicht übergangen werden, weil seine Betrachtung auch heute noch von einigem Interesse ist.

Im übrigen werden wir nur diejenigen Brennösen näher beschreiben, die zur Zeit weiter verbreitet sind. In der

Reihenfolge ihres ersten Auftretens genannt, sind dies: Ringofen, Diezschscher Stagenofen, Alsborgofen (Schöferofen), Schneiderofen und Drehrohrföfen. Daneben werden wir einige andere immerhin bekannte Öfen nennen.

### Der Schachtöfen für unterbrochenen Betrieb.

Dieser Schachtöfen (Bild 10) ist dem gewöhnlichen Kalkbrennofen mit unterbrochenem Betrieb<sup>1)</sup> sehr ähnlich. Er unterscheidet sich von dem letzteren fast nur dadurch,

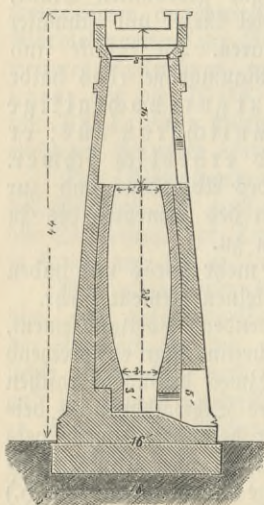


Bild 10.

daß das ganze Bauwerk wegen der bedeutend höheren Temperatur, der es ausgesetzt ist, im Inneren besonders feuerfest ausgekleidet, d. h. mit basischen Schamottziegeln ausgemauert werden muß, daß ein festerer Bau und gute Verankerung erforderlich ist. Während bei den Kalkbrennöfen ein Schornstein nicht gerade nötig, ist er hier über der Gicht- oder Einfüllöffnung unbedingt notwendig, um einen kräftigen Zug und dadurch eine bedeutendere Hitze zu erzeugen. Dieser Schornstein soll jedoch nicht auf das Schamottfutter, sondern auf die äußere Ringwand des Ofens gestellt werden, und zwar deshalb, weil das Schamottfutter in gewissen Zeiträumen herausgenommen und durch ein neues ersetzt werden

muß. Andererseits dehnt sich das Futter beim Brennen so sehr aus, daß ein darauf gestellter Schornstein sehr bald Risse bekommen und baufällig werden würde.

Bild 10 zeigt den Ofen im Schnitt durch die Einsetz-

<sup>1)</sup> Siehe: Zwick, Kalk und Luftmörtel.



und die Ausziehhöfnung<sup>1)</sup>. Mit dem Schornstein beträgt die Höhe 12.5 bis etwa 30 m. Etwa 1 m oder etwas mehr über dem Boden besitzt der Ofen einen Kofst aus starken Schmiedeeisenstäben, die sich herausziehen lassen. In seinem unteren Viertel verengt sich der Schacht gegen den Kofst hin etwas, so daß dort eine „Kast“ entsteht. Unter dem Kofst befindet sich die Öffnung zum Entleeren des Ofenschachtes (Ausziehhöfnung). Die im untersten Teil des Schornsteines befindliche Einsezhöfnung liegt zweckmäßig nicht gerade über der Ausziehhöfnung.

Zwischen dem Schamottfutter und dem Ringgemäuer des Ofens befindet sich eine schlecht wärmeleitende Schicht, welche durch Ausfüllen des Zwischenraumes mit Asche oder Sand gebildet ist.

Der Betrieb des Ofens erfolgt nun in der Weise, daß man zunächst auf den Kofst allerhand Abfallholz und darüber Steinkohle breitet und auf diese eine starke Kofstschicht setzt. Es folgen nun zwei regelmäßig, und zwar gitterartig gesezte Schichten Zementrohziegel und darüber eine schwächere Kofstschicht. Auf diese Weise mit Kofst- und Ziegelschichten wechselnd, füllt man den Ofenschacht bis zur oberen Öffnung. Die Kofstschichten sind oben am schwächsten.

Von großer Bedeutung ist das Verhältnis der Stärke der Kofstschichten zu jener der Ziegelschichten. Dieses Verhältnis richtet sich nach den besonderen Eigenschaften der Rohstoffe. Man kommt durch mehrmaliges Brennen und genaues Beobachten leicht auf das richtige Verhältnis für den betreffenden Ofen.

Nachdem der Ofen in der beschriebenen Weise gefüllt worden ist, wird der auf dem Kofste befindliche Brennstoff angezündet. Zuvor ist noch die Einseztüre vermauert worden, aber eine kleine, nur lose geschlossene Beobachtungsöffnung in dieser Mauerung vorgesehen.

Die zur Verbrennung nötige Luft tritt durch den Kofst ein, und die Verbrennung vollzieht sich derart, daß die

<sup>1)</sup> Als Beispiel der in den Abmessungen etwas verschiedenen Ofen ist hier ein Ofen der Zementfabrik Rowunden abgebildet.

Koks-schichten nach und nach in Glut geraten, bis die Flamme oben an der Sichtöffnung sichtbar wird. Teils infolge des Verbrennens des Koks, teils auch infolge des Sinterns der Masse sinkt die ganze Ofenbeschickung bis auf etwa zwei Drittel ihrer ursprünglichen Höhe zusammen. Man füllt deshalb, sobald das Feuer die obersten Schichten erreicht hat, nach Aufbrechen der vermauerten Einseßöffnung neue Zementrohziegel (zunächst Ungares vom letzten Brande) und etwas Koks nach. Die nachgefüllten Zementrohziegel werden in dem bereits heißen Schachte mit verhältnismäßig wenig Brennstoffzugabe gar gebrannt. Der Brand eines Ofens, welcher 50 t Zement liefert, ist in 24 Stunden beendet.

Waren die Ziegel gut vorgetrocknet, gleichmäßig gesetzt und die Schichtenhöhe, sowie die Koxsmengen richtig bemessen, der Koks auch bis auf richtige Korngröße vorgebrochen, dann kann der ganze Einseß bis auf einen geringen Teil tadellos gar gebrannt werden.

Der Ofen wird so lange sich selbst überlassen, bis er vollständig ausgebrannt ist; dann erst wird er entleert. Beim Herausziehen der Koxstäbe rutscht der Ofeninhalt noch nicht herunter, da er zusammengebacken ist. Man muß ihn deshalb mit langen Brechstangen zerteilen.

Bei diesem Verfahren geht die ganze Wärme verloren, die das Ofenmauerwerk während des Brandes aufgenommen hat. Ferner erfordert das Einsetzen viel Handarbeit, und man ist an den teureren Koks gebunden.

### Der Ringofen.

Der Ringofen ist eine Erfindung des Baumeisters Friedr. Hoffmann in Berlin, welcher sich durch Einführung dieser Ofenart (seit 1858) ein unvergängliches Verdienst erworben hat.

Die bedeutenden Erfolge, welche mit dem Ringofen zuerst in der Ziegelindustrie erzielt wurden, gaben schon frühzeitig Veranlassung, ihn auch zum Brennen von Portlandzement zu verwenden; mußten doch ununterbrochener Betrieb,



erhebliche Brennstoffersparnis, zweckmäßige Trocknung und Vorwärmung der eingesetzten Rohziegel und dazu die sichere Leitung des Brennvorganges, d. i. die Regelung der Stärke und Dauer der Glut, ihn auch für die Portlandzementindustrie sehr vorteilhaft erscheinen lassen.

Wir begnügen uns an dieser Stelle mit einer knappen Beschreibung des Ringofens und verweisen des Weiteren auf H. Zwicks Werk: „Natur der Ziegeltoner und Ziegelfabrikation der Gegenwart“ (Hartleben's Verlag, Wien.)

Den Grundgedanken, auf welchem Bauart und Betrieb des Ringofens beruhen, erläutern wir mit Hilfe von Bild 11 (Grundriß). Dieses Bild zeigt einen in 12 Abteilungen geteilten ringförmigen Ofenraum: den „Brennkanal“. Jede der 12 Abteilungen, „Kammern“ genannt, ist an der Außenmauer durch eine Türöffnung zugänglich, ist vom Fußboden aus durch einen absperrbaren Fuchs mit dem in der Mitte stehenden Schornstein S verbunden

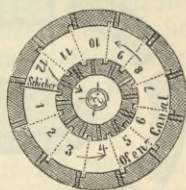


Bild 11.

und besitzt in der kreisbogenförmig gewölbten Decke mehrere Reihen verschließbarer Einschüttöffnungen für die Kohle. Man baut den Brennkanal jedoch nicht mehr mit kreisförmigem Grundriß, sondern länglich gestreckt und erhält so zwei gerade Längsseiten, die an den Enden durch halbkreisförmige Verbindungsteile aneinander geschlossen sind (Bild 12). Es wird dadurch ein Sammelkanal erforderlich, der die Verbindung zwischen den Füchsen und dem Schornstein in der Längsachse des Ofens herstellt. Indem nun jeder Fuchs an seiner senkrechten Ausmündung in den Sammelkanal durch eine Glocke (s. Bilder 13, 14) verschlossen und durch deren Hochziehen teilweise oder ganz geöffnet werden kann, ist es möglich, eine jede Kammer nach Bedarf mit dem Schornstein in Verbindung zu bringen. Indem man weiter auch die Türöffnungen der Kammern nach Bedarf vermauert oder öffnet, kann man das Feuer leiten, wie man will. Man läßt nun das Feuer immer in der gleichen Richtung durch den Brennkanal fortschreiten und unterhält

es mittelst Einschütten von Steinkohle (Flammfeinkohle) durch die kleinen Öffnungen im Gewölbe.

Angenommen, Kammer 7 sei gerade in der stärksten Glut, die Kammern 3—6 seien im Abkühlen, 8—12 würden vorgewärmt, Kammer 1 eben mit vorgetrockneten Ziegeln besetzt und Kammer 2 werde eben entleert. In diesem Fall tritt durch die offene Thür von Kammer 2 kalte Luft ein, welche sich an den glühenden Klinkern in den Kammern 2, 3, 4 bis 6 mehr und mehr erwärmt, indem sie diese ab-

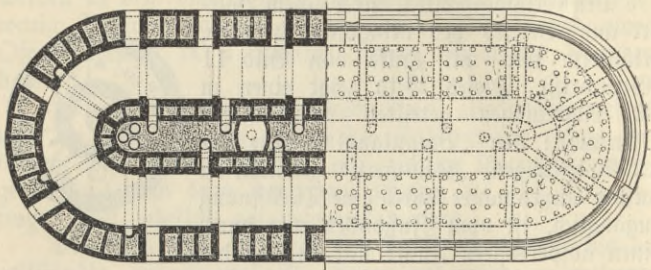


Bild 12.

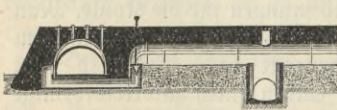


Bild 13.



Bild 14.

kühlt und dann Kammer 7 erreicht, wo sie stark erhitzt zur Verbrennung des von oben eingestreuten Brennstoffes dient. Die Verbrennungsgase gelangen nun in Kammer 8 und erhitzen deren Ziegel bis zur Glut, wärmen weiter die Kammern 9 bis 12 vor, indem sie ihre Wärme größtenteils an die Ziegel abgeben, und entweichen endlich durch den Fuchs der Kammer 12 mit nicht mehr Wärme in den Schornstein, als zur Erhaltung des Zuges erforderlich ist. Um hierbei einen Zufluß von frischer, kalter Luft aus Kammer 1 unmittelbar in Kammer 12 zu verhindern, sind



diese beiden durch einen Schieber getrennt. Die Schieber wurden früher aus drei keilförmigen Eisenblechstücken zusammengesetzt und konnten herausgezogen werden; heutzutage macht man sie aus starkem Papier und brennt sie später ab.

Ist Kammer 7 gar gebrannt und 1 neu beschickt, sowie mit Schieberpapier abgeschlossen, so ist inzwischen die Kammer 2 und zum Teil auch 3 ausgeleert worden, so daß die frische, kalte Luft durch die Tür von 3 und vielleicht auch von 4 eintreten kann. Der Fuchs von Kammer 12 wird geschlossen, dagegen der von Kammer 1 geöffnet, um nun hier die Luft, welche von Kammer 3 durch 4 usw. kommt, in den Schornstein eintreten zu lassen. Das Garbrennen vollzieht sich jetzt in Kammer 8, während die Kammern 3 bis 7 kühlen und die Kammern 9 bis 1 vorgewärmt werden. In dieser Art weitersehreitend, setzt sich der Brand ununterbrochen um den ganzen Ring fort.

Die nähere Beschreibung der Bauart des Ringofens geben wir mit Hilfe der Bilder: 12 (Grundriß), 13 (Längenschnitt durch den Rauchsammler) und 14 (Querschnitt). Diese Bilder stellen einen Hoffmannschen Ringofen dar, wie er von Friedr. Hoffmann, technisches Bureau in Berlin N (Kesselstraße), gebaut wird. Der langgestreckte, in sich zurücklaufende Brennkanal ist in 16 „Kammern“ geteilt, die aber nicht durch Wände voneinander getrennt sind, sondern deren Abgrenzung nur an den Gurtbögen erkennbar ist, die, links von jeder Tür einer, quer unter dem Gewölbe des Brennkanales her gezogen sind, sowie die Kammern auch durch die Türen selbst erkennbar sind. Jede Kammer ist mindestens etwa 2.5 m hoch und 3.5 m breit. Sie wird mit den vorgetrockneten Rohziegeln in der Art vollgesetzt, daß unter jedem der in Reihen angeordneten Kohlenschächte des Gewölbes ein bis auf den Boden reichender Schacht aus Ziegeln gebildet wird, der jedoch durch geeignet enge Setzen die oben eingestreute Feinkohle in verschiedene Höhen zwischen die gitterartigen Ziegelreihen verteilt.

Der Boden jeder Kammer ruht auf schlecht wärmeleitenden und die Bodenfeuchtigkeit fernhaltenden Schichten;

erstere sind aus Sand, letztere aus Schlacke u. dgl. gebildet. Auch ist das übrige Mauerwerk des Ringofens mit schlecht wärmeleitenden Sandschichten durchsetzt.

Jede Kammer ist mit einem zum Rauchsammlerkanal oder kurz „Rauchsammler“ führenden und hierdurch mit dem Schornstein in Verbindung stehenden „Fuchs“ versehen, der etwa 30 cm Breite und etwa 75 cm Höhe besitzt. Die Eintrittsöffnung dieses Fuchses ist in den gekrümmten Kammern an der Außenmauer, sonst aber an der Innenmauer, und zwar immer unten und am Ende der Kammer angebracht. Daß der Fuchs seine Eintrittsöffnung unten am Boden hat, ist deshalb notwendig, weil die heißen Gase sonst oben am Gewölbe hinströmen und nur wenig Hitze zum Boden gelangen würde. Dem gleichen Zwecke dienen die Gurtbögen, an denen deshalb beim Zusammensinken des Brenngutes durch das Sintern der am Gewölbe entstehende Hohlraum durch Nachfüllen des „Schwachbrandes“ früherer Brände und trockener Ziegelbrocken dicht gehalten werden muß.

Die Luft, welche durch die Tür der letzten abkühlenden Kammer kalt eingetreten ist, sich vorgewärmt und in den mit Kohle beschütteten 1 oder 2 Kammern als Verbrennungsluft gedient hat, gelangt nun durch die Füchse der letzten vorzuwärmenden Kammern, welche stets die einzigen geöffneten sind, in den Rauchsammler und durch dessen Fuchs (Bild 13) in den Schornstein. Das Schließen und Öffnen der Füchse der Kammern geschieht durch je eine Rauchglocke, welche auf die Mündung des Fuchses in den Rauchsammler niedergelassen (s. in Bild 13) und zum Zweck des Öffnens in die Höhe gezogen wird. (s. in Bild 14). Die Gewölbeöffnung über dem großen Fuchs dient zum Einsteigen und Ausräumen. Der Schornstein ist außerhalb stehend gedacht, während er in anderen Fällen in der Mitte des Ringofens steht.

Bei Beginn des Betriebes wählt man eine Kammer als Ausgangspunkt. In ihr wird eine Stirnwand mit Rostfeuerungen aufgeführt, hinter welche man die zu brennenden Ziegel setzt. Dann unterhält man das Feuer



auf den Kosten so lange, bis die Ziegel zum Glühen kommen, und wirft nun Kohle von oben durch die Heizlöcher hinein, die nun sofort brennt. Ist so das Feuer im Gange, dann wird die Stirnwand abgebrochen. Die zweite Abteilung gelangt durch die abziehenden Feuergase allmählich in Hitze, so daß man auch hier die Kohle von oben einstreuen kann. So geht man nach und nach zum regelmäßigen Betriebe über. Die Beschickung der Heizlöcher erfolgt mit kurzen Zwischenräumen.

In neuerer Zeit hat neben dem Hoffmannschen Ringofen auch der Eckardt'sche Ringofen der Firma Eckardt & Hotop in Berlin W. Verbreitung gefunden. Die Besonderheit seiner Bauart ist der Wegfall der öfter zu erneuernden Gurtbögen, an deren Stelle nun verschließbare, lange, quer durch das Gewölbe gehende Schlitze treten, durch welche man größere Mengen Schwachbrand nachfüllen kann, um so die Abdichtung gegen das Gewölbe hin zu bewirken.

Der Ringofen wird ununterbrochen betrieben. Er braucht verhältnismäßig wenig Brennstoff, nämlich etwa 15 bis 20 kg Steinkohle für 100 kg Portlandzement.

Beim Bau des Ringofens ist vor allen Dingen auf gutes Isolieren des ganzen Ofens gegen den Baugrund zu sehen und die Bewegung des Mauerwerkes durch die abwechselnde Erhitzung und Abkühlung der Kammern zu berücksichtigen. Feuchter Baugrund wird mit Asphaltplatten überdeckt, die aber zu ihrem Schutze gegen die Hitze 0.8 bis 1 m unter der Ofensohle liegen müssen.

Alle der Glut ausgesetzten Wände und Gewölbe werden aus Schamottsteinen hergestellt, und zwar die Wölbungen und die Heizschächte aus Formsteinen.

### Der Diehsch'sche Etagenofen.

Dieser ununterbrochen zu betreibende Ofen, der durch Bild 15 im senkrechten Schnitt dargestellt ist, kann als ein Schachtofen betrachtet werden, dessen oberes, zum Vorwärmen bestimmtes Ende gegen den übrigen Schacht seitlich verschoben und nun mit ihm durch einen ungefähr waagrechten Kanal verbunden worden ist.

In dem Bilde ist A der „Vorwärmer“, zu welchem auch das anliegende Ende des Verbindungskanales S noch zu rechnen ist, C der „Brennraum“ oder Sinterraum und darunter bis zum abschließenden Roste der „Kühlraum“. Die Ausfütterung mit tonreichen Schamottziegeln ist tiefschwarz gezeichnet.

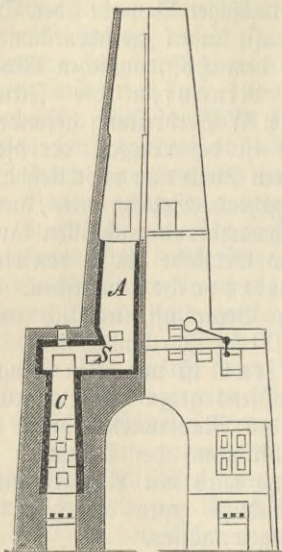


Bild 15.

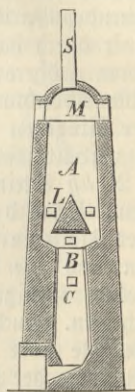


Bild 16.

Der Ofen wird als „Doppelofen“ gebaut, so daß auf der rechten Seite des Bildes, welche die äußere Ansicht zeigt, ein ebensolcher Brennschacht nebst Vorwärmer, nur in entgegengesetzter Stellung, zu denken ist. Das Tor zwischen beiden dient als Durchgang zu der anderen Seite der Ofen.

Die schon vorgetrockneten Rohziegel werden durch die im Bilde sichtbare oberste seitliche Öffnung in den Vorwärmer A eingeworfen und gelangen von da (infolge des Auffüllens von C) durch Nachrutschen bis S. Von dort



müssen sie durch die auf dem Bilde über C erkennbare Feuer-  
tür mittelst einer eisernen Stange heruntergeholt werden.  
Hierbei wird auf jede in C gebildete Schicht die entspre-  
chende Menge Steinkohle (Kußgröße) gestreut. In gleicher  
Weise wird der Ofen durch eine andere, der ersteren gegen-  
überliegende Feuertür bedient.

Diesem Auffüllen von C geht immer ein Ausleeren  
des abgekühlten Klinkers durch den Kof, das „Ziehen“  
voraus, wodurch der übrige Inhalt des unteren Schachtes  
nachsinkt. Das Nachsinken erleidet durch Anhaften und An-  
schmelzen des Klinkers an den Ofenwandungen ziemlich  
leicht erhebliche Störungen, die aber durch rechtzeitiges  
Stoßen mit eisernen Stangen verhindert werden können.  
Auch muß ein Zusammenbacken der Klinker zu großen Klum-  
pen, welche den Zug verlegen, möglichst vermieden werden.  
Der untere Schacht besitzt deshalb in verschiedenen Höhen  
Stoßöffnungen.

Dießsch hat seinen Stagenofen später auch so eingerich-  
tet, wie es Bild 16 zeigt. Er ordnete also den Vorwärmer  
A gerade über dem Brennschacht an und gab der Be-  
schickung des ersteren durch einen quer hindurchgezogenen  
sattelförmigen Gewölbebogen L den nötigen Halt. Auf den  
Vorwärmer ist eine Kuppel M aufgesetzt, aus welcher die  
Gase durch das Rohr S entweichen<sup>1)</sup>.

Die Angaben über den Brennstoffverbrauch für  
je 100 kg Zement weichen ziemlich stark von einander ab,  
wie folgende Tafel zeigt. Es erfordern nach<sup>2)</sup>:

	Schachtofen, kg Kof	Ringofen, kg	Stagenofen kg Kohle
Tetmajer 1884	27.9	23.7 Kohle	14.4
Hoffmann 1885	—	15.8 Kof 13.3 Kohle	—
Meyer 1886	—	13.7 Kof 15.8 Kohle	12.9
Dießsch 1886	25—27	—	15.9—19
Thomei 1886	—	15.8 Kohle	—

<sup>1)</sup> D. R. P.

<sup>2)</sup> Zeitschr. d. Ver. d. Ing., Jahrg. 1888, S. 712.

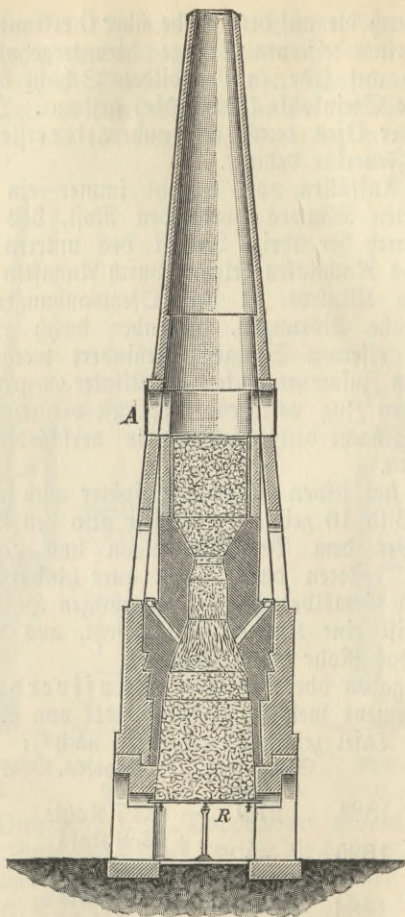


Bild 17.

Die Abweichungen müssen auf verschiedene Beschaffenheit der Brennstoffe und verschiedene Zusammensetzung der Rohmassen zurückgeführt werden.



### Der Aalborgofen.

Diese ununterbrochen betriebene Abart des Schachtofens (siehe Bild 17) ist aus dem „Schöferofen“ entstanden. Der Aalborgofen wird gebaut von F. L. Smidth & Co., Ingenieure und Maschinenfabrikanten in Kopenhagen. Das Bild zeigt ihn im Schnitt.

Durch die mit A bezeichnete seitliche Öffnung am oberen Schachtende werden die getrockneten Ziegel eingeworfen. Der oberste Teil des Schachtes, in den sie hier gelangen, dient lediglich als Vorwärmer. Hier gelangt keine Kohle hin, sondern nur die heißen Verbrennungsgase, die aus dem darunter liegenden Brennraum hinaufsteigen. Beim Übergang zum Brennraum verengt sich der Vorwärmer sehr erheblich und entlastet dadurch die erweichende Masse im Brennraume, dessen heißester, mit Kohle beschickter Teil sich unten wieder erheblich erweitert. Diese Art der Querschnittsveränderung ist geeignet, der Bildung großer Klumpen und dem Hängenbleiben an den Wandungen entgegenzuwirken. Außerdem sind in dem engen Teile Stoßöffnungen vorhanden.

Das Zuführen der Kohle geschieht durch enge, verschließbare Kohlenschächte (siehe Bild 17), die rings um den Ofen verteilt sind.

Der Kühlraum ist unten durch einen Krost abgeschlossen, durch welchen das Entleeren geschieht.

Der Ofen wird in solcher Größe ausgeführt, daß die Einwuröffnung A sich in etwa 14 m Höhe befindet. Schornstein- und Schachtmauerwerk sind voneinander möglichst unabhängig gemacht.

Für 100 kg Portlandzement sind etwa 13 bis 14 kg Steinkohle erforderlich.

Der Ofen ist zur Zeit besonders in mehreren außerdeutschen großen Zementwerken in Gebrauch.

### Der Schneiderofen.

Mit diesem Namen wird ein ziemlich einfach gestalteter, für Koksheizung eingerichteter Schachtofen für ununterbrochenen Betrieb bezeichnet, dessen Besonderheit seine eigenartige Be-

scheidungswaise ist. Man verhindert nämlich das Anschmelzen der Beschickung an den Ofenwandungen, indem man mit Hilfe einer einfachen Vorrichtung den jeder Kohziegelschicht aufgestreuten Koks von der Ofenwandung sorgfältig fernhält. Die Sinterzone liegt in diesem Ofen ziemlich hoch.

Wegen seiner einfachen Bauart, seiner bequemen Bedienung und seines mäßigen Koksverbrauches (etwa 15 bis 18 kg Koks für 100 kg Zement) hat der Ofen an vielen Orten Eingang gefunden. Er wird von Schneider & Hocke in Hamburg gebaut.

### Verschiedene andere Öfen.

Der Steinsche Rippenofen wurde eine Zeitlang viel genannt. Er ist ein Schachtofen für ununterbrochenen Betrieb, dessen Schacht aus aufeinandergesetzten gußeisernen Ringen besteht, die an ihrem äußeren Umfang mit rings herum verlaufenden Rippen ausgestattet sind und auf ihrer Innenseite ohne Ausfütterung bleiben. Auf diese Art wird durch äußere Luftkühlung das Anschmelzen an den Ofenwandungen wie auch deren Erglühen verhindert.

Der ebenfalls ununterbrochen betriebene Libanofen von Bernard Liban in Podgorze bei Krakau ähnelt ein wenig der oben abgebildeten späteren Bauweise des Diezschschen Ofens, insofern wenigstens, als auch beim Libanofen der Brennschacht gegen den gerade über ihm stehenden Vorwärmerschacht durch Überwölben teilweise abgeschlossen ist. Nur sind hier zwei durch Schlitze geteilte Gewölbe übereinander durch den Schacht gezogen. Auf weitere Einzelheiten der Bauart kann an dieser Stelle nicht eingegangen werden.

Der Ofen hat in Österreich-Ungarn einige Verbreitung gefunden.

Der Riisagerofen von E. Riisager in Kopenhagen ist ein ununterbrochen betriebener Schachtofen mit stark verbreitertem unten allmählich verengertem Vorwärmer, durch welchen hindurch eine hoch hinaufreichende gewölbte Brücke geführt ist, die einen tunnelartig geschlossenen Gang enthält. Durch Löcher im Boden dieses Ganges wird die



Kohle in den Brennschacht hinuntergestreut, während die getrockneten Ziegel oben von der Brücke herab in den Vorwärmer geworfen werden.

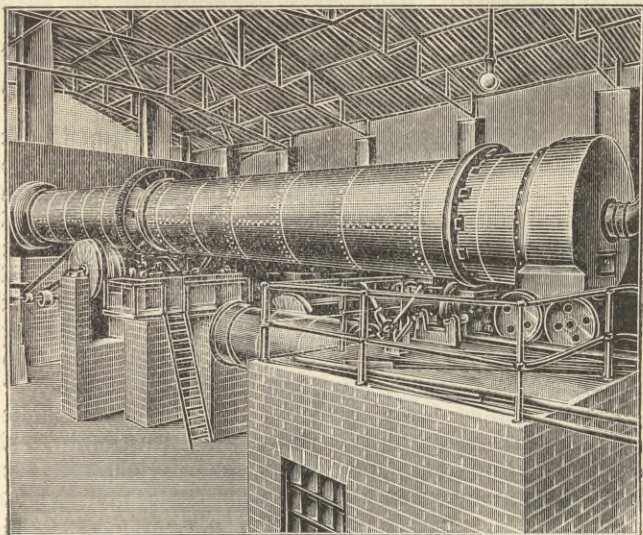


Bild 18.

### Der Drehrohrofen.

Der Drehrohrofen der als Frederick Ransomes Erfindung (engl. Pat. v. J. 1885) zuerst in England aufkam und zunächst besonders in den Vereinigten Staaten von Nordamerika durch Hurrly und Seaman vervollkommenet wurde, dann vor etwa 10 Jahren auch auf dem europäischen Kontinent Eingang fand, ist der meist bevorzugte Brennofen der Jetztzeit.

In Europa wird der Drehrohrofen bisher hauptsächlich von drei bedeutenden Firmen gebaut: der Maschinenfabrik von G. Polysius in Dessau, welche die Patente der „Brennofenbauanstalt Hamburg“ übernommen hat, dem

technischen Bureau und Maschinenfabrik von Fellner & Ziegler in Frankfurt a. M. — Bockenheim und von F. L. Smidth & Co., Ingenieure und Maschinenfabrikanten in Kopenhagen, welche die Drehrohrofen nach ihrem eigenen System bauen.

Wir geben die Beschreibung mit Hilfe des Bildes 18 welches einen Drehrohrofen von der Bauart der Firma F. L. Smidth & Co. zeigt.

Der als Drehrohrofen bezeichnete Brennofen ist ein aus schwerem Eisenblech hergestelltes und feuerfest ausgefüttertes, nahezu wagerecht liegendes und drehbar gelagertes Rohr von etwa 2 m Durchmesser und zwischen 30 und 50 m Länge, an dessen oberes Ende ein Schornstein anschließt und in dessen unteres Ende eine mit Kohlenstaub und Druckluft gespeiste Gebläseflamme einmündet. Durch das, den Anschluß an den Schornstein vermittelnde Mauerwerk hindurch wird in das obere Ende die zu brennende Rohstoffmischung eingeführt. Auf dem Bilde sieht man die bewegliche Lagerung des Ofens mit Hilfe der ihn umschließenden Laufringe und der darunter gelagerten Rollen, und man sieht auch den am Ofen befestigten Zahnkranz, der durch Vermittlung eines Vorgeleges angetrieben wird. Man erkennt, daß das untere Ende des Ofens durch einen ausfahrbaren Kopf verschlossen ist, welcher die Düse des Kohlenstaubgebläses trägt. Neben der Düse ist eine kleine Beobachtungsöffnung. Unten in dem Kopf aber befindet sich die Auslauföffnung für den fertig gebrannten, noch glühend heißen Klinker. Die in diesem aufgespeicherte Wärme wird hier in einer besonderen Vorrichtung verwertet: in dem Klinkerkühler, den das Bild unterhalb des eben beschriebenen Brennrohres erkennen läßt. Dort wird nämlich mittelst der heißen Klinker die Luft für das Kohlenstaubgebläse, also die Verbrennungsluft, vorgewärmt und ebenso auch — wenigstens beim System von Smidth & Co. — die zum Vortrocknen der Kohle erforderliche warme Luft gewonnen.

Das Vortrocknen der Kohle (Flammkohle), welches in Trockentrommeln geschieht, ist deswegen wichtig, weil sie sonst nicht fein genug vermahlen werden könnte und der



Kohlenstaub nicht zu feiner Zerstäubung taugte. Zum Feinmahlen der Kohle verwendet man zweckmäßig die Rohrmühle.

Da in dem Drehrohrofen die Flamme der „Kohlenstaubfeuerung“ nur das untere Ende des Brennröhres zu bestreichen vermag, so ist die Sinterzone auf diesen ziemlich kurzen Teil beschränkt; weiter zurück findet die Austreibung der Kohlen säure und am anderen Ende das Vorglühen statt.

Bei dem Trockenverfahren beschickt man den Drehrohrofen mit dem ein wenig angefeuchteten Rohmehl, bei dem Naßverfahren aber unmittelbar mit Dickeschlamm, wie ihn die Naßrohrmühle unter Mitwirkung von Schlämmerei und Mischerei liefert. Die Drehrohrofen für das letztere Verfahren müssen länger sein als die anderen, was leicht verständlich ist.

Der Drehrohrofenklinker bildet kleine rundliche Stücke von wenigen Zentimetern Durchmesser. Er besitzt eine besonders große Härte.

Der Vorteil des Drehrohrofens liegt sehr wesentlich in einer Ersparung an Arbeitern und auch im Fortfall des Ziegeln, ein Nachteil aller Drehrohrofen liegt nur im starken Kohlenverbrauch und in der Kohlenmüllerei. Es soll jedoch möglich sein, einen Dickeschlamm mit 25 kg Steinkohle für je 100 kg Schlamm gar zu brennen.

### **Hilfsmittel zur Erleichterung des Sinterns.**

Um das Sintern hochfalkiger Rohmassen zu erleichtern, setzt man ihnen zuweilen als Schmelzflüsse wirkende Stoffe in geringer Menge zu, besonders entweder Flußspat oder Eisenerz. Vom Flußspat verwendete man z. B. in einem Falle  $\frac{1}{4}$  a. S. Man gibt den Zusatz am Brecher.

### **Das Mahlen und das Verpacken des Zementes.**

Der abgekühlte, von Schwachbrand befreite, zweckmäßig hierauf mit Wasser besprengte und dann gelagerte Klinker wird mit ähnlichen Zerkleinerungsmaschinen verarbeitet wie der Kalkstein, Mergel und andere Rohstoffe. Die Beschreibung

dieser Maschinen möge hier folgen. Die für Rohstoffe dienenden gelten zugleich auch für den ziemlich leicht vermahlbaren Wasserfalk.

Wir beginnen mit den Maschinen zur Vorzerkleinerung und schließen mit den Feinmahlmaschinen und Sichtvorrichtungen.

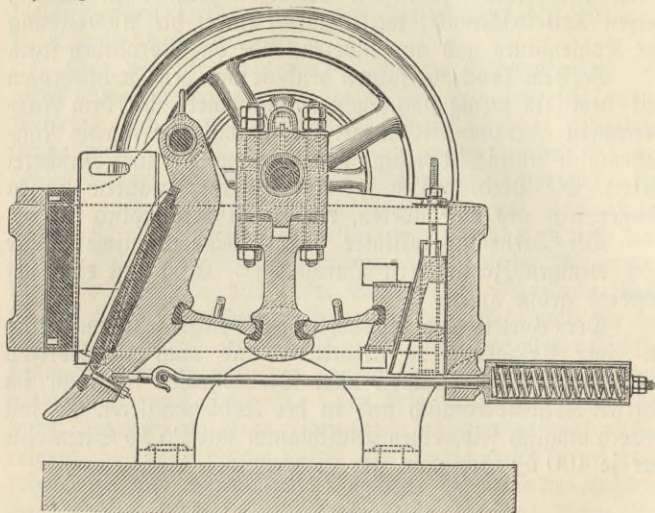


Bild 19.

### a) Der Brecher.

Der Maulbrecher oder kurz „Brecher“ (Bild 19) zerkleinert ziemlich große Stücke von jeder in unserem Fall gewöhnlich vorkommenden Härte bis mindestens zu Schottergröße. Auf dem Bilde ist der Brecher im Schnitt dargestellt, weil die äußere Ansicht außer dem Schwungrad und der Riemscheibe nicht viel mehr als den schweren vierkantigen Rahmen zeigen würde, der den Mechanismus umschließt.

Auf dem exzentrischen Mittelstück der Antriebswelle sitzt der sogenannte Kreuzkopf, der mit seinem unteren Ende



durch zwei mit Handgriffen versehene, in gehärteten Lagern bewegbar liegende Stegplatten, hinten mit einem verstellbaren Schlitten und vorn mit der pendelnd hängenden sogenannten Schwinge in Verbindung steht, welche durch die große Schraubensfeder zurückgezogen wird. Die Schwinge trägt

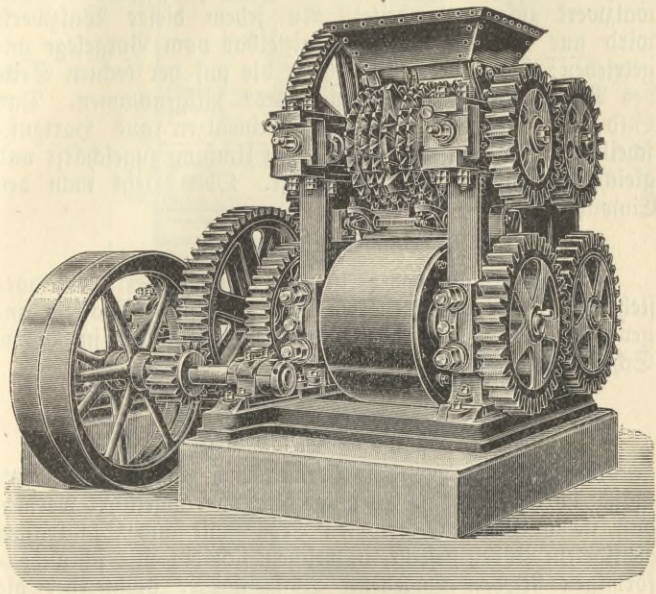


Bild 20.

die eine der gehärteten Brechbacken, während nahe gegenüber die andere am Rahmen des Gestelles befestigt ist. Diese Anordnung bewirkt, daß die Drehung des Exzenters dem Brechmaul eine kauende Bewegung erteilt und daß das in großen Stücken oben in das Brechmaul eingeworfene Gestein durch den engen Schlitß am unteren Ende als Schotter herausfällt.

### b) Das Brechwalzwerk.

Dieses dient oft an Stelle des oben beschriebenen Brechers zum Zerkleinern von grobstückigem Kalkstein, Mergel oder dergleichen. Bild 20 zeigt ein derartiges Walzwerk von Fried. Krupp, A. G. Grusonwerk, in Magdeburg—Buckau, welches mit einem unter ihm stehenden Glattwalzwerk zusammenarbeitet. An jedem dieser Walzwerke wird nur die eine Walze unmittelbar vom Vorgelege angetrieben; die andere wird durch die auf der rechten Seite des Bildes sichtbaren „Kuppelräder“ mitgenommen. Das Bild läßt erkennen, daß die Brechwalzen aus Hartgußeisen zusammengesetzt sind, deren Umfang zugespitzt und gleichzeitig mit Zähnen besetzt ist. Oben sieht man den Einwurstrichter.

### c) Das Glattwalzwerk.

Ein solches Walzwerk ist, wie schon bemerkt, im vorstehenden Bilde mit enthalten. Es wird für sich allein angewendet, um fetten Ton vor dem Trocknen in dünne Scheiben auszuwalzen.

### d) Die Brechschnecke.

Diese findet zuweilen Verwendung zum Brechen von mäßig hartem Gestein. Es möge hier nur angeführt werden, daß sie aus einem gerippten Troge mit aus Stahlrosten gebildetem Boden besteht, in welchem sich ein mit schraubenförmigen Rippen umgebener Walzenkörper dreht, der die Steinstücke faßt und an den Rippen des Troges zermalmt.

### e) Der Kollergang.

Man unterscheidet hauptsächlich zwei Arten Kollergänge: solche, bei denen die Mahlbahn fest und die Läufer beweglich, und solche, bei denen die Läufer fest und nur um eine Achse drehbar, die Mahlbahn dagegen beweglich ist. Die Bilder 21 und 22 zeigen einen Kollergang der ersteren Art, von vorn und von oben gesehen. Die Mahlbahn G



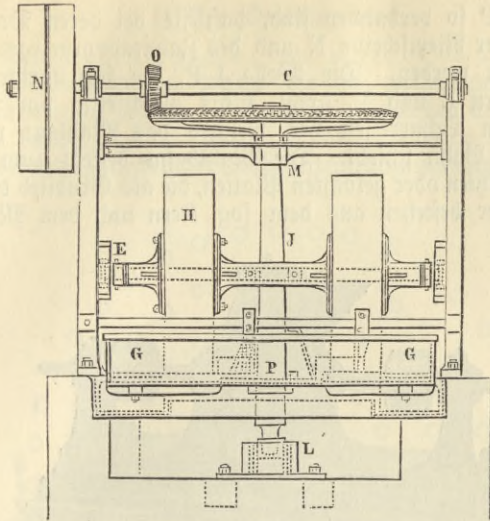


Bild 21.

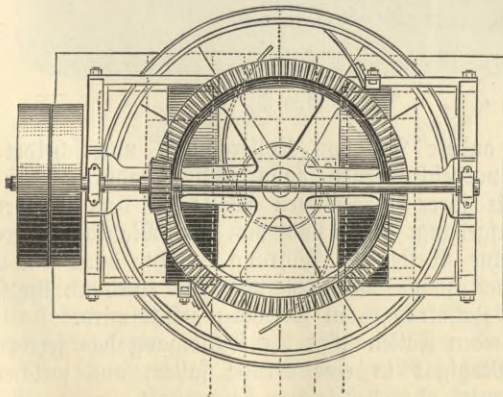


Bild 22.

hat die Gestalt eines Tellers mit steilem Rand. Auf ihr rollen im Kreise die beiden Läufer, die mit der senkrechten

Welle J P so verbunden sind, daß sie bei deren Drehung mittelst der Riemscheibe N und des Zahnradvorgeleges mitgenommen werden. Die Welle J P, die sich übrigens in den Lagern L und M dreht, führt gleichzeitig vor jedem Läufer ein Scharreisen her, welches das Mahlgut mitten auf seine Bahn schiebt. Die Mahlbahn besteht zum Teil aus geschlitzten oder gelochten Platten, die als Grobsieb dienen. Die Läufer bestehen aus dem sog. Kern und dem Mantel.

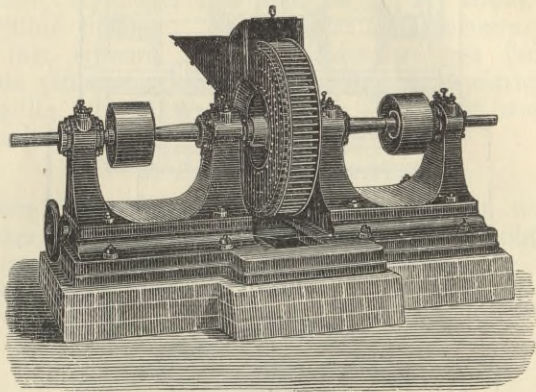


Bild 23.

Die andere Art von Kollergängen unterscheidet sich von der vorbeschriebenen hauptsächlich dadurch, daß die Läufer mit ihrer wagerechten Welle an dem bockartigen Gestell aufgehängt sind, und daß die Mahlbahn, welche die senkrechte Welle als Führung benutzt, durch ein unter ihr liegendes Zahnradvorgelege mit Hilfe eines an ihr selbst befestigten Zahnkranzes in Drehung gesetzt wird.

In beiden Fällen läßt der Kollergang das fertig verarbeitete Mahlgut in eine Grube fallen, aus welcher es ein Becherwerk oder dergleichen herausholt.

Beim Schlammverfahren werden mitunter Maßkollergänge benutzt, die in gemauerten mit Wasser gefüllten Gruben laufen.



## f) Der Desintegrator.

Der Desintegrator von Carr (Bild 23) ist eine Art Schleudermühle, welche die zu zerkleinernden, schon vorgebrochenen Stücke, die durch einen seitlichen Einwurf (im Bilde links) zugeführt werden, durch eine Reihe konzentrisch angeordneter zylindrischer Stahlstiftenfränze hindurchschleudert.

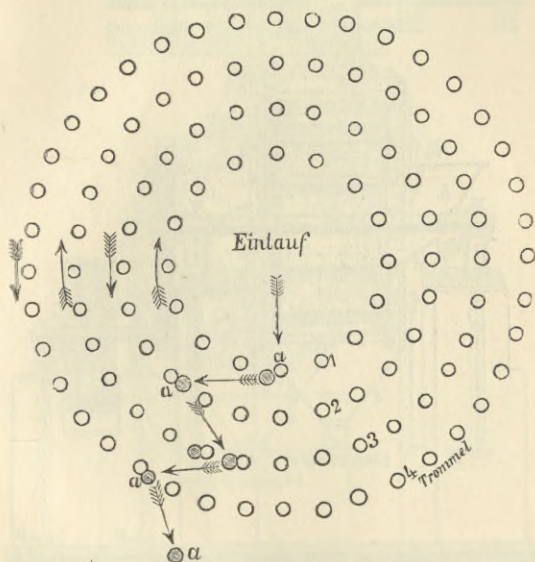


Bild 24.

Es geschieht dies mit Hilfe sehr schneller Umdrehung der Stiftenfränze und dadurch, daß die halbe Anzahl derselben in entgegengesetzter Richtung zu den übrigen umläuft.

Die schematische Darstellung in Bild 24 verdeutlicht den Vorgang, indem sie vier Stiftreihen im Querschnitt zeigt, zwischen denen Teilchen *a* des Mahlgutes hindurchheilen.

Der hier abgebildete von Selbach & Brink in Mannheim gebaute Desintegrator enthält sechs ineinander

laufende Stahlstiftenkränze, von denen je drei auf eine Scheibe genietet sind und mit dieser auf ihrer besonderen Antriebswelle sitzen; mit ihren anderen Enden sind die Stifte auf Ringe genietet. Der erste (innerste), dritte und fünfte Stiftenkranz bilden ein zusammenhängendes Ganzes, einen „Schleuderkorb“, welcher auf die eine Welle befestigt

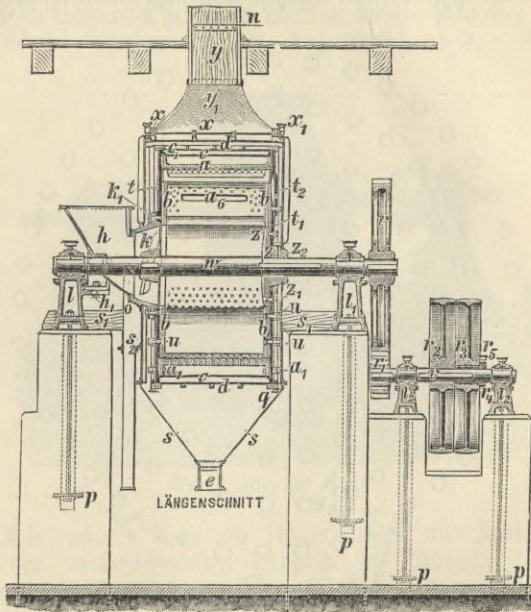


Bild 25.

ist; der zweite, vierte und sechste Stiftenkranz sind ebenso zu einem Schleuderkorb vereinigt und mit der Nabe ihrer Scheibe auf die andere Welle befestigt. Jede der beiden Wellen trägt eine Riemscheibe, und die eine wird mittelst eines gewöhnlich aufgelegten Riemens, die andere mittelst eines gekreuzten Riemens von der gleichen Kraftteilungs- welle (Transmissionswelle) aus angetrieben.



Die Zerkleinerung erfolgt einesteils durch die Schläge der in abwechselnden Richtungen umlaufenden Stiftenkränze, anderenteils durch die Reibung des mit großer Heftigkeit kreuzweise durcheinandergeschleuderten Mahlgutes in sich selbst, was für das Feinmahlen sehr wichtig ist.

Man baut die Desintegratoren mit  $\frac{1}{2}$  bis  $1\frac{1}{2}$  m Durchmesser und überdeckt sie mit einem Blechgehäuse.

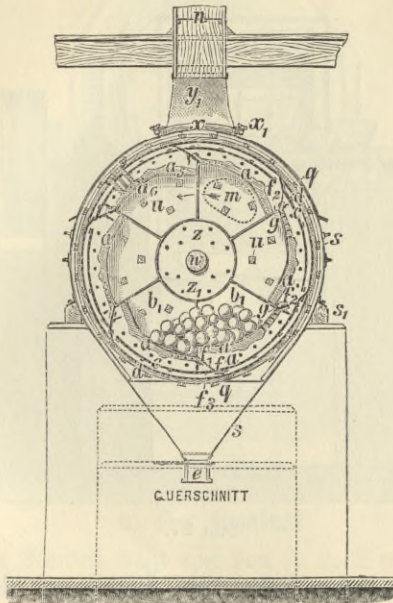


Bild 26.

### g) Die Kugelmühle (Kugelfallmühle).

Die Bezeichnung „Kugelfallmühle“ unterscheidet diese Kugelmühle von denjenigen anderen Kugelmühlen, deren Kugeln nicht mit freiem Fall arbeiten.

Die Bilder 25 und 26 zeigen die Kugelfallmühle in der Bauart von Fried. Krupp, A. G. Grusonwerk in

Magdeburg—Buckau im Längenschnitt und im Querschnitt und lassen erkennen, daß sie aus einer schmalen Trommel besteht, die sich um eine wagerechte Welle dreht und deren Mahlbahn, auf welcher die Stahlkugeln frei rollen, treppenartig ausgebildet ist. Indem die Trommel so umläuft, wie der Pfeil im Querschnittsbilde zeigt, wird das Mahlgut samt den zwischen ihm liegenden Kugeln gezwungen, Stufe

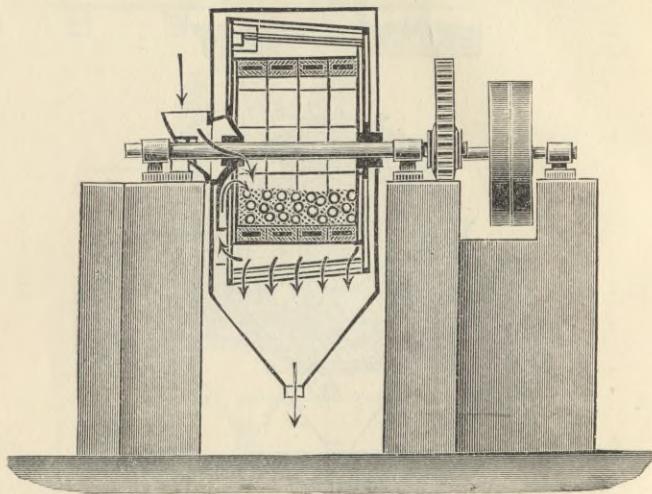


Bild 27.

für Stufe zu fallen, wobei durch Schlag und Reibung seine Zerkleinerung vor sich geht. Die ununterbrochene Zuführung des vorzerkleinerten Mahlgutes geschieht mittelst des im Längenschnitt bei der Trommelwelle sichtbaren Trichters, welcher feststeht; zur Abführung des Mehles und Feingrießes dienen Löcher in den Hartgußplatten, welche die Stufen bilden. Durch die Löcher gelangen Mehl und Grieß erst auf ein Vorsieb, dann auf ein Feinsieb, um endlich das Mehl in den Ablauftrichter fallen zu lassen; der Grieß läuft von den Sieben auf Rücklaufschaukeln in die Mahl-

vorrichtung zurück. Aus dem feststehenden Blechmantel der Trommel hinaus führt ferner oben ein Anschluß zur Entstaubungsanlage.

Die Kugelfallmühlen werden in den verschiedensten Größen gebaut.

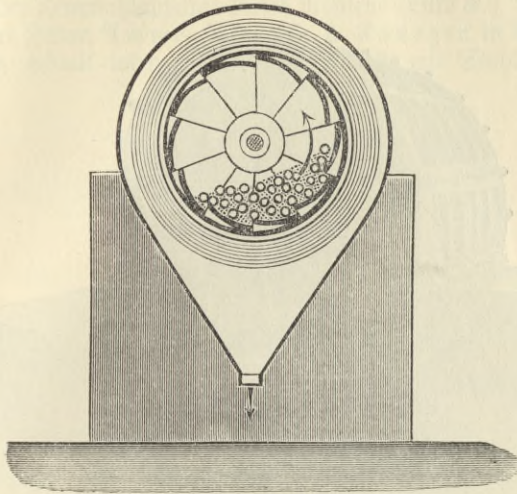


Bild 28.

### h) Der Kominor.

Diesen Namen trägt eine von J. L. Smidth & Co., Ingenieure und Maschinenfabrikanten in Kopenhagen gebaute Kugelfallmühlenart (Bilder 27 und 28), welche von der vorherbeschriebenen wesentlich abweicht. Die Mahlplatten des Kominors sind nicht gelocht; Mehl und Gries gelangen vielmehr durch Schlitze am Trommelumfang gegenüber dem Einlauf aus der Trommel hinaus, wie auf dem senkrechten Längenschnitt der letzte Pfeil rechts andeutet; es kann daher nicht, wie es anderenfalls vorkommt, infolge des Aufschlagens der stählernen Mahlkugeln sich der Weg schließen, der für Mehl und



Feingriß notwendig ist. Ferner lassen die kegelförmig gestalteten Siebe, welche die Mahltrommel umgeben und an ihr befestigt sind, den Griß nach der anderen Seite hinlaufen, während das Mehl überall hindurchfallen kann. Der Griß benützt dann außen befestigte gebogene Rohre,

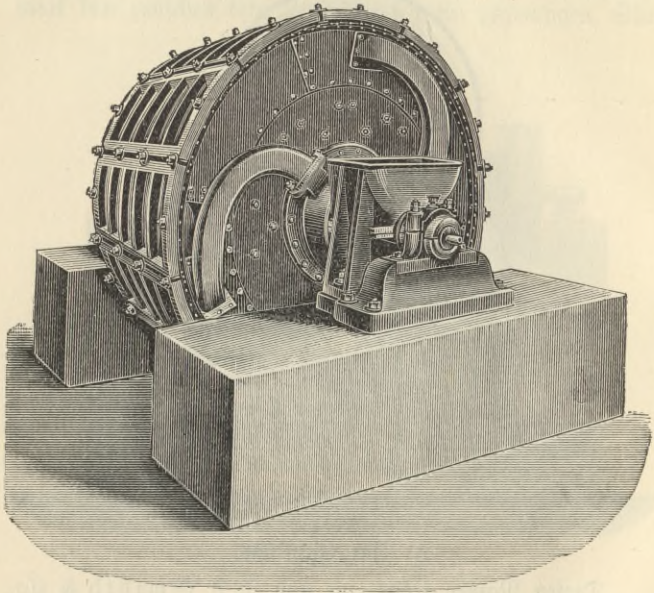


Bild 29.

um durch sie während der Trommeldrehung in das Innere der Trommel zurückzulaufen. Bild 29 zeigt diese Rohre an dem Kaminor nach Abnehmen des Blechmantels.

### 1) Der Cementor.

Der so bezeichnete Mahlapparat der Maschinenfabrik von G. Polyjius in Dessau ist ebenfalls eine

Art Kugelfallmühle mit ungelochten Mahlplatten, aber mit einer anderen Rückführungsvorrichtung für den Gries.

### k) Die Roulette.

Der Feinmahlapparat dieses Namens (Bild 30), welcher von der Firma Amme, Giesecke & Konegen in Braunschweig gebaut wird, arbeitet gleichfalls mit Stahlkugeln,

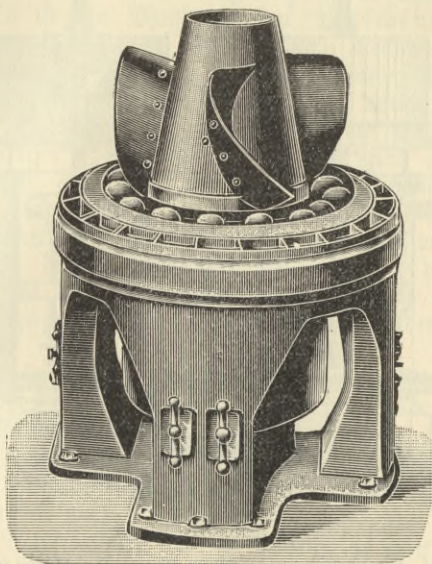


Bild 30.

jedoch nicht unter Verwendung des freien Falles. Die Kugeln, welche hier größer sind als bei der Kugelfallmühle, laufen vielmehr in wagerechter Ebene auf einer schmalen, gehöhlten, kreisrunden Mahlbahn, und die Bewegung wird ihnen durch schnelles Umlaufenlassen des unteren Teiles der Mahlbahn erteilt, während der am Umfang abschließende Mahl-

ring, gegen den die Kugeln vermöge ihrer Zentrifugalkraft drücken, indem sie an ihm entlang rollen, unbeweglich ist.

Das in erbsen- bis haselnußgroßen Stückchen zugeführte Mahlgut fällt oben durch den im Bilde sichtbaren Kegelsitzen ein, der sich samt den an ihm sitzenden Flügeln mit der Mahlbahn zusammen dreht. Zum Betriebe wird noch ein zylinderförmiges Sieb übergestülpt, dieses mit einem

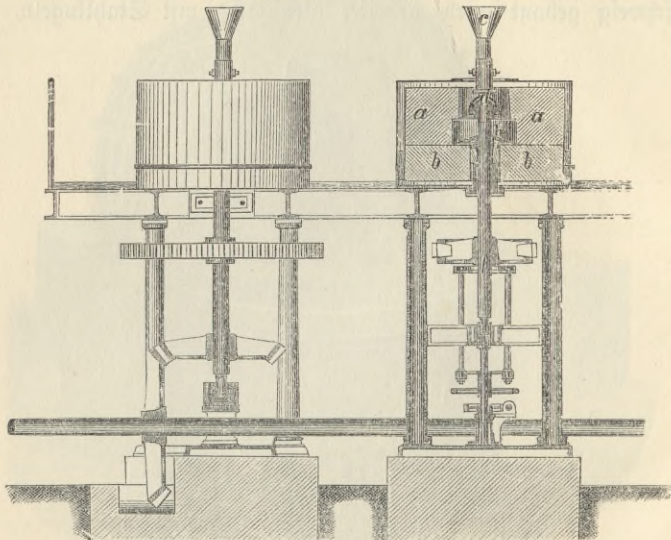


Bild 31.

Blechmantel überdeckt und oben darauf ein Rüttelaufgeber gestellt. Das Mehl, welches die Kugeln erzeugen, wird mit Hilfe der Flügel aufgewirbelt, geht durch das Sieb und gelangt am Rande des Mahlapparates durch den ringförmigen Schlitze fallend hinaus.

### 1) Der wagerechte Mahlgang.

Der schon aus älterer Zeit stammende wagerechte Mahlgang (Bild 31) arbeitet mit zwei zylindrischen, wagerecht



liegenden Mühlsteinen, die an ihrer gegenseitigen Berührungsfläche völlig eben zugerichtet und gleichzeitig mit einer Anzahl in schräger Richtung nach dem Rande ausstrahlender eingehauener Furchen versehen worden sind. Nur der eine der beiden Steine dreht sich, der andere liegt fest. Je nachdem nun der obere oder der untere Stein sich dreht, bezeichnet man das Ganze als einen Ober- oder Unterläufermahlgang.

Der Oberläufermahlgang ist in Bild 31 dargestellt. Es ist ein Mahlgang der Maschinenfabrik Humboldt in Kalk bei Köln a. Rh. Rechts sieht man den Mahlgang im Schnitt; a ist der „Läuferstein“, b der „Bodenstein“; der Läuferstein ist mittelst beweglicher Aufhängung („Balancierhaue“) auf das obere Ende des in einem Fußlager („Spurlager“) stehenden und oben durch ein Halslager geführten „Mühleisens“ f gehängt; dieses Mühleisen kann mittelst der ganz unten abgebildeten, mit Schnecke betriebenen Stellvorrichtung gehoben und gesenkt werden; die darüber befindliche Vorrichtung dient zum Ausrücken des Ganges mittelst Aushebens des oben am Mühleisen sitzenden, nicht in allen Einzelheiten wiedergegebenen Zahnrades.

Die linke Seite des Bildes zeigt den mit seiner Blechhaube überdeckten Oberläufermahlgang und davor den sogenannten Königstock, welcher zwei oder vier um ihn herum gruppierte Mahlgänge mit einem großen Stirnrad antreibt, selbst aber mittelst Regelrad von der liegenden Hauptwelle aus angetrieben wird.

Beim Betriebe fällt das auf Erbsen- bis Haselnußgröße vorgebrochene Mahlgut durch die Öffnung in der Mitte des Läufersteines a (das sogenannte „Auge“ des Steines) auf den Streuteller h und von hier ringsum zwischen die Steine a und b. Letztere werfen das Mehl (nebst Feingrieß) am Rande ihrer Berührungsfläche aus; es fließt aus dem Raum zwischen Bodenstein und Haube in eine Rutsche ab.

Der Unterläufermahlgang unterscheidet sich von dem Oberläufermahlgang hauptsächlich dadurch, daß der obere Stein fest liegt (deshalb „Bodenstein“ genannt), und

der untere Stein (hier „Läuferstein“) sich dreht. Der Boden-  
stein ist mit dem Oberteil der Haube verschraubt; der  
Läuferstein aber liegt auf einem Eisengußsteller, welcher auf  
dem oberen Ende des Mühleisens sitzt.

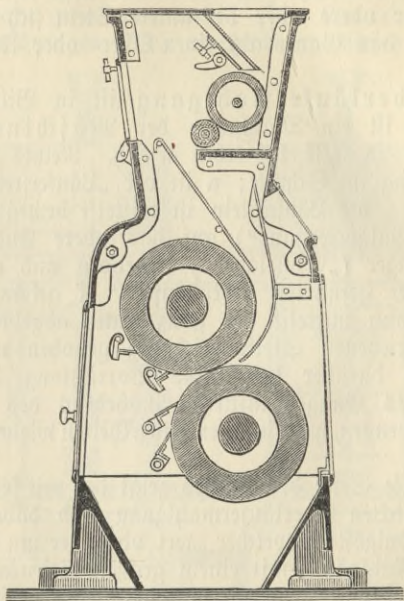


Bild 32.

Beim Vermahlen von Rohstoffen für Portlandzement  
und beim Vermahlen des letzteren selbst muß das Mehl in  
der Regel zur Ausscheidung des Grieses gesichtet werden  
(s. Sichtvorrichtungen).

Über die Mühlsteine sei noch bemerkt, daß sie für  
Portlandzement aus gutem französischen Quarzstein bestehen  
müssen. Für die übrigen Stoffe sind auch die oberösterreichi-  
schen Quarzsandsteine von Berg im Mühlkreise oder von  
Krems in Niederösterreich verwendbar. Auch die Porphyr-

Quarzsteine von Krawinkel bei Gotha und die Steine von Neckarzellingen in Württemberg werden gerühmt.

Die Mahlgänge werden in der Portlandzementtechnik mehr und mehr durch andere Mahlmaschinen verdrängt.

### m) Der Walzenstuhl.

Diese nicht für Portlandzementklinker, wohl aber für die weniger harten Rohstoffe und Zemente dienende Zerkleinerungsmaschine der Maschinenfabrik Amme, Giesecke & Koenigen in Braunschweig enthält, wie aus dem Querschnitt in Bild 32 ersichtlich, hauptsächlich zwei Paar Walzen. Das obere Walzenpaar dient im wesentlichen dazu, aus dem über ihm liegenden Zulauftrichter das untere Walzenpaar zu speisen. Diese Speisung wird ermöglicht durch Gleitflächen, welche den zu vermahlenden Grobgrieß zwischen die Mahlwalzen führen. Die obere Mahlwalze dreht sich rascher als die untere, zerdrückt also nicht nur, sondern zerreibt auch. Die untere Walze ist verstellbar und wird durch Federn angedrückt.

Der Walzenstuhl kann verschieden fein arbeiten. Er liefert gewöhnlich einen Grieß, der in der Rohrmühle (s. diese im folgenden) zu Mehl vermahlen wird.

### n) Die Griffmühle.

Die von der Bradley Pulverizer Company<sup>1)</sup> in Nordamerika gebaute, aber auch in Europa viel verwendete Griffmühle (Bild 33) ist eine Pendelmühle. Der zerkleinernde Teil ist nämlich ein aufrechter Kegelmantel, der am Ende eines im Kreise schwingenden Pendels hängt und rings an der Innenwand („Mahlbahn“) eines stählernen Topfes den vorgebrochenen Zementklinker zerreibt, welcher durch eine seitlich aufgestellte Speiseschnecke ununterbrochen in den Topf eingeworfen wird. Das fortwährend entstehende und durch am Pendel befestigte Windflügel aufgewirbelte Mehl wird durch das an die

<sup>1)</sup> Vertreter f. Europa: A. B. Young in Berlin W. 8.



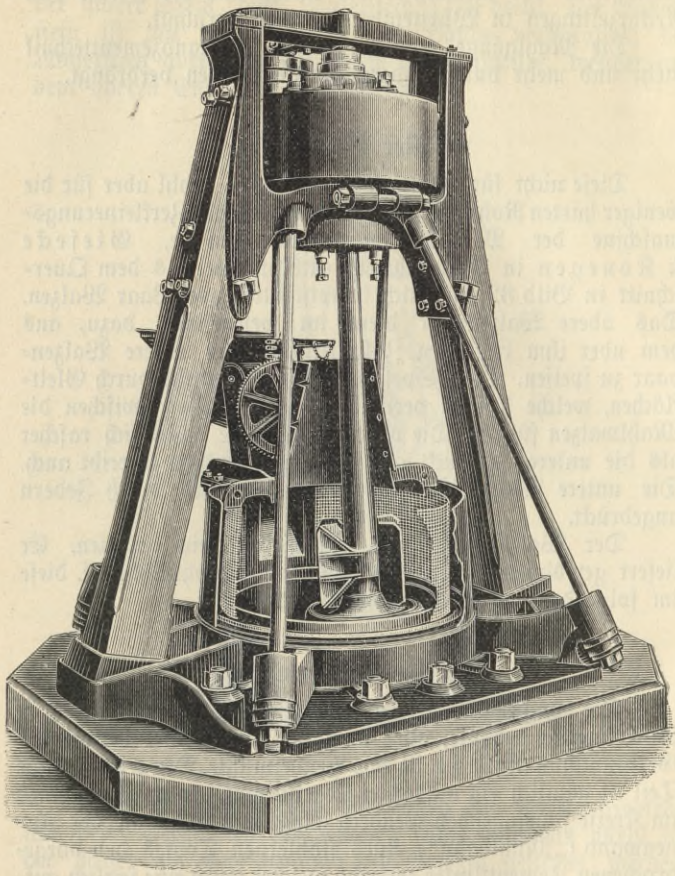


Bild 33.

„Mahlkammer“ ringsum anschließende Sieb gesichtet und fällt innerhalb des außen abschließenden Blechmantels einer Förderichnecke zu.

### o) Die Doppelpendelmühle.

Diese unterscheidet sich von der vorherbeschriebenen Mahlmaschine hauptsächlich dadurch, daß sie mit zwei Pendeln arbeitet, die nebeneinander hängen. Die Erbauerin dieser Mahlmaschine: Eisenwerk (vorm. Nagel & Kämp) A. G. in Hamburg hebt als besonderen Vorteil ihrer Bauart die geringere Erschütterung des Fundamentes hervor.

### p) Die Rohrmühle.

Die so bezeichnete, zuerst von F. L. Smidth & Co., Ingenieure und Maschinenfabrikanten in Kopenhagen gebaute, später mit mehr oder weniger abgeänderter Einrichtung auch von anderen übernommene Feinmahlmühle für Feingrieß sei hier in ihrer Gestalt als Dana-Rohrmühle der genannten Firma beschrieben. Es gibt Rohrmühlen für Trockenmahlung und solche für Naßmahlung (Dickschlamm- oder Dünnschlammvermahlung); ferner gibt es für Trockenvermahlung auch eine Minor-Dana-Rohrmühle.

Die Dana-Rohrmühle für Trockenvermahlung ist in Bild 34 dargestellt. Sie gleicht der Dana-Dickschlammrohrmühle soweit, als beide langgestreckte eiserne Hohlzylinder sind, die sich mit ihren Endzapfen wagerecht in Lagern drehen und deren Inneres bis fast zur Hälfte mit hühnereigroßen Flintsteinkugeln gefüllt ist. An der Dana-Rohrmühle für Trockenmahlung ist der eine Lagerzapfen hohl und zur Einführung des zu vermahlenden Feingrießes bestimmt, der andere Lagerzapfen dagegen voll, weil an diesem Ende der Rohrmühle die Austragung des staubfeinen Mahlgutes durch rings am Umfang des Mühlenkörpers angebrachte verstellbare Schlitze geschieht. Das Austragende ist mit einem Blechmantel umgeben, der das Mehl auffängt und in einen Trichter abführt. Auf dem anderen Ende der Rohrmühle dagegen sitzt bei Zahnradantrieb ein großes Stirnrad. In anderen Fällen ist um den Rohrmühlkörper eine Riemscheibe von sehr großem Durchmesser gelegt, die unter Mitwirkung einer Spannrolle von einer kleinen Riemscheibe aus angetrieben wird („Lenivantrieb“).



Die Kominoꝛ=Dana=Kohrmühle ist eine zum Trockenvermahlen von grobstückiger oder grobgrießiger Kohle dienende Vereinigung von Kohrmühle und Kominoꝛ, nämlich eine Kohrmühle, die an ihrem vorderen Ende eine mit Stahlplatten gepanzerte und mit Stahlkugeln versehene Kammer für die Vorzerkleinerung enthält.

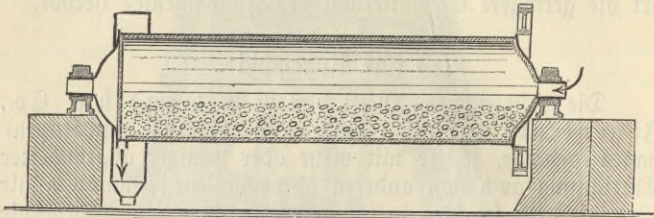


Bild 34.

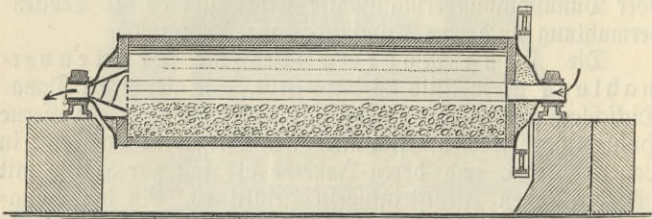


Bild 35.

An der Dana=Dickehlammrohrmühle und der Dana=Dünnehlammrohrmühle (Bild 35) sind beide Lagerzapfen hohl. Durch den einen Zapfen fließt der Schlamm ein, durch den anderen fließt er fein gemahlen ab.

### q) Siebvorrichtungen.

Die einfachste und am häufigsten gebrauchte Siebvorrichtung ist die Siebtrommel. Sie trägt auf einem langen sechskantigen Gestell hölzerne Rahmen, die mit Stahldraht=



oder Messingdrahtgewebe bezogen sind. Das Gestell sitzt in seiner Mittelachse auf einer drehbar gelagerten Welle, die in der Bewegungsrichtung des Siebgutes ein wenig Fall hat. Am Einlaufende ist in dem Siebgestell ein kurzer

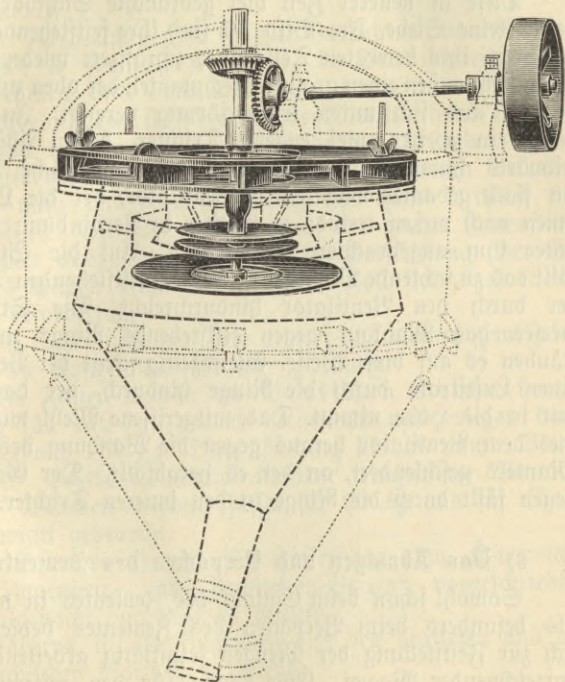


Bild 36.

Zylinder aus gelochtem Blech befestigt, der das ununterbrochen einlaufende Siebgut zuerst aufnimmt und sogleich über das Siebgewebe verteilt. Während das Mehl durch den umschließenden Kasten aufgefangen und aus dem keilförmig verengten Raum unter der Siebtrommel fortwährend durch eine Schnecke hinausbefördert wird, fällt der Gries am

unteren Ende des Siebes durch einen Trichter in ein die Mahlmaschinen speisendes Förderwerk.

### r) Der Windsichter.

Diese in neuerer Zeit viel gebrauchte Siechtvorrichtung besitzt keine Siebe. Im Bild 36 sind ihre feststehenden Teile punktiert, ihre bewegten Teile aber schraffiert wiedergegeben. Man sieht außen einen großen Blechmantel, der oben zylindrisch beginnt und sich unten trichterförmig verengt. In diesem hängt ein zweiter, viel engerer Trichter, dessen Abflußrohr seitwärts hinausführt. Der wichtigste bewegliche Teil ist ein flach gebauter wagerechter Ventilator, der die Luft von innen nach außen treibt; er arbeitet in Verbindung mit den unter ihm angebrachten Streutellern. Auf die Streuteller fällt das zu sichtende Mahlgut aus einem feststehenden Trichter, der durch den Ventilator hindurchreicht. Die Streuteller werfen das Mahlgut gegen feststehende Ringe und verstäuben es auf diese Weise. Gleichzeitig saugt der Ventilator einen Luftstrom durch die Ringe hindurch, der das Mehl mit in die Höhe nimmt. Das mitgerissene Mehl wird dann aus dem Ventilator heraus gegen die Wandung des großen Mantels geschleudert, an der es herabfällt. Der Gries dagegen fällt durch die Ringe in den inneren Trichter.

### s) Das Abwägen und Verpacken des Zementes.

Sowohl schon beim Einlauf des Zementes in den Silo als besonders beim Verpacken des Zementes bedient man sich zur Feststellung der Mengen selbsttätig arbeitender und aufzeichnender Wagen. Eine Wage für den ersteren Zweck ist die „automatische Wage“ von Reuter und Reisert in Hennef an der Sieg (Rheinland). Diese Vorrichtung befindet sich in einem vollständig geschlossenen Gehäuse, welches für Unberufene nicht zugänglich ist. Sie wägt den fast ununterbrochen einlaufenden Strom des Zementes gewöhnlich in Mengen von je 50 kg ab.

Die beim Verpacken dienenden selbsttätigen Wagen sind gleichzeitig mit Hilfsvorrichtungen für das Verpacken in Säcke



verbunden. Eine solche Packvorrichtung ist die „automatische doppelte Sackpackmaschine“ (Bild 37) der Braunschweigisch-Hannoverschen Maschinenfabriken A. G. in Alfeld an der Leine. An die beiden abwechselnd arbeitenden Ausläufe wird je ein Sack durch einfachen Handgriff festgeschnallt.

Für Fußpackung gibt es eine Vorrichtung von Amme, Giesecke & Konegen A. G. in Braunschweig, welche das Einfüllen und Eindrücken des Zementes besorgt. Gewöhnlich bedient man sich aber einfacher Mittelwerke mit Daumenwelle oder dgl., auf deren in Fußbodenhöhe stehenden Tellern die Fässer von Hand gefüllt werden. In kleinen Betrieben besorgt man das Rütteln häufig von Hand mittelst einfacher Keule. Die Fässer werden auf der ganzen Innenfläche mit Papier ausgelegt, wozu man für Verschiffung über See geteertes Papier nimmt. Im letzteren Fall sind auch eiserne Reifen erforderlich.

Die Säcke sind aus Sute gewebt und werden gewöhnlich für 50 kg Rohgewicht (Brutto) gebraucht.

Die Fässer werden im Deutschen Reiche hauptsächlich für 170 kg Zement hergestellt und wiegen dann fertig gepackt 180 kg. Diese Packung ist das vom „Verein deutscher Portlandzementfabrikanten“ eingeführte Normalmaß<sup>1)</sup>. Daneben werden Fässer für 90 kg und für 45 kg Rohgewicht gebraucht.

In Österreich gilt für Fässer das vom „Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein“ vorgeschriebene Normalgewicht von 200 kg Brutto.

Näheres ist im folgenden aus den deutschen und den österreichischen Normen zu ersehen.

### t) Die Entstaubung der Luft in der Mühle

ist nicht nur zum Schutze der Arbeiter, sondern auch der Maschinen erforderlich und sogar durch die Wiedergewinn-

<sup>1)</sup> Es ist auch von Schweden und Dänemark angenommen worden.



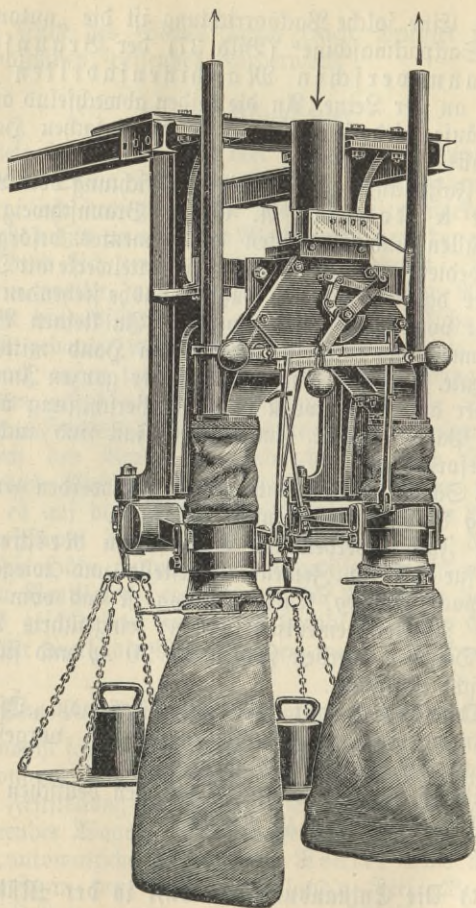


Bild 37.

nung großer Mengen des Staubes nützlich. Wohl in der Mehrzahl der Zementfabriken sind zu diesem Zwecke die von der Maschinenfabrik von W. F. L. Beth in Lübeck



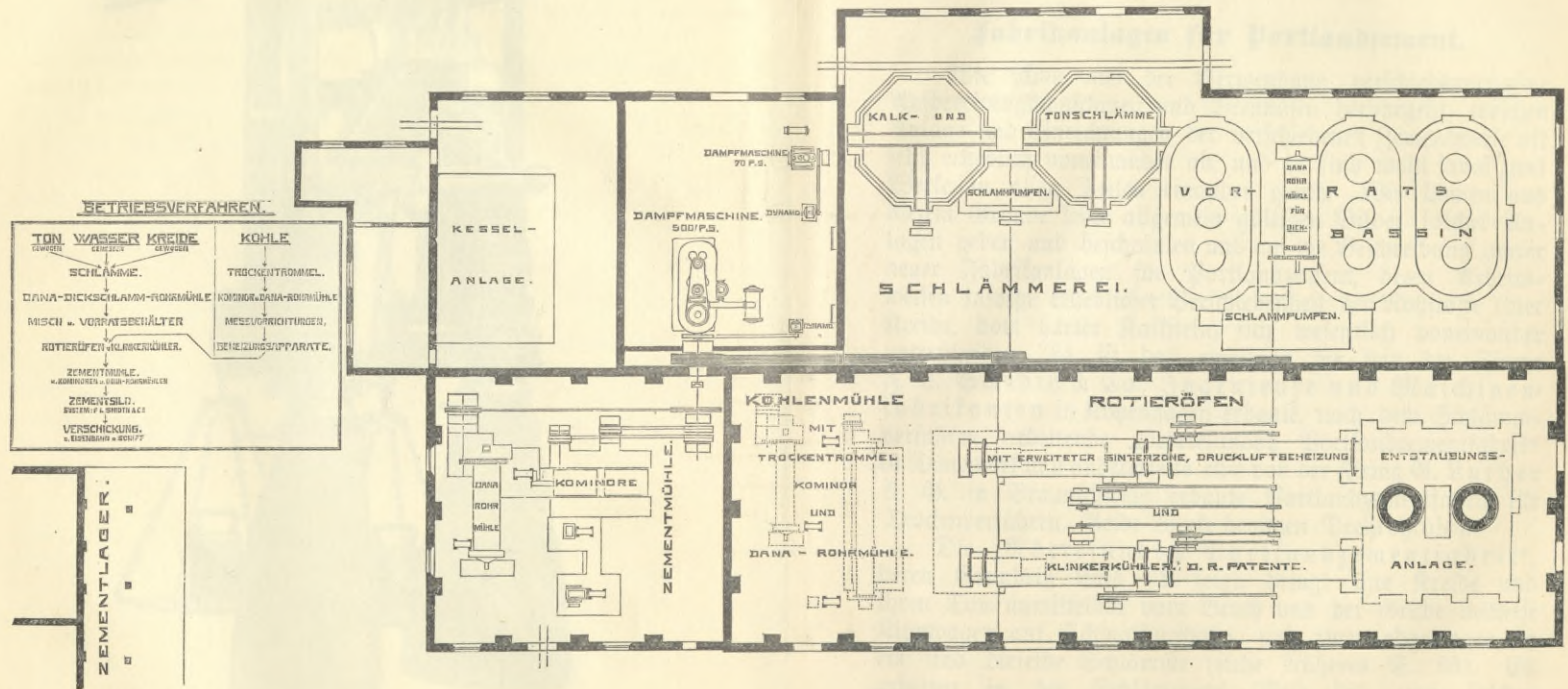


Bild 38.





eingeführten Schlauchfilter in Gebrauch, zu denen hin Erhaustoren den Staub durch verzweigte Rohrleitungen ansaugen. Das Abschütteln des Staubes von den Filterschläuchen geschieht selbsttätig. Letztere werden jetzt nahtlos hergestellt.

### **Fabrikanlagen für Portlandzement.**

Wie schon aus der Verwendung verschiedenartigster Aufbereitmäschinen und Brennösen hervorgeht, weichen Anlage und Einrichtungen der verschiedenen Zementwerke oft sehr erheblich voneinander ab, und es sind wohl kaum zwei Werke in allen Teilen einander gleich. Wir können aus diesem Grunde keine allgemein gültigen Bilder solcher Anlagen geben und beschränken uns auf die Beschreibung zweier neuer Fabrikanlagen für Portlandzement, deren Arbeitsweisen infolge erheblicher Verschiedenheit der Rohstoffe (hier Kreide, dort harter Kalkstein) sich wesentlich voneinander unterscheiden. Es ist das einerseits die von der Firma *J. L. Smidth & Co.*, Ingenieure und Maschinenfabrikanten in Kopenhagen erbaute, nach dem Schlammverfahren arbeitende „Nörresundby Portlandzementfabrik“ in Dänemark und andererseits eine von der Firma *G. L. Uther A. G.* in Braunschweig erbaute Portlandzementfabrik für Trockenverfahren. Beide Werke benützen Drehrohröfen.

Die „Nörresundby Portlandzementfabrik“, deren Grundriß Bild 38 zeigt, bringt ihre Kreide und ihren Ton unmittelbar vom Bruch und der Grube mittelst Kippwagen auf Schmalspurbahn, und zwar abgewogen, in ein und dieselbe Schlämme (siehe Näheres S. 83). Es arbeiten in der Schlammerei (Bild 38) zwei solcher Schlämmen nebeneinander. Von da wird der Schlamm mittelst der Schlamm-pumpen und ihrer hoch geführten Rohrleitungen in den nächststehenden der drei großen Behälter von elliptischem Grundriß gepumpt. Jeder dieser Behälter besitzt drei sich rundbewegende und ineinandergreifende Rührwerke, welche den Schlamm gründlich durchmischen. Aus dem ersten Mischbehälter wird der Schlamm in ununter-

brochenem mäßigen Strom in die daneben hoch aufgestellte Dana-Rohrmühle gepumpt, aus der er nun als völlig griesfreier Dickschlamm bald in den einen, bald in den anderen der beiden aneinanderggebauten Behälter fließt, um dort außer der Gleichmäßigkeit auch genau die chemisch richtige Zusammensetzung zu erhalten; in der chemischen Zusammensetzung muß nötigenfalls von der Schlämme aus nachgeholfen werden. Der so fertig vorbereitete Schlamm wird in die zunächst liegenden, höher gelagerten Enden zweier Drehrohröfen<sup>1)</sup> gepumpt, worauf die gargebrannten Klinker an den unteren Enden der Öfen in Klinkerkühler fallen und von diesen in Rippwagen ausgeworfen werden. Man wirft dann die Klinker außerhalb des Gebäudes zu Haufen auf und fährt die gelagerten Klinker in die Zementmühle, wo sie in Kominoren vorgemahlen und in Dana-Rohrmühlen feingemahlen werden. Von hier wird der Zement selbsttätig durch Förderband in das dem Hauptgebäude gegenüberliegende Zementlager gebracht. Der Betrieb ist also äußerst einfach und übersichtlich.

Zwischen den Drehrohröfen und der Zementmühle liegt die Kohlenmühle (siehe auch Seite 112), und zwar den Öfen zunächst die Trockentrommel, weiter Kominor und Dana-Rohrmühle. Gegenüber, nur durch einen Transmissionskanal hiervon getrennt, steht die 500 pferdige Betriebsdampfmaschine. Die Jahresleistung dieser Fabrik beträgt etwa 300 000 Faß zu je 170 kg Reingewicht.

Als Beispiel einer Portlandzementfabrikanlage für Trockenverfahren geben wir in Bild 39 den Plan einer von der Maschinenfabrik und Mühlenbauanstalt G. Luther A.-G. in Braunschweig ausgeführten Anlage für eine Jahresleistung von 400 000 Normalfaß. Der Grundriß dieses Planes zeigt rechts das Kesselhaus mit einerseits anschließendem Kohlenschuppen und andererseits anschließendem Maschinenhaus. Links vom Kesselhaus reihen sich aneinander die Anlagen für das Aufstapeln, Vortrocknen

<sup>1)</sup> Auf dem Grundriß seitens der erbauenden Firma als „Rotieröfen“ bezeichnet.



und Vermahlen von Kalkstein und Ton. Daran schließen sich weiter die Drehrohröfen mit der neben ihnen liegenden Kohlenmühle. Es folgt der Klinkerschuppen und rechts davon nacheinander die Zementmühle und das Zementfilo. Rechts läuft an allen diesen Anlagen außen entlang die Eisenbahn, welche die Kohlen bringt und den verpackten Zement abholt.

Wie der Plan erkennen läßt, werden Kalkstein und Ton auf einer zweigleisigen Schmalspurbahn zu dem überdeckten „Platz für Rohstoffe“ hingefahren und nach Bedarf mittelst derselben Bahn der Vortrocknerei zugeführt, wo sie in entsprechendem Mengenverhältnis in die Steinbrecher geschaufelt werden. Die Steinbrecher zerkleinern die Stücke bis auf etwa 1 cm Durchmesser und lassen sie in Becherwerke fallen. Diese heben sie und schütten sie in Schnelltrockner. Es sind das sich drehende Trommeln, die mittelst der Feuergase vorn eingebauter Planrostfeuerungen geheizt werden. Das Gemisch der Rohstoffe rutscht langsam durch die Trommeln und gibt seine Feuchtigkeit an die Mischung der heißen Feuergase mit Luft ab. Exhaustoren wirken dabei mit, indem sie die Gase schneller hindurchsaugen. Der mitgerissene Staub wird in daran anschließenden Zyklonen aufgefangen und in die hinter den Trocknern aufgestellten Becherwerke entleert, wohin auch die Trockentrommeln das getrocknete Gut abführen. Die genannten Becherwerke heben dieses Rohstoffgemenge in die Vorratsbehälter über den Kugelmühlen.

Zwischen die Vorratsbehälter und die Kugelmühleneinläufe sind von den Kugelmühlen angetriebene Beschickungsapparate eingeschaltet, die das Rohstoffgemenge den Behältern entnehmen und es stoßweise in die Kugelmühlen werfen. In diesen wird es durch Stahlkugeln von 80—130 mm Durchmesser zerkleinert und beständig das Mehl abgeseibt, während die gröberen Teile selbsttätig in die Mahltrommeln zurücklaufen. Das Mehl wird durch Schnecken und Becherwerke zu den Rohrmühlen befördert. Letztere haben 1650 mm Durchmesser und 6000 mm Länge; sie arbeiten mit selbsttätiger Ein- und Austragung und besitzen Flintsteinfüllung bis zu etwa  $\frac{1}{3}$  ihres Inhaltes. Von den Rohrmühlen

gelangt das nun völlig feine Rohmehl mittelst mehrerer Schnecken und eines Becherwerkes zu den kleinen Vorratsbehältern über den Drehrohröfen.

Selbsttätige Entleerungsvorrichtungen dieser Behälter speisen mit dem Mehl die Misch- und Anfeuchtschnecken, welche es in die Drehrohröfen hineinführen. Am anderen Ende der letzteren fallen die Klinker in die Klinkerfühler und von da in Wagen. Die Wagen werden mit einem schrägen Kettenaufzug (auf einer schiefen Ebene) auf eine Rampe hinaufgezogen, von welcher aus die Klinker gleichmäßig über die Klinkerhalle verteilt werden.

Der schon längere Zeit dort gelagerte Klinker wird wiederum in Wagen die schiefe Ebene hinaufbefördert und gelangt nun in die Vorratsbehälter über den Kugelmühlen der Zementmühle.

Die Anordnung der Maschinen in der nun folgenden Zementmühle ist dieselbe wie die in der Rohmühle. Unter den Vorratsbehältern befinden sich Beschickungsapparate, die die Klinker stoßweise in die Kugelmühlen bringen. Von den Kugelmühlen werden die Klinker vorgeschrotet und weiter mit Schnecken und Becherwerken in die Rohrmühlen abgeführt. Die Rohrmühlen stellen feines Zementmehl her. Der jetzt fertige Portlandzement gelangt am Auslauf in ein Becherwerk, das ihn hochhebt und in eine Förderschnecke wirft. Diese bringt den Zement in die Siloverteilungsschnecken, die ihn in die Silozellen werfen. Aus diesen Silozellen wird der Zement mit Schnecken, deren jede einzeln von der Transmission angetrieben wird, herausgeholt und in Sack-, bzw. Fasspackmaschinen geleitet, welche die richtige Gewichtsmenge einfüllen.

Die für die Drehrohröfen erforderlichen Kohlen werden vom Kohlenschuppen oder Kohlenlagerplatz zur Kohlenmühle gefahren, dort auf den Rost des Einwurfes zum Becherwerk geworfen, von dem Becherwerk hoch gehoben und in die Trockentrommel gebracht. Die groben, nicht durch den Rost gehenden Stücke werden mit einem Hammer zerschlagen.

Die Kohlentrockentrommel wird mit heißer Luft aus



dem Klinkerkühler geheizt. Am Ende der Trommel fällt die Kohle in ein Becherwerk und wird von diesem in die Glockenmühle gehoben, welche die Kohle schrotet und an die unmittelbar darunter aufgestellte Rohrmühle weitergibt. In der Rohrmühle wird die Kohle zu einem unfehlbaren Pulver gemahlen. Am anderen Ende der Rohrmühle fängt ein Becherwerk das feine Kohlenmehl auf und hebt es in die Kohlenstaubbehälter. Diese Kohlenstaubbehälter sind mit Entleerungsvorrichtungen versehen, die besonders gleichmäßig arbeiten und zum Regulieren eingerichtet sind. Von den Entleerungsvorrichtungen gelangt der Kohlenstaub in die Hochdruckventilatoren, die ihn in die Drehrohröfen einblasen, wo er sich entzündet und das Zementrohmehl zu Klinker brennt.

### **Die Wasserkalke oder „hydraulischen“ Kalke.**

Auftreten, Zusammensetzung und Behandlung der Wasserkalke im allgemeinen.

Unter diesem Sammelbegriff fassen wir alle Zemente zusammen, die aus natürlich auftretenden Kalktongemischen nach dem Vorgange Parkers erzeugt werden, bei deren Brande die Hitze nicht zur Sinterung ausreicht, und welche freien Kalk enthalten.

Nachdem man erkannt, daß das Erhärten im Wasser sich auf das Vorhandensein von Kieselsäure, Kalk und Tonerde in gewissen Mengenverhältnissen gründet, indem diese Stoffe sich zu Kalksilikaten und -aluminaten vereinigen, und daß hierzu namentlich die Kieselsäure in aufgeschlossenem (verbindungsfähigem) Zustande nötig sei, lag der Gedanke nahe, die in der Natur vielerorts verbreiteten Kalkstein-Tongemische auf ihre Zusammensetzung zu prüfen und geeignetenfalls aus ihnen durch Brennen und Mahlen Zement herzustellen. Dieser Gedanke ist mit bedeutendem Erfolge verwirklicht worden; an zahlreichen Orten sind Zementfabriken entstanden, die sehr verschieden benannte Wasserkalke aus Gesteinen erzeugen, deren erfolgreiche Verwendung man vorher kaum erwarten konnte.



Besonders in Frankreich werden diese natürlichen Gesteine in ausgedehntester Weise in solchem Sinne ausgenützt. Hatte ja doch schon Vicat in den Jahren 1833 bis 1844 durch seine chemisch-geologischen Untersuchungen etwa 900 Fundorte von geeignetem Gestein für Wasserkalke nachgewiesen.

Deutschland und Österreich sind verhältnismäßig langsam nachgekommen, obwohl sie nicht minder reich an Gestein für Wasserkalke sind. Die gleichzeitige hohe Entwicklung der Portlandzementfabrikation in jenem Lande, welche hochwertige Erzeugnisse liefert und sich von der zufälligen und schwankenden Zusammensetzung natürlicher Gemische, welche die Fabrikation erschwert, frei machte, mag hauptsächlich eine weitere Verbreitung der Wasserkalke behindert haben, wie sie tatsächlich den Wettbewerb der Wasserkalke mehr und mehr zurückdrängt.

Obwohl, wie wir früher gesehen, Gestein für Wasserkalke in allen geschichteten Formationen vom Silur bis hinauf zu der jüngsten, dem Alluvium, auftritt, so ist doch seine Zusammensetzung ungemein wechselnd, und sind, wie bereits mehrmals betont, die jüngeren Tonkalksteine, die leicht zerreiblichen Mergel-, Kreide- und Süßwasserkalksteinarten, vorzugsweise für die Bereitung des hydraulischen Kalkes geeignet.

Diese kalktonigen Gesteine sind für Wasserkalke dann besonders brauchbar, wenn sie innige und gleichartige Gemische von kohlensaurem Kalk oder kohlenaurer Kalkmagnesia mit Ton darstellen, derart, daß sich der Kalk oder die Magnesia nicht durch Schlämmen, sondern nur durch Säuren von dem Ton trennen läßt. Behandelt man sie gepulvert mit Säuren (z. B. mit Salzsäure), so schäumen sie in ihrer ganzen Masse mehr oder minder (je nach dem Gehalt an kohlensauren Verbindungen) und lösen sich bis auf einen größeren oder geringeren Rückstand von Ton und Sand.

Wahrscheinlich sind sie entstanden, indem eine Lösung von kohlensaurem Kalk oder Magnesia einen Ton Schlamm durchdrang und jedes Teilchen des letzteren eine kleine Menge davon aufsaugte, oder derart, daß Ton Schlamm und Kalk-

schlamm sich schon vor dem Absetzen innig miteinander vermischen.

Das Gefüge dieser Mergel ist in der Regel erdig oder dicht, zuweilen sandsteinartig, halb kristallinisch, endlich manchmal auch schieferig oder blätterig. Die Farbe ist theils weißlich oder gelblich, theils hellgrau und durch beigemischte Eisenverbindungen blaugrün, gelbgrün, rotbraun, ockerartig. Außer kohlensaurem Kalk und Ton führen sie oft beträchtliche Mengen kohlensaure Magnesia, kohlensaures Eisen- und Manganorydul, gewöhnlich auch feinen Quarzsand.

Beträgt die Beimischung dieser Tonkalksteine an Ton (und Sand) höchstens 20 i. H., so nennt man die Gesteine Mergelkalke; steigt sie aber auf 20 bis 80 i. H., so heißen sie Mergel.

Beide, sowohl Mergelkalk wie auch Mergel, führen nicht selten größere Mengen kohlen-saurer Magnesia und heißen dann dolomitische Mergel; oder sie sind durch Eisen- und Manganorydhydrat gelb bis braun gefärbt: eisen-schüssige Mergel, oder enthalten kohlige oder bituminöse Substanzen: bituminöse Mergel und Stinkmergel, oder endlich viel beigemischten Sand: Sandmergel.

Senjt teilt alle Mergel in folgender Weise ein<sup>1)</sup>:

I. Mergelkalk: Inniges, wenn auch nicht immer gleichartiges Gemenge von kohlen-saurem Kalk mit höchstens 20 i. H. Ton (oft auch kohlen-saures Eisen- oder Mangan-orydul). Farbe gewöhnlich weißgrau matt, Bruch flach-muschelig, vor dem Lötrohr etwas schmelzend, namentlich in der Muschelkalk- und Juraformation auftretend.

II. Mergel: Inniges, gleichartiges Gemenge von kohlen-saurem Kalk mit 20 bis 80 i. H. Ton, oft auch mit größerer oder geringerer Menge kohlen-saurer Bittererde, kohlen-saurem Eisen- oder Mangan-orydul, oder statt dessen Eisen- und Mangan-oryd, auch mit Sand und Bitumen durchsetzt. Farbe ungemein wechselnd, ebenso der Bruch, dieser jedoch meist erdig. Man unterscheidet folgende Arten:

1) Synopsis der Mineralogie. III, 852.



1. Kalkmergel mit 20 bis 25 i. H. Ton braust mit Säuren und hinterläßt einen geringen tonigen Rückstand.

2. Tonmergel enthält 25 bis 80 i. H. Ton, braust um so langsamer und schwächer mit Säuren, je geringer sein Gehalt an kohlen-sauren Verbindungen, und ist oft durch Eisen gefärbt.

3. Dolomitischer Mergel mit 5 bis 30 i. H. kohlen-saurer Magnesia, braust mit Säuren nur langsam und schwach, ist härter und schwerer als die übrigen.

Steigt der Gehalt an kohlen-saurer Magnesia, so geht der dolomitische Mergel in Dolomit über, von welchem man unterscheiden muß:

Dolomite mit  $\text{Ca CO}_3 + \text{Mg CO}_3$  (54.27 + 45.73 i. H.), Normaldolomite (in älteren Formationen auftretend).

Dolomite mit  $3 \text{ Ca CO}_3 + 2 \text{ Mg CO}_3$  (63.95 + 36.05 i. H.), gewöhnlich vermennt mit Normaldolomiten.

Dolomite mit  $2 \text{ Ca CO}_3 + \text{Mg CO}_3$  (70.28 + 29.72 i. H.).

4. Sandmergel, innig von größeren Mengen feinen Quarzsandes durchsetzt.

5. Bituminöser Mergel (Mergelschiefer) mit kohligen oder bituminösen Substanzen durchsetzter dunkler Mergel.

Hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit sind diese Mischungen natürlich um so willkommener, je mehr sich ihre Zusammensetzung derjenigen bewährter Zementmischungen nähert.

Bei Gesteinsarten von nicht ganz erwünschter Zusammensetzung kann man sich mitunter durch Gattieren<sup>1)</sup> helfen.

Vicat unterschied drei Klassen von Wasserkalken:

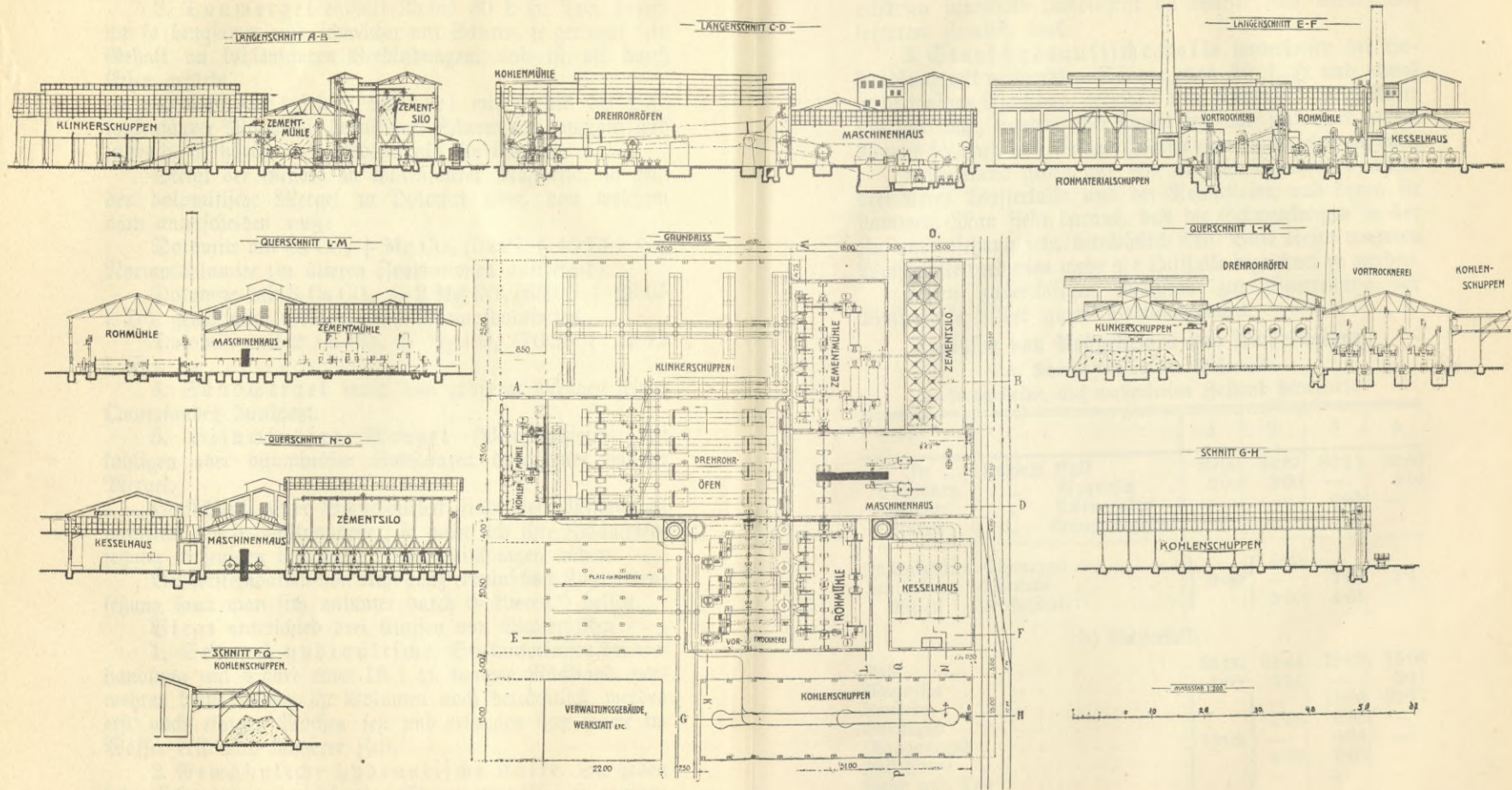
1. Schwach hydraulische. Sie hinterlassen bei Behandlung mit Säure etwa 15 i. H. tonigen Rückstand, vermehren beim Löschen ihr Volumen noch beträchtlich, werden erst nach einigen Wochen fest und erlangen ihre Härte im Wasser erst nach längerer Zeit.

2. Gewöhnliche hydraulische Kalke. Sie geben beim Behandeln mit verdünnten Säuren etwa 25 i. H. tonigen

<sup>1)</sup> Herstellen der geeigneten Zusammensetzung mit Hilfe von Zusätzen.











Rückstand, vergrößern ihr Volumen beim Anmachen mit Wasser nur noch wenig, erhalten schon nach einigen Tagen Festigkeit, erhärten innerhalb Jahresfrist im Wasser und widerstehen letzterem ziemlich stark.

3. Stark hydraulische Kalke hinterlassen bei Behandlung mit verdünnten Säuren etwa 30 i. H. und etwas mehr tonigen Rückstand, gedeihen beim Anmachen mit Wasser fast gar nicht, werden aber schnell fest und nach zirka einem Monat so hart, daß sie das Wasser gar nicht mehr angreift.

Nachstehend geben wir eine Anzahl Analysen<sup>1)</sup> dieser drei Arten Wasserkalke und der Rohgesteine, aus denen sie stammen. Man sieht daraus, daß die Schwankungen in der Zusammensetzung sehr beträchtlich sind. Viele dieser mageren Wasserkalke verdienen mehr als Luftkalke bezeichnet zu werden.

Einen zuverlässigen Maßstab zur Beurteilung der Wasserkalke bildet guter Portlandzement.

### Analysen von Rohgesteinen und Wasserkalken.

#### A. Schwach hydraulische Wasserkalke.

a) Rohgesteine, auf wasserfreien Zustand berechnet:

		1	2	3	4
In Salzsäure löslicher Anteil	Kohlenf. Kalk . . . . .	89·00	86·87	86·19	82·50
	„ Magnesia . . . . .	2·00	3·90	—	4·10
	„ Eisenoxydul . . . . .	—	—	0·85	—
	„ Manganoxydul . . . . .	—	—	0·66	—
In Salzsäure unlöslicher Anteil	Eisenoxyd . . . . .	} 9·00	4·23	—	—
	Tonerde . . . . .		—	7·08	13·4
	Kieselsäure . . . . .		5·00	4·64	—

b) Wasserkalke:

Kalk . . . . .	83·36	81·44	79·09	75·06	
Magnesia . . . . .	1·59	3·11	—	3·17	
Tonerde . . . . .	} 15·05	} 7·08	11·60	21·77	
Eisenoxyd . . . . .			—	0·96	—
Manganoxyd . . . . .			—	0·74	—
Kieselsäure . . . . .			8·36	7·60	—
Sand und Ton . . . . .			—	—	—

1) Aus Mich a ë l i s: Die hydraulischen Mörtel, insbesondere der Portlandzement.

1. Gryphitenkalkstein von Digna (Zura); fest, dunkelgrau. Berthier.

2. Kalkstein von Holkin Mountain bei Holywell in Flintshire. Muspratt.

3. Fälhagenskalkstein. G. E. Pasch.

4. Kalkstein von Nismes, fest, graubraun (sehr geschätzt). Berthier.

Zu Tabelle B. auf Seite 147.

1. Mergel von Senonches, nahe Dreux (Eure et Loire). Collet Descotils.

2. Sekundärer Kalkstein von Mez; blaugrau, fest, erdiger Bruch. Berthier.

3. Kalkstein von Horb in Württemberg. Knauß.

4. Zementstein von Hausberge bei Minden, weniger hydraulische Sorte. Muspratt.

5. Kalkstein von Horb in Württemberg. Knauß.

6. Kalk von Sassenage (Isère). Vicat.

7. Kalk von d'Emondeville (Manche). Vicat.

8. Kalkstein von Jécamp. Rivot.

Zu Tabelle C. auf Seite 148 und 149.

1. Zementstein von Hausberge bei Minden, dunkelblaugrau, schieferig, magerer. Muspratt.

2. Zementstein von Hausberge, fetter (beide werden zu gleichen Theilen gemischt gebrannt). Muspratt.

3. Kalknieren des London clay (Sheppeystone). Mittel aus 6 Analysen.

4. Kalkstein vom Arienberge bei Rüdersdorf, zur oberen Abteilung des Muschelskalkes gehörend.

5. Bayerischer Mergel. Feichtinger.

6.

7. Mergel von "Perlmoos" bei Rufftein in Tirol. Feichtinger.

8. Kalkstein aus der Grafschaft York (Whitby-Zement). Knauß.

9. Kalkstein von Bouilly (Côte-d'or). Vicat.

10. Kalk von Bassy. Vicat.

11. Kalkstein aus der Grafschaft Essex (Harwich-Zement). Knauß.

## B. Mittelstarke Wasserfalle.

a) Rohgesteine, auf wasserfreien Zustand berechnet:

	1	2	3	4	5	6	7	8
In Salzsäure löslich								
Rohensaure Kalk . . . . .	80.00	76.5	72.9	76.82	63.1			84.48
Rohensaure Magnesia . . . . .	1.50	3.0	9.5	2.81	12.3			—
Rohensaures Eisenorydul . . . . .	—	3.0	—	3.21	2.4			—
Rohensaures Manganorydul . . . . .	—	1.5	—	—	—			—
Eisenoryd . . . . .	—	—	5.30	1.86	2.20			1.03
Tonerde . . . . .	1.00	3.60	2.70	3.75	5.30			3.91
Kieselsäure . . . . .	17.00	11.60	7.40	11.03	11.20			10.57

b) Wasserfalle:

Kalk . . . . .	70.54	68.19	65.73	68.56	56.01	71.99	78.40	74.83
Magnesia . . . . .	1.12	2.66	7.25	2.09	9.28	0.51	3.93	—
Tonerde . . . . .	1.57	5.73	4.25	5.84	8.88	3.89	3.67	6.34
Eisenoryd . . . . .	—	3.29	8.52	6.32	6.18	—	3.00	1.67
Manganoryd . . . . .	—	1.64	—	—	—	—	—	—
Kieselsäure . . . . .	26.77	18.47	11.95	17.18	17.75	23.61	11.00	17.14
Sand und Ton . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—

10\*

Anmerkung. Woher die Ralkgesteine Nr. 1 bis 8 stammen, siehe auf Seite 146.





12. Kalkstein aus der Grafschaft Kent (Sheppey-Zement). Knauß.

13. Kalk von Teil (Carrière Mignole), Mittel aus 6 Analysen. Rivot.

14. Kalk von Teil (Carrière Gaillant), Mittel aus 3 Analysen. Rivot.

15. Kalk von Teil (Carrière de la Tuilière). Rivot.

16. Kalk von Teil (Carrière Havin Lafarge). Mittel aus 9 Analysen. Rivot.

Für die richtige Behandlung des in seinen chemischen und physikalischen Eigenschaften sehr verschiedenen Kalksteines gibt die Portlandzementfabrikation die Richtschnur.

Ebenso wie in einer Rohmischung für Portlandzement das Verhältnis des kohlenfauren Kalkes zu den Silikaten sich meistens annähernd wie 3·5 : 1 verhält, werden die Mergel, welche einer solchen Mischung nahe stehen, den besten Erfolg bei der Verwertung liefern, vorausgesetzt, daß sie auch sonst günstig beschaffen sind. Je höher der Silikatgehalt steigt, desto vorsichtiger muß der Brand geleitet werden.

Ein rationell geleiteter Betrieb geht von der Tatsache aus, daß Kalkmergel, deren Gehalt an Silikaten 19 bis hinunter zu 8 i. H. beträgt, gute ablöschbare Wasserfalle (zum trockenen Ablöschen) geben, und andere von 19 bis 30 i. H. gute Romanzemente, die um so schwächer gebrannt werden müssen, je höher der Silikatgehalt ist.

Hydraulische Mörtel können nur unter Mitwirkung der Kieselsäure hergestellt werden; wo diese fehlt, entstehen nur Luftmörtel; dies ist z. B. bei silikatfreien Dolomiten der Fall (Magnesiazement). Silikatfreier Dolomit ergibt also keinen hydraulischen Kalk; nur solcher ergibt ihn, der einen verhältnismäßig hohen Silikatgehalt zeigt. Frühling<sup>1)</sup> glaubt annehmen zu dürfen, daß die Verhältniszahl des Silikates zur Kalkerde bei solchen Mergeln, die mehr als 15 i. H. Magnesia enthalten, nahezu 20 v. H. höher sein muß als bei reinen Kalkmergeln, wenn gleichwertige Ergebnisse erzielt werden sollen<sup>2)</sup>.

<sup>1)</sup> Notizbl. 1876, S. 136.

<sup>2)</sup> Vergl. Magnesiazement.



Die Erfahrung hat gezeigt, daß Mergel, deren Tonerdegehalt 22 bis 25 i. H. beträgt, den vorzüglichsten hydraulischen Mörtel geben, weil sie sich am leichtesten brennen lassen. Mergel, die weniger als 20 i. H. Ton enthalten, müssen langsam und nicht zu stark gebrannt werden, damit sich Kalk und Kieselsäure nicht schon beim Brennen verbinden, vielmehr jener immer noch etwas Kohlenäure behält; Mergel dagegen, die 30 i. H. und mehr Ton enthalten, müssen rasch und stark gebrannt werden.

Wie man sieht, richtet sich die Art des Brennens durchaus nach dem Tongehalt des Mergels; der ihm beigemengte feine Quarzsand, der oft die Hälfte und mehr sämtlicher Kieselsäure ausmacht, wirkt hier bestimmend. Wäre der Gehalt an letzterem nicht so groß, so würde der tonige Bestandteil (kieseläure Tonerde) früher schmelzen, da noch die beigemengte Kieselsäure mit dem Kalk in chemische Verbindung tritt. Man könnte diese Mergel in der That so stark erhitzen, bis sie glasig werden, ohne einen Kalkverlust befürchten zu müssen, und ohne sie tot zu brennen, was den bedeutenden Vorteil hat, daß die Zemente sich zu einem dünnschieferigen, glasartigen, blätterigen Pulver zerreiben lassen, das größere Dichtigkeit und, da der entstandene Alkalk der Blättchen mit einer glasigen Schicht überdeckt ist, größere Haltbarkeit besitzt. Gerade diese eigentümliche physikalische Beschaffenheit der kleinsten Zementteilchen, diese blätterige Struktur, gibt dem Portlandzement einen großen Teil seiner Vorzüge, wie schon v. Pettenkofer erkannt hat. Ein Raumteil eines nicht verglasten Mergelzementes wog 17·529 g, ein gleicher Raumteil eines verglasten Portlandzementes dagegen 31·788 g; der letztere enthält also im Vergleich zu ersterem bedeutend mehr bindende Masse. Diese glasige Decke der einzelnen Zementteilchen ist auch der Grund des kaum merklich alkalischen Geschmacks des Portlandzementes.

Die chemische Zusammensetzung und namentlich auch der Tonerdegehalt in erster Linie bestimmt also die Brauchbarkeit eines Mergels zur Zementfabrikation überhaupt, begründen ferner die Art des Brennens und dies wiederum die



Güte des Erzeugnisses. Ziehen wir endlich noch in Betracht, daß eine innige Mischung und gleichmäßige Verteilung der im Mergel vorhandenen Stoffe unbedingte Notwendigkeit ist, so haben wir die Hauptsätze, die bei der Zementfabrikation aus Mergeln zu berücksichtigen sind.

Vielfach verwendet man auch die bituminösen Schiefer und Stinkfalle, die in Deutschland in der Biazformation des unteren Jura, des Keupers, Kupferschiefers und im Steinkohlengebirge auftreten, zu hydraulischem Kalk. Unter 30 i. H. Kalk dürfen diese Schiefer, wenn sie hierzu brauchbar sein sollen, nicht enthalten.<sup>1)</sup>

Beim Brennen der Schiefer muß man beachten, daß Schiefer von weniger als 70 i. H. Kalk schwach, bei mäßiger Rotglut gebrannt werden, bei höherem Kalkgehalt, 70 bis 74 i. H., kann die Temperatur bis zur Sinterung gesteigert werden.

Sind die Schiefer reich an Bitumen, so brennen sie sich schon unter Zusatz von wenig Brennstoff, auch kann das Brennen in Meilern ausgeführt werden, wie dies beispielsweise in Südfrankreich noch für Kalk gebräuchlich ist.

In den Vogesen, am Fuße des Unterharzes, in der Ebene Hannovers, im Berglande Hessens, im Göttinger Walde und an vielen anderen Orten wird Muschelkalk angetroffen, der geringe tonige Beimengungen führt und allmählich in den sogenannten Plattenkalk übergeht. Ist dieser in seiner chemischen Zusammensetzung den an den gleichen Orten auftretenden Kalkmergeln oft ähnlich, so unterscheidet er sich doch von ihnen durch seine physikalischen Eigenschaften, da er schiefrige Struktur und einen rauhen und körnigen Bruch besitzt und eine sehr ungleichförmige Mischung zeigt. Wird dieser Schiefer bei niedriger Temperatur gebrannt, so erhält man, wie Frühling ausführt<sup>2)</sup>, ein dem Basszement ähnliches Erzeugnis, welches anfänglich ebenso rasch wie dieser abbindet, jedoch nur an der

1) Notizbl. 1870, S. 180.

2) Notizbl. 1870, S. 104.

Oberfläche erhärtet, während das Innere der Masse in Folge des Alkalkes selbst nach längerer Zeit noch zerreiblich bleibt.

Die äußeren Merkmale der gargebrannten Stücke des Wasserfalles, einschließlich des Romanzementes, aber ausschließlich der gesinterten, dem Portlandzement nahe stehenden Erzeugnisse, sind: Die beim Zerbrechen der Stücke sich zeigende Würbigkeit, das allgemeine Aussehen der Bruchfläche und die Veränderung der Färbung auf dieser.

Die zum Brennen benützten Öfen, sowie die zum Zerkleinern des Gesteines nötigen Vorrichtungen und Maschinen weichen im allgemeinen nicht von dem bei Herstellung des Portlandzementes gebräuchlichen ab. Nur bedient man sich in der Regel der einfachsten der dort benützten Hilfsmittel; zum Brennen: einfacher (hier ununterbrochen betriebener) Schachtöfen, die meist unten und oben etwas verengt sind; zum Mahlen: der Rollergänge und gewöhnlichen Mahlgänge.

### **Die Eigenschaften und die Prüfung des Wasserfalles und des Portlandzementes.**

Die Eigenschaften und die Verwendbarkeit des Wasserfalles (hydraulischen Kalkes) liegen zwischen denen des Portlandzementes und denen des Alkalkes. Sie nähern sich denen des Portlandzementes um so mehr, je stärker wassererhärtend der Wasserfall ist. Daher hat das, was über die Eigenschaften des Portlandzementes gesagt wird, auch für den Wasserfall eine mehr oder weniger beschränkte Geltung.

Die Prüfung des Portlandzementes zerfällt in die chemische Untersuchung und die mechanische Prüfung. Die chemische Untersuchung vermag durch Aufklärung über die chemische Zusammensetzung des Zementes nur bis zu dem Urtheil zu führen, ob der Zement tauglich sein könnte oder nicht; die mechanische Prüfung aber bringt die Entscheidung, ob der Zement tauglich ist oder nicht, und zwar bringt sie diese Entscheidung für viele Fälle künftiger Ver-



wendung schon, ohne von der chemischen Untersuchung mehr Aufklärung zu beanspruchen als die Angabe des Magnesia-gehaltes.

### Die chemische Untersuchung des Zementes.

Über die Zusammensetzung guter Portlandzemente ist Näheres schon auf den Seiten 77 und 80 mitgeteilt worden.

Die chemische Untersuchung des Portlandzementes geschieht in ähnlicher Weise wie die des Tones, welche auf den Seiten 65 bis 70 beschrieben worden ist, nur ohne Aufschließen, sondern mittelst einfachen Lösens der 2 g betragenden feingepulverten Probe in konzentrierter Salzsäure auf dem Wasserbade. Man bestimmt zuvor den Glühverlust — wenigstens wenn der Zement nicht ganz frisch ist — und bezieht die weiteren Untersuchungsergebnisse auf den geglähten Zement.

Nur dann, wenn erst festgestellt werden muß, ob Portlandzement oder etwa ein Hochofenschlacke enthaltender Zement vorliegt, ist außerdem eine Prüfung auf Schwefelkalzium (Ca S) erforderlich. Man erkennt dessen Anwesenheit daran, daß der Zement mit Salzsäure oder verdünnter Schwefelsäure Schwefelwasserstoff entwickelt, dessen Geruch ein genügend scharfes Kennzeichen bildet. Will man die Menge des Schwefelkalziums bestimmen, so übergießt man einige Gramme des Zementes mit viel kaltem Wasser, setzt nun ohne Umschwenken verdünnte Schwefelsäure zu und titriert sofort (ehe Entweichen von Schwefelwasserstoff eintritt) mit Kalziumpermanganatlösung von bekanntem Gehalt. Über die letztere siehe Weiteres auf Seite 67.

Um kein falsches Urteil über den gelagerten Portlandzement aufkommen zu lassen, sei hier nochmals darauf hingewiesen, daß es kein Erfordernis ist, daß der Portlandzement frisch sei, sondern daß er beim Lagern eher noch seine Eigenschaften verbessert.

Die chemische Untersuchung der Wasserfalke geschieht in gleicher Weise wie die des Portlandzementes.



### Die mechanische Prüfung des Zementes.

Die hierbei zu berücksichtigenden Eigenschaften sind: Reinheit, Farbe, Mahlfineinheit, Dichte (spezifisches Gewicht), Raumbgewicht (als Litergewicht), Wasserbedarf, Abbinden, Raumbeständigkeit und Treiben, Festigkeit und zwar: Druck- und Zugfestigkeit.

Die Prüfungen auf mehrere dieser Eigenschaften (Mahlfineinheit, Bindzeit, Raumbeständigkeit, Druckfestigkeit und Zugfestigkeit) und die Ansprüche, denen diese Eigenschaften beim Portlandzement genügen müssen, sind für das Deutsche Reich durch die deutschen Normen<sup>1)</sup>, für Österreich durch die Bestimmungen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement<sup>2)</sup> (aufgestellt vom Österreichischen Ingenieur- und Architektenverein) geregelt. Für Österreich gelten außerdem noch: Bestimmungen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Romanzement<sup>3)</sup>, sowie ähnliche Bestimmungen für Schlackenzement<sup>4)</sup>.

Über die Reinheit des Zementes gibt im allgemeinen schon die chemische Analyse Auskunft. Da deren Ergebnis aber nicht immer genügend erkennen läßt, in welcher Gestalt die gefundenen Stoffe vorliegen, werden in manchen Fällen die mikroskopische Untersuchung oder die Schwebeanalyse zu Hilfe genommen. Untersuchungen solcher Art werden meist dann angewendet, wenn die Prüfung mit Säure die Wahrscheinlichkeit einer Zumischung von Hochofenschlacke zum Zement ergeben hat.

Zur mikroskopischen Untersuchung entfernt man zweckmäßig das feine Mehl mittelst des 5000-Maschen-siebes.

Die Schwebeanalyse ist ein Trennungsverfahren für Gemenge aus leichten und schweren Körnchen mit Hilfe einer Flüssigkeit von großer Dichte. Als derartige Scheide-

1) Die neuesten vom Jahre 1908, siehe im folgenden.

2) Die neuesten vom Jahre 1907, siehe im folgenden.

3) Vom Jahre 1893, siehe im folgenden.

4) Vom Jahre 1907, siehe im folgenden.

flüssigkeit dient Methylenjodid (Dichte 3.34). Man trocknet es zum Gebrauche über frisch geglühtem Chlorkalzium und filtriert es durch geglühten, im Exsikkator erkalteten Zement in einen Zylinder, den man mit Wasser von Zimmertemperatur umgibt. Dann stellt man durch tropfenweises Zumischen von rektifiziertem Terpentinöl auf die Dichte 3.0 und später zu weiterer Trennung auf noch etwas geringere Dichte ein. Man streut nun den zwischen den Sieben von 2500 und 5000 Maschen im Quadratcentimeter bleibenden Anteil des Zementes in die Flüssigkeit ein. Da die Dichte des Portlandzementes größer als 3 ist, die der Schlackenteilchen aber geringer, so bleiben die letzteren samt Kohle und Gips in der Flüssigkeit schwebend. Man trennt nun mittelst des Scheidetrichters nach Harada s.

Die Farbe des gewöhnlichen langsambindenden Portlandzementes ist ein mehr oder weniger helles Grau. Der raschbindende Portlandzement dagegen ist oft ursprünglich etwas gelblich; man färbt ihn deshalb durch Zusätze von Schiefereschwarz, Braunstein oder dergleichen. Wenn man kleine Unterschiede zwischen den Färbungen der Zemente feststellen will, schüttet man eine kleine Menge des einen auf eine Glasplatte, drückt den Haufen mit einer sauberen Glasplatte ein wenig zusammen, streut eine sehr kleine Menge des anderen Zementes mitten darauf und drückt nun den Haufen mit einer sauberen Glasplatte breit. Bei geringster Farbungleichheit erscheint der eine Zement in dem anderen als Fleck.

Die M a h l f e i n h e i t<sup>1)</sup> wird mittelst eines Siebes mit 900 Maschen auf den Quadratcentimeter und eines Siebes mit 4900 Maschen auf den Quadratcentimeter (kurz 5000-Maschen-sieb genannt) festgestellt. Auf das 5000-Maschen-sieb bringt man nur das Siebfeine des 900-Maschen-siebes. Der auf dem letzteren bleibende Rückstand des Portlandzementes hat für die Verarbeitung des Zementes nur den

1). Eingehendere Feststellungen sind mittelst des Gary-Vindner'schen Windsichters („Deutsches Zementprotokoll“ 1907, S. 140) ausführbar.



Wert von Sand, da das Wasser ihn unverändert läßt. Der Portlandzement unserer neuzeitlich eingerichteten Zementwerke hinterläßt auf dem 900-Maschen-sieb in der Regel nicht mehr als 2 v. H. und auf dem 5000-Maschen-sieb in der Regel nicht mehr als 20 v. H. Über die zulässige Größe der Siebrückstände und über weiteres siehe im folgenden in den Deutschen Normen und in den Osterreichischen Bestimmungen.

Die Dichte (das spezifische Gewicht) des Portlandzementes ist 3 bis 3.25. Man stellt die Dichte am frisch geglühten Zement, und zwar gewöhnlich mit Hilfe des Schumannschen Volumenometers fest. Dieses besteht aus einer kleinen bauchigen Glasflasche, in deren Mündung eine in Zehntel-Kubikzentimeter geteilte Röhre eingeschlifsen ist (Bild 40). Man füllt die Flasche mit Terpentinöl<sup>1)</sup>, setzt dann die Röhre ein und füllt nun weiter bis zum Beginn der Teilung. In das genau auf deren Nullpunkt eingestellte Terpentinöl schüttet man mittelst eines trockenen Trichters gerade 100 g Zement und liest nach dessen durch vorsichtiges Erschüttern bewirktem völligen Untersinken an der Teilung ab, wieviel Kubikzentimeter Terpentinöl er verdrängt hat. Durch diese Zahl dividiert man 100, um die Dichte zu erhalten. Da das Ablesen nicht sofort möglich ist, verstopft man inzwischen die Röhre, um Verdunsten von Terpentinöl zu vermeiden. Volumenometer, Terpentinöl und Zement müssen die Temperatur des Arbeitszimmers haben.

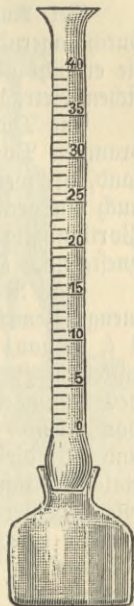


Bild 40.

Zur Ausführung von vielen Dichtebestimmungen hintereinander eignet sich besonders der Apparat von Erd-

<sup>1)</sup> Neuerdings verwendet man nach Beck's Vorschlag auch Tetrachlorkohlenstoff.



menger und Mann, bei welchem das Terpentinöl aus einer 50  $cm^3$ -Glashahnbürette mit Kühlmantel in mit gewogenen Zementproben beschickte 50  $cm^3$ -Kölbchen bis zur Marke eingelassen wird. Vor gänzlichem Füllen schüttelt man. Die Ablejung der in der Bürette zurückgebliebenen Meßflüssigkeit ergibt unmittelbar die Raummengung (das Volumen) der Zementprobe. Durch diese Zahl dividirt man dann das Gewicht.

Bei Aufnahme von Luftfeuchtigkeit und Kohlenäure durch lagernden Portlandzement sinkt die Dichte ein wenig; sie erreicht aber durch nachträgliches Glühen den ursprünglichen Betrag wieder.

Die Dichte des schwach gebrannten und des gargebrannten Portlandzementes zeigen, wie schon Erdmenger fand, oft wenig Unterschied<sup>1)</sup>. Nach Erdmenger erniedrigt auch ein großer Gehalt an freier Magnesia die Dichte des Portlandzementes nicht; er verweist darauf, daß die Magnesia nach H. Rose in hoher Glut die Dichte 3:3 erlangt.

Das Raungewicht des Zementes ist die Gewichtsmengung Zement, welche die Raumeinheit, hierbei gewöhnlich 1 l, in ganz lose geschüttetem oder in fest zusammengerrütteltem Zustande ausfüllt. Man benützt zur Bestimmung des Raungewichtes (des „Litergewichtes“) ein Litergefäß von 86 mm lichtigem Durchmesser und 172 mm lichter Höhe und füllt dieses, indem man den Zement über eine Rutsche einlaufen läßt, wobei er nur geringe Fallhöhe hat oder — wie in Osterreich vorgeschrieben — indem man den Zement mittelst eines 64-Maschensiebes einsiebt, dessen Drahtstärke 0.4 mm ist. Man vermeidet jede Erschütterung des Litergefäßes und trägt den überstehenden Kege! mittelst einer breiten Messerklinge sehr vorsichtig ab. Nach dem Wägen rüttelt man durch Aufstoßen auf den Tisch und unter beständigem Nachfüllen fest ein und wägt wieder.

Der Wasserbedarf und das Abbinden sind ebenfalls Gegenstand genauer Ermittlungen. Der Wasser-

<sup>1)</sup> Tonindustriezeitung, Jahrg. 1877, S. 265 und Dinglers Journal 1873, S. 286.

bedarf ist bei den Raschbindern des Portlandzementes mit geringerem Kaltgehalt größer als bei den Mittelbindern und den Langsambindern.

Die Ermittlung des Wasserbedarfes geschieht hauptsächlich als Vorbereitung für Abbinde- und Festigkeitsprüfung und wird einerseits nach den Deutschen Normen, andererseits nach den Oesterreichischen Bestimmungen etwas verschieden ausgeführt, weshalb wegen des Näheren auf diese Vorschriften verwiesen werden muß.

Man schüttet die dort vorgeschriebenen 100 g, beziehungsweise 400 g, Portlandzement zweckmäßig in eine emaillierte Schüssel und setzt aus einem mit Teilung versehenen Meßzylinder<sup>1)</sup> so viel Wasser zu, als zur Herstellung eines mäßig steifen Breies vermutlich ausreicht. Dann rührt man mit einem Löffel um und knetet damit durch. Wenn der Brei den Vorschriften nicht genügte, wiederholt man den Versuch mit entsprechend geänderter Wassermenge.

Zur Beobachtung des Abbindens wird der mit der richtigen Wassermenge bereitete („angemachte“) Zementbrei in den vorgeschriebenen 4 cm hohen, kegelförmigen Hartgummiring (siehe in Bild 41), der auf eine Glasplatte gestellt ist, eingefüllt und durch Abstreichen mittelst einer Messerflinge mit dessen oberem Rande glatt abgeglichen. (Die Hartgummidoose und die Glasplatte hat man zuvor mit ein wenig Vaseline eingefettet, um später den Zementfuchsen leicht ablösen zu können.) Nachdem die Zeit des Anmachens (der Augenblick des Wasserzusetzens) notiert wor-

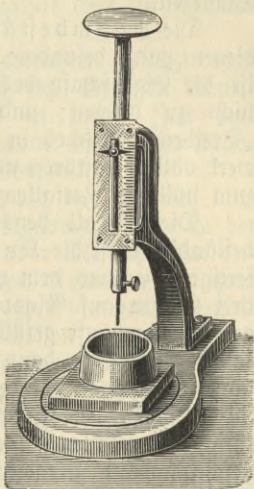


Bild 41.

<sup>1)</sup> Am bequemsten ist eine von oben nach unten gehende Teilung in Kubikzentimeter.



den ist und der Kuchen oberflächlich abzutrocknen begonnen hat, setzt man ihn unter die Normalnadel<sup>1)</sup> (Bild 41) und prüft, ob die langsam eingesenkte Nadel noch ganz durchdringt. Ist dies eben gerade nicht mehr der Fall und hat man dadurch den Beginn des Abbindens festgestellt, so ist es nur noch erforderlich, den Zeitpunkt zu ermitteln, in welchem die Nadel eben gerade keinen merklichen Eindruck mehr hinterläßt. Die Zeit, welche seit dem Anmachen bis zum Ende des Abbindens verflossen ist, nennt man die Bindezeit.

Die Raumbeständigkeit und das Treiben verdienen ganz besondere Beachtung. Die Raumbeständigkeit ist die Eigenschaft des Zementes, sich nach dem Abbinden nicht zu dehnen; und dieses Dehnen ist das gefürchtete „Treiben“, welches in den schlimmsten Fällen das Mauerwerk völlig zerstören und den Zementmörtel oder den Beton zum völligen Zerfallen bringen kann.

Die überall benützte einfachste Prüfung auf Raumbeständigkeit ist die Kuchenprobe unter Wasser. Man fertigt dazu aus dem vorschriftsmäßig angemachten Zementbrei Kuchen auf Glasplatten<sup>2)</sup>, indem man den Zementbrei aus dem gehäuft gefüllten Löffel mitten auf die Glasplatte schiebt und diese dann sanft erschütteret. Der Kuchen läuft dabei am Rande dünn aus. Nachdem er während der ersten 24 Stunden bei Zimmertemperatur in einem feuchten geschlossenen Kasten<sup>3)</sup> gegen Zugluft, Sonne oder Ofenhitze geschützt ruhig gelegen und abgebunden hat, wird er unter Wasser von Zimmertemperatur gelegt und darin 27 Tage belassen. Neigt der Zement zum Treiben, so entstehen während der 28 tägigen Beobachtungszeit, meist aber schon nach drei Tagen, am Rande des Kuchens Risse, die man anfangs oft nur mittelst der Lupe deutlich erkennt<sup>4)</sup>, die sich

<sup>1)</sup> Bicatscher Nadelapparat.

<sup>2)</sup> Platten aus nicht zu dünnem Fensterglas in Größe von 12 × 12 cm.

<sup>3)</sup> Innen mit Zinkblech ausgekleideter Holzkasten.

<sup>4)</sup> Wenn der Rand des Kuchens dünn ausgelaufen ist, kann man schärfer beobachten.



aber bei erheblicher Treibneigung allmählich bedeutend erweitern, wobei dann über den ganzen Kuchen hin ein Netzwerk von Rissen entsteht und der Kuchen vollständig mürbe wird. Gleichzeitig krümmt sich der Kuchen.

Von ganz anderer und für die Beurteilung des Zementes unbedenklicher Art sind die „Schwindrisse“. Diese gehen nicht vom Rande aus, verlaufen zu einander ungefähr parallel und besitzen vor allem keine seitlichen Verästelungen. Sie entstehen auf den Kuchen nur während des Abbindens, und zwar durch Einwirkung von Zugluft oder zu trockener Luft.

Außer dem obigen Prüfungsverfahren benützt man auch Schnellproben, durch die man sich über die Raumbeständigkeit des Portlandzementes in kurzer Zeit vergewissert. Es sind das: die Darrprobe, die Michaëlis'sche Kochprobe und die Heingelsche Kugelprobe.

Die Darrprobe, deren Ausübung in Oesterreich vorgeschrieben ist, wird an Kuchen vorgenommen, die in der oben beschriebenen Weise auf Glas- oder Metallplatten angefertigt worden sind und die seit dem Anmachen bis zum Ablauf von 24 Stunden, jedenfalls aber bis nach Beendigung des Abbindens im feuchten Kasten gelegen haben. Die Darrprobe wird dann sofort ausgeführt, indem man die auf den Platten feststehenden Kuchen in den Trockenschrank bringt<sup>1)</sup> und diesen allmählich bis auf 120° C erhitzt, welche Temperatur nun zwei bis drei Stunden, mindestens aber eine halbe Stunde über das letzte sichtbare Entweichen von Wasserdampf andauern soll. Treiben ist auch hier am Auftreten von Rantenrissen erkennbar.

Die Michaëlis'sche Kochprobe wird in der Weise ausgeführt, daß man die 24 Stunden nach dem Anmachen, jedenfalls aber nach vollendetem Abbinden, aus dem feuchten Kasten entnommenen, auf den Glasplatten feststehenden Kuchen sogleich in einen Topf mit Wasser legt, so daß sie untertauchen, und daß man nun allmählich zum Kochen erhitzt, um

<sup>1)</sup> Sie sollen nicht senkrecht aufeinander geschichtet, sondern treppenförmig nebeneinander geordnet werden.

das Kochen bis zu drei Stunden andauern zu lassen, nötigenfalls unter Nachfüllen von heißem Wasser. Man lege auf den Boden des Topfes altes Messingdrahtnetz, damit die Dampfblasen ungehindert aufsteigen können und die Glasplatten nicht zer Sprengt werden. Neigt der Zement zum Treiben, so bekommt der Kuchen mindestens deutliche Rantenrisse. Diese Probe ist sehr scharf.

Die Heintzelsche Kugelprobe ist ganz besonders schnell ausführbar. Zur Herstellung der Kugel macht man 300 g Portlandzement mit nur so viel Wasser an, daß sich daraus in der Hand zwar eine Kugel mit glatter Oberfläche formen läßt, daß aber die Kugel auch beim Aufsetzen auf eine ebene Fläche noch einigermaßen ihre Gestalt behält. Man setzt die Kugel für einige Minuten auf eine Gipsplatte, bis sie an diese so viel Wasser abgegeben hat, daß sie sich nicht mehr weich anfühlt. Dann bringt man sie auf ein Stück dünnen Eisenbleches und erhitzt sie über einer zunächst kleinen, bald aber vergrößerten Flamme, bis aller Wasserdampf entwichen ist, was etwa zwei Stunden dauert. Bekommt die Kugel während des Erhitzens keine Risse<sup>1)</sup>, so ist die Probe bestanden.

Die Ursachen des bei den vorbeschriebenen Schnellproben und am Kuchen unter Wasser zu erkennenden Treibens können sein: zu großer Kalkgehalt des Zementes, ungenügendes Brennen, ungenügende Vermahlung und unvollständige Vermengung der Rohstoffe, sowie zu großer Gehalt an Gips.

Eine andere Ursache des Treibens, deren Wirkung sich erst nach Monaten oder noch später zeigt, nämlich zu großer Gehalt an Magnesia, wird hierbei nicht mit voller Sicherheit erkannt. Hierüber muß die chemische Analyse Auskunft geben. Mehr als 5 i. H. Magnesia (Mg O) dürfen im Portlandzement nicht enthalten sein.

### Die Druckfestigkeit und die Zugfestigkeit.

Die Festigkeit, welche von dem Zement bei seiner Ver-

<sup>1)</sup> Die Risse würden von der Unterseite ausgehen.



wendung zu Bauten verlangt werden muß, ist hauptsächlich die Druckfestigkeit. Wenn der Zement ausreichende Druckfestigkeit entwickelt, so erlangt er auch genügende Festigkeit gegenüber anderen mechanischen Einwirkungen, soweit man dergleichen von einem Mörtel verlangen kann. Und die Zugfestigkeit des Mörtels kommt dabei um so weniger in Betracht, als man Zugspannungen immer durch Eisenteile aufnimmt.

Deswegen ist im Deutschen Reiche, in Österreich und der Schweiz die Druckfestigkeit als die für die Beurteilung des Zementes maßgebende anerkannt worden. Die Prüfung auf Zugfestigkeit hat nur deswegen bisher eine so große Rolle gespielt, weil sie in einfacherer Weise festgestellt werden konnte und weil man früher glaubte, daß die Druckfestigkeit fast stets das Zehnfache der Zugfestigkeit betrage.

Da aber der Zement die Festigkeit, die er zu entwickeln befähigt ist, nur dann zu geben vermag, wenn er sachgemäß verarbeitet wird, so sind für die Prüfung auf Festigkeit genaue Vorschriften gegeben worden, deren nähere Einzelheiten aus den Deutschen Normen und aus den Österreichischen Bestimmungen im folgenden zu ersehen sind.

Man prüft den Zement hauptsächlich in Mischung mit Sand, weil nur dadurch seine Bindekraft zum Ausdruck kommt. Die Festigkeitsprüfung des reinen Zementes kann in der Hauptsache nur zu einer Feststellung der Raumbeständigkeit dienen, wofür man jedoch schneller zum Ziele führende Prüfungen und deutlichere Erkennungszeichen hat. Man verwendet nur den vorgeschriebenen Normsand und stellt damit die Normalmörtelmischung 1 Gewichtsteil Zement : 3 Gewichtsteilen Normsand her. Diese trockene Mischung wird nun mit einer abgemessenen Menge Brunnenwasser versetzt, die man erst genauer ermittelt, und durch sofortiges gründliches Durchmischen ein ganz gleichmäßig durchfeuchteter Mörtel gewonnen. Das Durchmischen geschieht im Deutschen Reiche mittelst des Steinbrück-Schmelzer'schen Mörtelmischers (Bilder 47 und 48), der eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Kollergang mit drehbarem Läuferteller hat; die Normen enthalten die Bilder und geben das Nähere.



Aus dem so vorbereiteten Mörtel werden in vorschriftsmäßigen Formen dichte Probekörper von genau bestimmter Gestalt und Größe hergestellt, und zwar entweder Würfel von 7.07 cm Kantenlänge ( $50\text{ cm}^2$  Fläche) zur Ermittlung der Druckfestigkeit oder einer 8 ähnliche Körper von  $5\text{ cm}^2$  kleinstem Querschnitt zur Ermittlung der Zugfestigkeit. Die Anfertigung der Würfel wie der Zugkörper geschieht durch

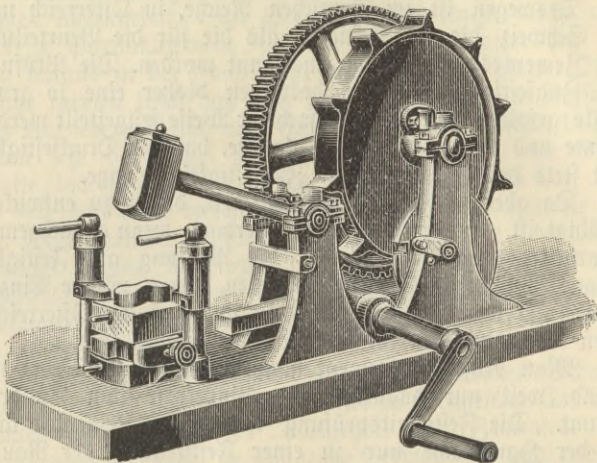


Bild 42.

maschinelles Einschlagen (Verdichten), im Deutschen Reich mittelst des Böhmischen Hammerapparates (Bild 42), in Osterreich mittelst des Klebeschen Rammapparates (Bild 43).

Eine Zugkörperform ist durch Bild 44 dargestellt. Sie ist in der Längenrichtung geteilt. Die Zugkörperform wird ebenso wie die Würfelform (Bilder 49 und 50) beim Füllen und Einschlagen mit einem Aufsekkasten versehen. Nachdem die Form samt ihrem Aufsekkasten unter dem Hammer oder unter der Ramme befestigt worden ist, wird sie mit der vorgeschriebenen Menge des Probemörtels ge-

füllt und der Mörtel durch Ingangsetzen des Apparates mittelst der Kurbel verdichtet. Der Wasserzusatz war richtig gewählt, wenn nach etwa 100 Schlägen an der Grenze zwischen der Form und dem Aufsetzkasten Mörtelbrei oder Wasser sichtbar wird.

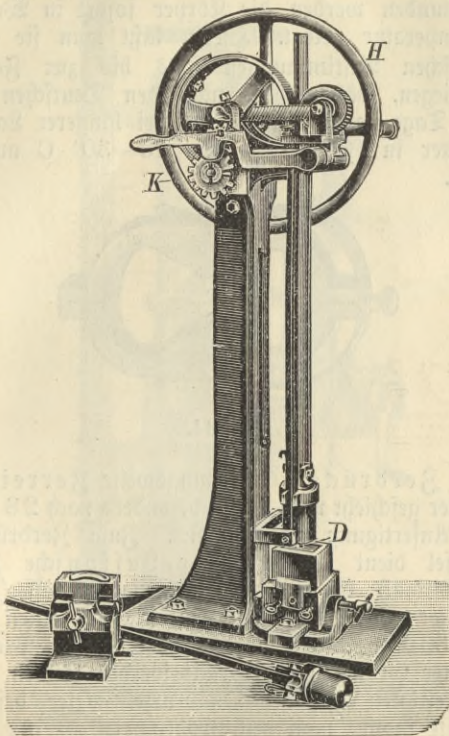


Bild 43.

Die Probekörper werden nun sogleich von dem überstehenden Mörtel durch vorsichtiges Abschneiden mit einem Messer befreit und dann geglättet. Das Entformen aber (und zugleich das Bezeichnen) geschieht erst nach dem Ab-

binden, nach Vorschrift der Deutschen Normen erst nach 20 Stunden. Für die Zwischenzeit und darüber hinaus bis zum Ablauf von 24 Stunden werden die Probekörper in einem feuchten bedeckten Kasten aufbewahrt, um jegliche Verdunstung von Wasser aus ihnen zu verhüten. Nach Ablauf der 24 Stunden werden die Körper sofort in Wasser von Zimmertemperatur gelegt. Hierin läßt man sie nach den Osterreichischen Bestimmungen stets bis zur Festigkeitsprüfung liegen, während sie nach den Deutschen Normen nur sechs Tage darin bleiben, um bei längerer Lagerungsdauer weiter in Zimmerluft von 15–30° C aufbewahrt zu werden.

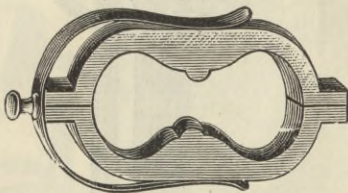


Bild. 44.

Das Zerdrücken, beziehungsweise Zerreißen der Probekörper geschieht nach 7 und besonders nach 28 Tagen, von der Anfertigung an gerechnet. Zum Zerdrücken der Probewürfel dient der Umsler-Laffonsche Zerdrückapparat (Bild 45). Es ist dies eine Flüssigkeitspresse („hydraulische Presse“) mit Ölfüllung; sie reicht für einen Gesamtdruck bis 30 000 kg. Es würde also damit ein Probewürfel in genannter Größe noch zerdrückt werden können, wenn er 600 kg Festigkeit auf den Quadratcentimeter besäße. In dieser Presse spannt man den Probewürfel — der eben aus dem Wasser entnommen ist — mittelst der senkrecht von oben wirkenden Schraubenspindel ein und übt nun den weiteren Druck durch Drehen der Kurbel aus. Die Größe des Druckes wird durch eine vor einer Teilung aufsteigende Quecksilbersäule an der linken Seite der Presse angezeigt. Das Zerdrücken ist am Stillstehen oder Sinken der Queck-



silbersäule sofort erkennbar. Nach dem Zerdrücken dreht man die Kurbel wieder zurück.

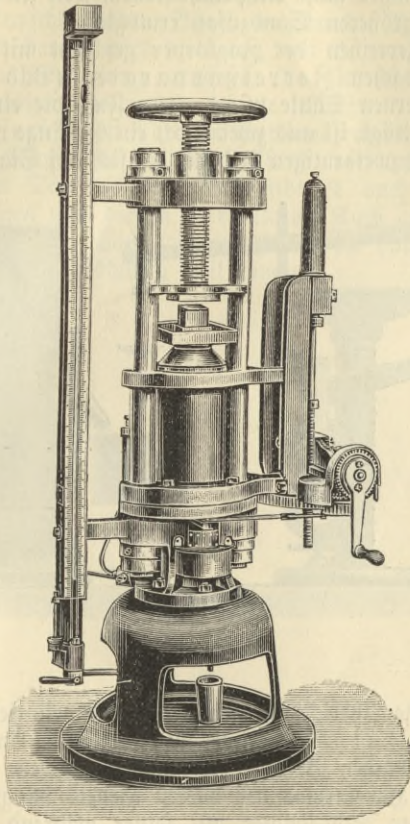


Bild 45.

Die in den Deutschen Normen und in den Österreichischen Bestimmungen für Portlandzement verlangten Mindestfestigkeiten (siehe im folgenden) werden oft noch erheblich

übertrossen. Eine so starke Bindekraft des Portlandzementes ist selbst dann noch wertvoll, wenn die damit auszuführenden Arbeiten weniger hohe Ansprüche stellen, weil sie in solchem Fall einen größeren Sandzusatz ermöglicht.

Das Zerreißen der Zugkörper geschieht mit Hilfe des Mich aë l i s c h e n Z e r r e i ß a p p a r a t e s (Bild 46). Auf einer gußeisernen Säule mit breitem Fuß, die einen starken Querbalken trägt, ist aus zwei durch ein Gehänge miteinander verbundenen zweiarmligen Hebeln, die sich auf Stahlschneiden

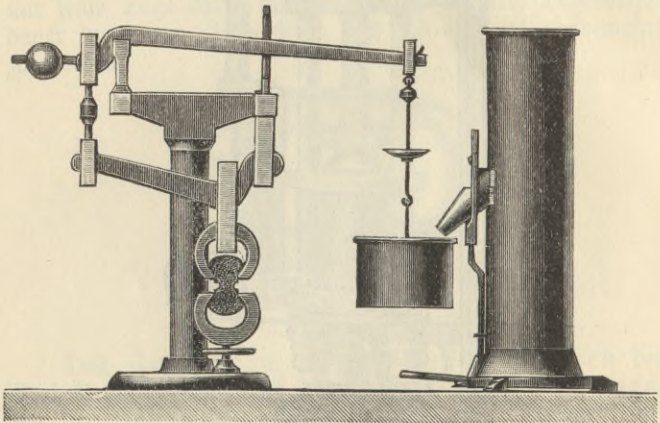


Bild 46.

bewegen, eine Vorrichtung gebildet, welche gestattet, mit einer angehängten Last (Schroteimer mit Bleischrot) eine Zugkraft von dem 50fachen Betrage der Last auszuüben. Am Ende des langen Hebelarmes des oberen Hebels hängt auf einer Schneide der Schroteimer mit seiner während der Zugfestigkeitsprüfung fortwährend zunehmenden Belastung; an der mittleren Schneide des unteren Hebels aber hängt die obere der beiden Klammern, zwischen welche der Zugprobekörper eingespannt wird, damit er den von dem Schroteimer ausgeübten Zug aufnimmt. Das Einspannen des

Zugkörpers geschieht durch Anziehen der unteren Klammer mittelst der unter ihr befindlichen Schraube und ist erst dann beendet, wenn der lange Arm des oberen Hebels die an dem umschließenden Bügel angebrachte Marke erreicht hat. Gleich darauf wird die neben dem Schroteimer stehende Schrotzulaufvorrichtung geöffnet, die sich beim Zerreißen des Probekörpers selbsttätig wieder schließt.

Die Zugfestigkeit ist beim Portlandzement in Mischung mit drei Gewichtsteilen Normalsand oft annähernd ein Zehntel der Druckfestigkeit, doch gibt es auch beträchtliche Abweichungen von diesem Verhältnis. Auch die Zugfestigkeiten gehen beim Portlandzement über die vorgeschriebenen Mindestzahlen gewöhnlich weit hinaus.



## Vorschriften für Lieferung und Prüfung von Zement im Deutschen Reich, in Österreich und in der Schweiz.

### Deutsches Reich.

#### Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement<sup>1)</sup>.

##### I. Begriffserklärung von Portlandzement.

Portlandzement ist ein hydraulisches Bindemittel mit nicht weniger als 1,7 Gewichtsteilen Kalk auf 1 Gewichtsteil lösliche Kieselsäure + Tonerde + Eisenoxyd, hergestellt durch feine Zerkleinerung und innige Mischung der Rohstoffe, Brennen bis mindestens zur Sinterung und Feinmahlen.

Dem Portlandzement dürfen nicht mehr als 3 v. H. Zusätze zu besonderen Zwecken zugegeben sein.

Der Magnesiumgehalt soll höchstens 4 v. H., der Gehalt an Schwefelsäureanhydrid nicht mehr als 2 $\frac{1}{2}$  v. H. betragen.

##### Begründung und Erläuterung.

Portlandzement unterscheidet sich von allen anderen hydraulischen Bindemitteln durch seinen hohen Kalkgehalt, welcher eine innige Mischung der Rohstoffe in ganz bestimmtem Verhältnisse bedingt, wie sie (sehr wenige natürliche Vorkommen ausgenommen) mit Sicherheit nur auf künstliche Weise durch feinste Mahlung und innigste Mischung unter chemischer Kontrolle zu erreichen ist.

<sup>1)</sup> Diese Normen wurden im Jahre 1908 vom „Verein deutscher Portlandzementfabrikanten“ neu aufgestellt und genehmigt, bedürfen aber vor ihrer Einführung an Stelle der bisherigen Deutschen Normen noch der ministeriellen Genehmigung. — Die zu den Prüfungen nötigen Apparate und Formen können durch das Chemische Laboratorium für Tonindustrie, Prof. Dr. H. Seger & C. Cramer, S. m. b. H., Berlin NW. 21, Dreyßstraße 4, bezogen werden. Die Prüfung der Apparate und Formen erfolgt im Königl. Materialprüfungsamt in Groß-Lichterfelde bei Berlin.

Zusätze zu besonderen Zwecken, namentlich zur Regelung der Bindezeit, sind nicht zu entbehren, jedoch in Höhe von 3 v. H. begrenzt, um die Möglichkeit von Zusätzen lediglich zur Gewichtsvermehrung auszuschließen.

Es muß im Interesse der Abnehmer verlangt werden, daß ähnliche, aus natürlichen Steinen durch einfaches Brennen hergestellte Erzeugnisse als „natürlicher Portlandzement“ bezeichnet werden.

Durch das Brennen bis zur Sinterung (beginnende Schmelzung) erhält das Erzeugnis eine sehr große Dichte (Raumgewicht), welche eine wesentliche Eigenschaft des Portlandzementes ist.

Ein Magnesiumgehalt bis zu 4 v. H., wie er bei Verwendung dolomithaltigen Kalksteines im Portlandzement vorkommen kann, hat sich als unschädlich erwiesen.

Um den Portlandzement langsam bindend zu machen, ist es üblich, ihm beim Mahlen rohen Gips (wasserhaltiger, schwefelsaurer Kalk) zuzusetzen; außerdem enthalten fast alle Zemente Schwefelsäure aus den Rohstoffen und Brennstoffen.

Ein Gehalt bis zu 2½ v. H. Schwefelsäureanhydrid hat sich als unschädlich erwiesen.

## II. Verpackung und Gewicht.

Portlandzement wird in Säcken oder Fässern verpackt. Die Verpackung soll außer dem Bruttogewicht und der Bezeichnung „Portlandzement“ die Firma der erzeugenden Fabrik in deutlicher Schrift tragen.

Streuverlust sowie etwaige Schwankungen im Einzelgewicht können bis zu 2 v. H. nicht beanstandet werden.

## Begründung und Erläuterung.

Da bei Verpackung sowohl in Säcken wie in Fässern verschiedene Gewichte im Gebrauch sind, so ist die Aufschrift des Bruttogewichtes unbedingt nötig.

Durch die Bezeichnung „Portlandzement“ soll dem Käufer die Gewißheit gegeben werden, daß die Ware der diesen Normen vorgegedruckten Begriffserklärung entspricht<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Der Verein Deutscher Portlandzementfabrikanten verpflichtet und kontrolliert seine Mitglieder auf die Innehaltung der den Normen vorgegedruckten Begriffserklärung und der darin festgelegten Eigenschaften des Portlandzementes.

Diese Verpflichtung lautet:

„Die Vereinsmitglieder dürfen unter der Bezeichnung „Portlandzement“ nur ein Erzeugnis in den Handel bringen, welches dadurch entsteht, daß eine innige Mischung von kalk- und tonhaltigen Stoffen als wesentlichen Bestandteilen bis zur Sinterung gebrannt und bis zur



### III. Abbinden.

Der Erhärtungsbeginn von normal bindendem Portlandzement soll nicht früher als eine Stunde nach dem Anmachen eintreten. Für besondere Zwecke kann rascher bindender Portlandzement verlangt werden, welcher als solcher auf der Verpackung gekennzeichnet sein muß.

#### Begründung und Erläuterung.

Der Erhärtungsbeginn von normal bindendem Portlandzement wurde auf mindestens eine Stunde festgesetzt, weil der Beginn des Abbindens von Wichtigkeit ist; dagegen ist von der Festsetzung einer bestimmten Bindezeit Abstand genommen, weil es bei der Verwendung von Portlandzement von geringer Bedeutung ist, ob der Abbindeprozeß in kürzerer oder längerer Zeit beendet wird. Etwaige Vorschriften über die Bindezeit sollten daher nicht zu eng begrenzt werden.

Um ein Urteil über das Abbinden eines Zementes zu gewinnen, rühre man 100 g des reinen langsam bindenden Zementes 3 Minuten, des rasch bindenden 1 Minute lang mit Wasser zu einem steifen Brei an und bilde auf einer Glasplatte einen etwa 1,5 cm dicken, nach dem Rande hin dünn auslaufenden Kuchen. Die zur Herstellung dieses Kuchens erforderliche Dickflüssigkeit des Zementbreies soll so beschaffen sein, daß der mit einem Spatel auf die Glasplatte gebrachte Brei erst durch mehrmaliges Aufstoßen

---

Mehlseinheit zerkleinert wird. Sie verpflichten sich, jedes Erzeugnis, welches auf andere Weise, als oben angegeben, entstanden ist, oder welchem während oder nach dem Brennen fremde Körper beigemischt wurden, nicht als Portlandzement anzuerkennen und den Verkauf derartiger Erzeugnisse unter der Bezeichnung „Portlandzement“ als eine Täuschung des Käufers anzusehen. Doch sollen von dieser Verpflichtung kleine Zusätze unbetroffen bleiben, welche zur Regelung der Abbindezeit des Portlandzementes bis zur Höhe von 3 v. H. erforderlich sein können.

Die Vereinsmitglieder verpflichten sich ferner, den Portlandzement in allen Beziehungen gemäß den Bestimmungen der vom Ministerium der öffentlichen Arbeiten in Preußen erlassenen Normen zu liefern.

Wenn ein Konsument für besonderen Zweck ausnahmsweise gröber gemahlten Zement, als in den Normen vorgeschrieben, oder gefärbten Zement verlangt, so ist diese Lieferung gestattet.

Wenn ein Vereinsmitglied den vorstehend angegebenen Verpflichtungen zuwider handelt, soll dasselbe vom Verein ausgeschlossen werden. Der erfolgte Ausschluß ist öffentlich bekannt zu machen.

Die Fabrikate der Vereinsmitglieder werden alljährlich im Vereinslaboratorium zu Karlsruh bei Berlin nach jeder Richtung auf Einhaltung dieser Verpflichtung geprüft; das Resultat wird in der Generalversammlung bekanntgegeben.



der Glasplatte nach dem Rande hin ausläuft, wozu in den meisten Fällen 27 bis 30 v. H. Anmachwasser genügen. Man beobachte die beginnende Erstarrung.

Zur Feststellung des Erhärtungsbeginnes und zur Ermittlung der Bindezeit bedient man sich der zylindrischen Normalnadel von 1 mm<sup>2</sup> Querschnitt und 300 g Gewicht, die senkrecht zur Achse abgeschnitten ist. Man füllt einen auf eine Glasplatte gesetzten konischen Hartgummiring von 4 cm Höhe und 7 cm mittlerem lichten Durchmesser mit dem Zementbrei (aus etwa 300 g Zement) von der oben angegebenen Dickflüssigkeit und bringt ihn unter die Nadel. Der Zeitpunkt, in welchem die Normalnadel den Zementkuchen nicht mehr gänzlich zu durchdringen vermag, gilt als der „Beginn des Abbindens“. Die Zeit, welche verfließt, bis die Normalnadel auf dem erstarrten Kuchen keinen merklichen Eindruck mehr hinterläßt, ist die „Bindezeit“.

Da das Abbinden von Zement durch die Wärme der Luft und des zur Verwendung gelangenden Wassers beeinflusst wird, insofern hohe Temperatur das Abbinden beschleunigt, niedrige Temperatur es dagegen verzögert, so ist es nötig, die Versuche, um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, bei 15—18° C mittlerer Wasser- und Luftwärme vorzunehmen.

Portlandzement wird durch längeres Lagern in der Regel langsamer bindend und gewinnt bei trockener, zugfreier Aufbewahrung an Bindekraft. Die Meinung, daß Portlandzement bei längerem Lagern an Güte verliere, ist daher irrig. Vertragsbestimmungen, welche nur frische Ware vorschreiben, sollten deshalb in Wegfall kommen.

#### IV. Raumbeständigkeit.

Portlandzement soll raumbeständig sein. Als entscheidende Probe soll gelten, daß ein auf einer Glasplatte hergestellter und vor Austrocknung geschützter Kuchen aus reinem Zement, nach 24 Stunden unter Wasser gelegt, auch nach längerer Beobachtungszeit durchaus keine Verkrümmungen oder Rantenrisse zeigen darf.

#### Erläuterung.

Zur Ausführung der Probe wird der zur Beurteilung des Abbindens angefertigte Kuchen bei langsam bindendem Zement nach 24 Stunden, jedenfalls aber erst nach erfolgtem Abbinden, unter Wasser gelegt. Bei rasch bindendem Zement kann dies schon nach kürzerer Frist geschehen. Die Kuchen, namentlich von langsam bindendem Zement, müssen bis nach erfolgtem Abbinden vor Trocknung geschützt werden, am besten durch Aufbewahren in einem bedeckten Kasten. Es wird hierdurch die Entstehung von Schwindrissen vermieden, welche in der Regel in der Mitte des Kuchens entstehen und von Unkundigen für Treibrisse gehalten werden können.

Zeigen sich bei der Erhärtung unter Wasser Verkrümmungen oder Rantenrisse, so deutet dies unzweifelhaft „Treiben“ des Zementes an, d. h. es findet infolge einer Raumermehrung Zerklüften des Zementes unter allmählicher Lockerung des zuerst gewonnenen Zusammenhanges statt, welches bis zu gänzlichem Zerfallen des Zementes führen kann.

Die Erscheinungen des Treibens zeigen sich an den Kuchen in der Regel bereits nach 3 Tagen; jedenfalls genügt eine Beobachtung bis zu 28 Tagen.

#### V. Feinheit der Mahlung.

Portlandzement soll so fein gemahlen sein, daß er auf dem Siebe von 900 Maschen auf einen Quadratcentimeter höchstens 5 v. H. Rückstand hinterläßt. Die Maschenweite des Siebes soll 0.222 mm betragen.

#### Begründung und Erläuterung.

Zu der Siebprobe sind 100 g Zement zu verwenden.

Da Zement fast nur mit Sand, in vielen Fällen sogar mit hohem Sandzusatz verarbeitet wird, die Festigkeit eines Mörtels aber um so größer ist, je feiner der dazu verwendete Zement gemahlen war (weil dann mehr Teile des Zementes zur Wirkung kommen), so ist die feine Mahlung des Zementes von Wichtigkeit.

Es wäre indessen irrig, wollte man aus der feinen Mahlung allein auf die Güte eines Zementes schließen.

#### VI. Festigkeitsproben.

Die Bindekraft von Portlandzement soll durch Prüfung einer Mischung von Zement und Sand ermittelt werden. Die Prüfung soll auf Druck- und Zugfestigkeit nach einheitlichem Verfahren geschehen, und zwar mittelst Probekörpern von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitt und mit gleichen Apparaten.

Die Druckversuche sind an Würfeln von 50 cm<sup>2</sup> Fläche, die Zerreißversuche an Probekörpern von 5 cm<sup>2</sup> Querschnitt der Bruchfläche vorzunehmen.

#### Begründung.

Da man erfahrungsgemäß aus den mit Zement ohne Sandzusatz gewonnenen Festigkeitsergebnissen nicht einheitlich auf die Bindefähigkeit zu Sand schließen kann, namentlich wenn es sich um Vergleichung von Portlandzementen aus verschiedenen Fabriken handelt, so ist es geboten, die Prüfung von Portlandzement auf Bindekraft mittelst Sandzusatz vorzunehmen.

Weil bei der Verwendung die Mörtel in erster Linie auf Druck in Anspruch genommen werden und die Druckfestigkeit sich am zuverlässigsten ermitteln läßt, ist bei der Prüfung der größte Wert auf den Druckversuch zu legen.



Um die erforderliche Einheitlichkeit bei den Prüfungen zu wahren, wird empfohlen, derartige Apparate und Geräte zu benutzen, wie sie beim königlichen Materialprüfungsamt Großlichterfelde in Gebrauch sind<sup>1)</sup>.

### VII. Druck- und Zugfestigkeit.

Langsam bindender Portlandzement soll bei der Probe mit 3 Gewichtsteilen Normensand auf einen Gewichtsteil Zement nach 28 Tagen Erhärtung — 1 Tag an der Luft und 27 Tage unter Wasser — mindestens  $160 \text{ kg/cm}^2$  Druckfestigkeit erreichen. Die Zugfestigkeit soll mindestens  $16 \text{ kg/cm}^2$  betragen.

Bei schnell bindenden Portlandzementen ist die Festigkeit nach 28 Tagen im allgemeinen geringer, als die oben angegebene. Es soll deshalb bei Nennung von Festigkeitszahlen stets auch die Bindezeit aufgeführt werden.

Bei Prüfung nach 1 Tag in feuchter Luft, 6 Tage in Wasser und 21 Tage in Luft von  $15\text{--}30^\circ \text{C}$  soll die Druckfestigkeit mindestens  $200 \text{ kg/cm}^2$ , die Zugfestigkeit mindestens  $20 \text{ kg/cm}^2$  betragen.

Als Vorprobe kann die Druckfestigkeit des Mörtels 1:3 Normensand, 1 Tag in feuchter Luft, 6 Tage in Wasser erhärtet, dienen, die mindestens  $120 \text{ kg/cm}^2$  betragen soll.

### Begründung und Erläuterung.

Da verschiedene Portlandzemente hinsichtlich ihrer Bindekraft zu Sand, worauf es bei ihrer Verwendung vorzugsweise ankommt, sich sehr verschieden verhalten können, so ist insbesondere beim Vergleich mehrerer Zemente die Prüfung mit hohem Sandzusatz unbedingt erforderlich. Als normales Verhältnis wird angenommen: 3 Gewichtsteile Sand auf 1 Gewichtsteil Zement, da mit 3 Teilen Sand der Grad der Binefähigkeit bei verschiedenen Zementen in hinreichendem Maße zum Ausdruck gelangt.

Wenn aber die Ausnutzungsfähigkeit eines Portlandzementes voll dargestellt werden soll, empfiehlt es sich, auch noch Versuchsreihen mit höheren Sandzusätzen auszuführen.

Portlandzement, welcher eine höhere Festigkeit zeigt, gestattet in vielen Fällen einen größeren Sandzusatz und hat, aus diesem Gesichtspunkte betrachtet, sowie auch schon wegen seiner größeren Festigkeit bei gleichem Sandzusatz, Anrecht auf einen entsprechend höheren Preis.

Bei der großen Bedeutung, welche die Anwendung des Portlandzementes im Hochbau besitzt, empfiehlt sich auch die Prüfung bei Erhärtung in Luft, wie sie oben festgesetzt ist.

<sup>1)</sup> Das königliche Materialprüfungsamt führt auf Antrag die Prüfung und den Vergleich aller Geräte und Vorrichtungen zur Materialprüfung aus.



Die maßgebende Festigkeitsprobe ist die Druckprobe nach 28 Tagen, weil in kürzerer Zeit beim Vergleich verschiedener Zemente die Bindekraft nicht genügend zu erkennen ist. So können z. B. die Festigkeitsergebnisse verschiedener Zemente bei der 28 Tageprobe einander gleich sein, während sich bei einer Prüfung nach 7 Tagen wesentliche Unterschiede zeigten.

Zweckmäßig werden überall da, wo dies zu ermöglichen ist, die Festigkeitsproben auf längere Zeit ausgedehnt, um das Verhalten verschiedener Portlandzemente auch bei längerer Erhärtungsdauer kennen zu lernen.

Um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, muß überall Sand von gleicher Korngröße und gleicher Beschaffenheit (Normensand) benützt werden.

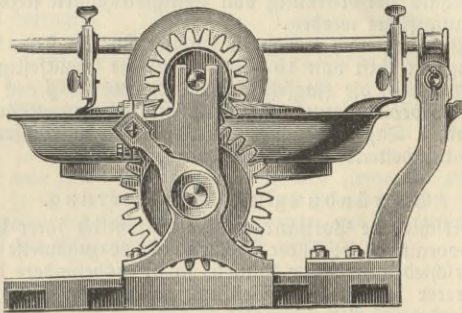


Bild 47.

Der deutsche Normensand wird aus einem tertiären Quarz- lager der Braunkohlenformation in der Nähe von Freienwalde a. O. gewonnen. Der fast weiße Rohsand wird in einer Waschmaschine gewaschen und künstlich getrocknet. Die Absiebung des trockenen Sandes geschieht auf Schwingensieben, die pendelnd aufgehängt sind. Auf dem einen Siebe wird erst das Grobe abgesiebt, und dann auf dem anderen das Feine. Von jeder Tagesfertigung wird eine Probe auf Korngröße und Reinheit im königlichen Materialprüfungsamt Groß-Lichterfelde kontrolliert.

Zur Kontrolle der Korngröße dienen Siebe aus 0.25 mm dickem Messingblech mit kreisrunden Löchern von 1.350 und 0.775 mm Durchmesser<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Die Kontrollsiebe fertigt das königliche Materialprüfungsamt in Groß-Lichterfelde.

Der nach wiederholten Kontrollproben für gut befundene Normensand wird gefackt und jeder Sack mit der Plombe des Königlichen Materialprüfungsamtes verschlossen<sup>1)</sup>).

### Beschreibung der Proben zur Ermittlung der Druck- und Zugfestigkeit.

Da es darauf ankommt, daß bei Prüfung desselben Zementes an verschiedenen Orten übereinstimmende Ergebnisse erzielt werden, so ist auf die genaue Einhaltung der im nachstehenden gegebenen Regeln ganz besonders zu achten.

Zur Erzielung richtiger Durchschnittszahlen sind für jede Prüfung mindestens 10 Probekörper anzufertigen.

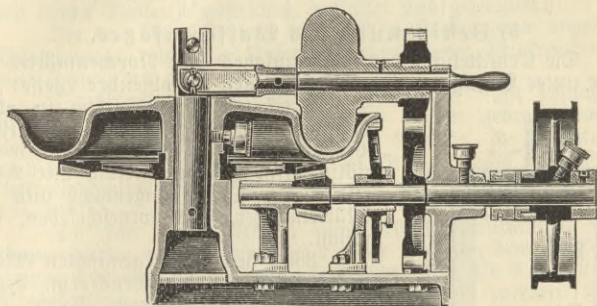


Bild 48.

### Anfertigung der Zementsandproben.

Herstellung des Normenmörtels (1:3) und der Probekörper für die Festigkeitsversuche.

#### a) Mischen des Mörtels.

Das Mischen des Mörtels aus 1 Gewichtsteil Zement + 3 Gewichtsteilen Normensand soll mit der Mörtelmischmaschine Bauart Steinbrück-Schmelzer (Bilder 47, 48) wie folgt geschehen: 500 g Zement und 1500 g Normensand werden zunächst trocken mit einem leichten Löffel in einer Schüssel eine halbe Minute lang

<sup>1)</sup> Den Verkauf dieses plombierten „Deutschen Normensandes“ hat das Laboratorium des Vereins Deutscher Portlandzementfabrikanten, Karlsdorf, und das Chemische Laboratorium für Tonindustrie, Prof. Dr. H. Seger und E. Cramer, G. m. b. H., Berlin NW. 21, Dreystraße 4, übernommen.

gemischt. Dem trockenen Gemisch wird die vorher zu bestimmende Wassermenge zugefetzt. Die feuchte Masse wird abermals eine halbe Minute lang gemischt, dann in dem Mörtelmischer gleichmäßig verteilt und durch 20 Schalenumdrehungen bearbeitet.

Apparat	Gewicht		Dicke	Durchmesser	Abstand der Walze von der Schale	Abstand vom Drehpunkt der Schale bis Mitte Walze
	der Mischwalzen		cm	cm		
	mit Achse	ohne Achse			cm	cm
	kg	kg	cm	cm		
Soll haben	21.5—22.0	19.1—19.4	8.08	20.25—20.35	0.50—0.60	19.7—19.8

### b) Bestimmung des Wasserzusatzes.

Die Ermittlung des Wasserzusatzes zum Normenmörtel erfolgt unter Benützung von Würfelformen in folgender Weise:

Trockene Mörtelgemische in oben angegebener Menge werden beim ersten Versuch mit 160 g (8 v. H.) und, wenn nötig, beim zweiten Versuch mit 200 g (10 v. H.) Wasser angemacht und im Mörtelmischer, wie vorgeschrieben, gemischt.

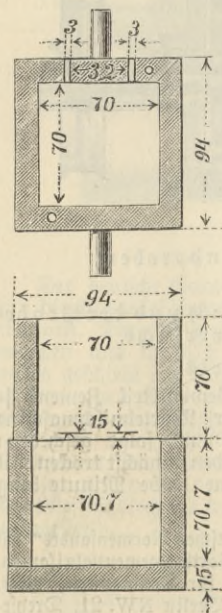
860 g des fertig gemischten Mörtels werden in die Druckform, deren Aufsatzkasten am unteren Rande mit zwei Nuten nach nebenstehender Skizze versehen ist, gefüllt und im Hammerapparat von Böhme mit Festhaltung (nach Martens) mit 150 Schlägen eingeschlagen.

Nach dem Verhalten des Mörtels beim Einschlagen ist zu beurteilen, welcher Grenze der richtige Wasserzusatz am nächsten liegt; danach sind die Versuche mit verändertem Wasserzusatz fortzusetzen.

Der Wasserzusatz ist richtig gewählt, wenn zwischen dem 90. und 110. Schläge aus einer der beiden Nuten Zementbrei auszufließen beginnt.

Das Mittel aus drei Versuchskörpern mit gleichem Wasserzusatz ist maßgebend und gilt sowohl für Anfertigung der Druck- als auch der Zugproben.

Der Austritt des Wassers erfolgt bei



Bilder 49 und 50.



nach trockenen Aufsaßkästen langsamer als bei schon einmal benützten, deshalb ist der Versuch bei erstmaliger Benützung des Aufsaßkastens unsicher.

Die Beurteilung des Wasseranspruchs nach dem Schlammaustritt bei Zugproben ist unzuverlässig.

### c) Herstellung der Probekörper.

Die Anfertigung der Probekörper aus Normenmörtel für die Druck- und Zugversuche soll wie folgt geschehen:

860 g des vorschriftsmäßig gemischten Mörtels werden in die Normalwürfelformen<sup>1)</sup> und 180 g Mörtel in die Normalzugformen<sup>1)</sup> gebracht und im Hammerapparat (Bauart Böhme) mit Festhaltung (Bauart Martens) unter Anwendung von 150 Schlägen eingeschlagen.

Die so hergestellten Probekörper werden an der Oberfläche mit einem Messer abgestrichen, geglättet und gezeichnet.

Die aus 500 g Zement und 1500 g Normensand angemachte Mörtelmenge reicht zur Anfertigung von zwei Druckproben und zwei Zugproben aus.

Die Körper werden mit der Form auf nicht absaugender Unterlage in feucht gehaltene bedeckte Kästen gebracht und die Zugproben nach etwa einer halben Stunde, die Druckproben nach etwa 20 Stunden entformt; 24 Stunden nach erfolgter Herstellung kommen die Körper aus den Kästen unter Wasser von 15—18° C.

Die für die Erhärtung unter Wasser bestimmten Probekörper dürfen erst unmittelbar vor der Prüfung dem Wasser entnommen werden. Das Wasser soll nicht mehr als 2 cm über den Probekörpern stehen und alle 14 Tage erneuert werden. Die für die Erhärtung in Luft bestimmten Probekörper müssen einzeln freistehend auf Leisten gelagert werden.

### Behandlung der Proben bei der Prüfung.

Bei der Prüfung der Druckproben soll, um einheitliche Ergebnisse zu erhalten, der Druck stets auf zwei Seitenflächen der Würfel ausgeübt werden, nicht aber auf die Bodenfläche und die bearbeitete obere Fläche. Das Mittel aus den zehn Proben soll als die maßgebende Druckfestigkeit gelten.

Da die Zerreibungsdauer von Einfluß auf das Ergebnis ist, so soll bei der Prüfung auf Zug die Zunahme der Belastung während des Zerreißen 100 g in der Sekunde betragen. Das Mittel aus den 10 Zugproben soll als die maßgebende Zugfestigkeit gelten.

<sup>1)</sup> Die Formen müssen vor Ingebrauchnahme gut gereinigt und leicht geölt sein. Am besten verwendet man eine Mischung aus  $\frac{2}{3}$  Küßöl und  $\frac{1}{3}$  Petroleum.

## Österreich.

### 1. Bestimmungen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement<sup>1)</sup>.

#### Begriffserklärung von Portlandzement.

Portlandzement ist ein Erzeugnis, welches aus natürlichen Kalkmergeln oder künstlichen Mischungen ton- und kalkhaltiger Stoffe durch Brennen bis zur Sinterung und darauf folgende Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit gewonnen wird und auf einen Gewichtsteil hydraulischer Bestandteile mindestens 1·7 Gewichtsteile Kalkerde enthält.

Zur Regulierung technischer wichtiger Eigenschaften des Portlandzementes ist ein Zusatz fremder Stoffe bis zu 2% des Gewichtes ohne Änderung des Namens zulässig.

#### Bemerkungen.

Portlandzement ist von grauer Farbe mit Übergängen ins Grüne oder Gelbliche. Mit Wasser angemacht, bindet Portlandzement entweder rasch, mittel oder langsam ab, wobei er sich im letzteren Falle meist nur unbedeutend erwärmt.

Das spezifische Gewicht des vollkommen scharf gesinterten Portlandzementes im frischen Zustande schwankt je nach dem Kalkgehalte, doch stellt es sich in der Regel gegen 3·10 und sein Glühverlust auf weniger als 2%. Das Gewicht in lose eingestiebtem Zustande beträgt per Liter ungefähr 1200 g. Beim Lagern des Portlandzementes verringert sich dieses Gewicht durch Aufnahme von Wasser und Kohlenäure, wogegen sein Glühverlust steigt. Daher hat der Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Portlandzementes ein Ausglühen desselben vor dem Gasgebläse bis zur Erreichung des stets gleichbleibenden Gewichtes der Probe voranzugehen.

Portlandzement wird durch längeres Lagern meist langsamer bindend und gewinnt bei trockener zugfreier Aufbewahrung im allgemeinen an Güte. Bei nicht sorgfältiger und obiger Voraussetzung nicht entsprechender Lagerung wird die Güte des Portlandzementes ungünstig beeinflusst.

#### I. Verpackung und Gewicht.

Portlandzement ist nach dem Gewichte mit Preisstellung für 100 kg Brutto zu handeln.

Die Fässer sollen mit Normalgewicht, und zwar mit 200 kg

<sup>1)</sup> Aufgestellt vom „Österreichischen Ingenieur- und Architektenverein“ im Jahre 1907. Sie traten an die Stelle der Bestimmungen vom Jahre 1888.



Bruttogewicht per Faß in den Handel gebracht werden. Die Lieferung in Säcken ist zulässig, und sollen diese ein Normalgewicht von 50 kg Brutto erhalten.

Schwankungen im Einzel-Bruttogewichte können bis zu 2% nicht beanstandet werden.

Das Gewicht der Packung darf bei Lieferung in Fässern nicht mehr als 5%, bei Lieferung in Säcken höchstens 1.5% des Bruttogewichtes betragen.

Auf den Fässern und Säcken sollen die Firma der betreffenden Fabrik, der Herstellungsort, das Wort „Portlandzement“ und das Bruttogewicht verzeichnet sein. Auf Verlangen des Bestellers sollen die Säcke mit einer Plombe verschlossen sein, auf welcher die Fabriksfirma, der Herstellungsort und das Wort „Portlandzement“ ersichtlich gemacht sind.

### Bemerkungen.

Aus Rücksicht für die einfachere Übernahme und zur Hintanhaltung von Unzukömmlichkeiten erscheint es empfehlenswert, ein einheitliches Gewicht für die Packung der Fässer und Säcke, in denen Portlandzement geliefert wird, festzusetzen.

Übrigens steht es dem Fabrikanten frei, mit dem Käufer ein anderes als die angeführten Normalgewichte zu vereinbaren.

### II. Abbindeverhältnisse.

Die Portlandzemente sind rasch, mittel oder langsam bindend.

Unter rasch bindenden Portlandzementen sind diejenigen verstanden, deren Erhärtungsbeginn an der Luft ohne Sandzusatz, vom Zeitpunkte der Wasserzugabe an gerechnet, innerhalb 10 Minuten eintritt. Fällt der Erhärtungsbeginn eines Portlandzementes über 30 Minuten hinaus, so ist derselbe als langsam bindend zu bezeichnen.

Zwischen den rasch und langsam bindenden Portlandzementen werden die mittel bindenden eingereiht.

Rasch bindende Portlandzemente sollen nur über besonderes Verlangen geliefert werden.

### Bemerkungen.

Die Ermittlung des Erhärtungsbeginnes ist zur Bestimmung der Kategorie, in welche ein Portlandzement bezüglich seiner Abbindeverhältnisse einzureihen ist, von Wichtigkeit, und namentlich bei raschbindenden Portlandzementen ist die Kenntnis des Erhärtungsbeginnes notwendig, da bis zu dem Zeitpunkte, wo derselbe eintritt, der Portlandzement verarbeitet sein muß, soll nicht seine Bindefraft Einbuße erleiden.

Zur Bestimmung des Erhärtungsbeginnes und der Abbindezeit eines Portlandzementes dient die Normalnadel in Verbindung mit dem Konsistenzmesser.



Da die Menge des dem Portlandzemente zugesetzten Wassers die Abbindeverhältnisse erheblich beeinflusst, so ist der Zementbrei bei den Abbindeversuchen in einer bestimmten Konsistenz (Normalkonsistenz) herzustellen.

Der Apparat zur Bestimmung der Konsistenz besteht aus einem Gestelle, an dem eine Teilung in Millimetern angebracht ist. In einer Führung bewegt sich ein arretierbarer Metallstab, dessen oberes Ende eine Metallscheibe trägt, während am unteren Ende sich ein Messingstab von 1 cm Durchmesser (der Konsistenzmesser) befindet. Der Konsistenzmesser wiegt samt dem Führungsstabe und der Scheibe 300 g.

Die zum Apparate gehörige, zur Aufnahme des Zementbreies bestimmte Dose ist aus Hartgummi erzeugt, mißt 8 cm im Durchmesser und 4 cm in der Höhe. Beim Gebrauche wird dieselbe auf eine starke Glasplatte aufgesetzt, welche gleichzeitig den Boden der Dose bildet. Wird der Konsistenzmesser bis auf diese Bodenfläche herabgelassen, so zeigt der am Führungsstabe befindliche Zeiger auf den Nullpunkt der Teilung, so daß der jedesmalige Stand der unteren Fläche des Konsistenzmessers über der Bodenfläche der Dose unmittelbar an der Teilung abgelesen werden kann.

Bei der Prüfung der Abbindeverhältnisse eines Portlandzementes ist folgender Vorgang einzuhalten:

Man rührt 400 g Portlandzement mit einer vorläufig angenommenen Wassermenge bei Langsam- und Mittelbindern durch drei Minuten, bei Raschbindern durch eine Minute, mit einem löffelartigen Spatel zu einem steifen Brei, welcher, ohne gerüttelt oder eingestoßen zu werden, in die Dose des Apparates gebracht und an der Oberfläche sorgfältig in gleicher Ebene mit dem oberen Rande der Dose abgestrichen wird. Die so gefüllte Dose wird mit der Glasplatte, auf der sie aufsitzt, unter den Konsistenzmesser gebracht, welcher sodann langsam auf die Oberfläche des Zementbreies aufgesetzt wird. Wenn der nunmehr der Wirkung seines eigenen Gewichtes überlassene, in den Zementbrei eindringende Konsistenzmesser mit seinem unteren Ende in einer Höhe von 6 mm über der Bodenfläche stecken bleibt, also der Zeiger des Apparates auf den sechsten Teilstrich der Teilung zeigt, so ist ein Brei von Normalkonsistenz hergestellt.

Gelingt dies beim ersten Versuche nicht, so muß der Wasserzusatz so lange geändert werden, bis ein Brei von der geforderten Konsistenz zustande gebracht wurde. Hat man auf diese Weise den Wasserzusatz für einen Brei von normaler Konsistenz ermittelt, so schreitet man unter Anwendung dieser Konsistenz zur Ermittlung des Erhärtungsbeginnes und der Abbindezeit.

Zu diesem Zwecke wird in dem oben beschriebenen Apparate statt des Konsistenzmessers die Normalnadel, d. i. eine Stahlnadel von 1.13 mm Durchmesser (1 mm<sup>2</sup> Querschnitt), eingesetzt. Diese

Nadel hat dieselbe Länge wie der Konsistenzmesser und hat samt Führungsstab, Scheibe und dem aufzulegenden Ergänzungsgewichte 300 g zu wiegen.

Es wird nun die Dose mit einem Brei von normaler Konsistenz in der vorher beschriebenen Weise gefüllt und die Nadel auf dessen Oberfläche behutsam aufgesetzt, was in kurzen Zeiträumen an verschiedenen Stellen des Kuchens wiederholt wird.

Die Nadel wird anfänglich den Kuchen bis auf die den Boden der Dose bildende Glasplatte durchdringen, bei den späteren Versuchen aber im erhärtenden Brei stecken bleiben.

Den Zeitpunkt, in welchem die Nadel den Kuchen nicht mehr in seiner ganzen Höhe zu durchdringen vermag, nennt man den Erhärtungsbeginn.

Ist der Kuchen endlich so weit erstarrt, daß die Nadel beim Aufsetzen keinen merklichen Eindruck mehr hinterläßt, so ist der Portlandzement abgehunden, und die Zeit, welche vom Zeitpunkte der Zugabe des Wassers bis zu diesem Zeitpunkte verstreicht, heißt Abbindezeit.

Da das Abbinden von Portlandzement durch die Temperatur der Luft und des zur Verwendung gelangenden Wassers beeinflusst wird, indem höhere Temperaturen das Abbinden beschleunigen, niedere es dagegen verzögern, so sollen die Abbindeversuche bei einer Temperatur des Wassers und der Luft von 15–18° C vorgenommen werden.

Werden die Abbindeproben jedoch ausnahmsweise unter anderen Verhältnissen vorgenommen, so sind die bezüglichen Wasser- und Lufttemperaturen anzugeben. Während des Abbindens dürfen langsam und mittel bindende Portlandzemente sich nicht wesentlich erwärmen, dagegen kann rasch bindendes Portlandzement eine merkliche Temperaturerhöhung aufweisen.

### III. Volumenbeständigkeit.

Portlandzement muß sowohl an der Luft als auch unter Wasser volumenbeständig sein.

#### Bemerkungen.

Portlandzement ist dann als volumenbeständig anzusehen, wenn derselbe, mit Wasser ohne Sandzusatz angemacht, an der Luft oder unter Wasser die beim Abbinden angenommene Form dauernd beibehält.

Erleiden Portlandzemente nach dem Abbinden eine Volumenvergrößerung, welche unter allmählicher Lockerung des zuerst gewonnenen Zusammenhanges eine Zerklüftung der Zementmasse herbeiführt und auch mit deren gänzlichem Zerfalle endigen kann, so bezeichnet man diese Erscheinung als „Treiben des Zementes“. Der Beginn des Treibens tritt nicht sofort ein, sondern erst in kürzerer oder längerer Zeit nach dem Abbinden.

Ein mit einer solchen Eigenschaft behaftetes Bindemittel ge-



fährdet die damit hergestellten Bauten in bedeutendem Maße; es muß daher vom Portlandzemente die Volumenbeständigkeit gefordert werden.

Da manche Portlandzemente wohl unter Wasser, aber nicht an der Luft volumenbeständig sind und auch das umgekehrte Verhalten nicht ausgeschlossen ist, so ist Portlandzement nach beiden Richtungen hin zu prüfen.

#### a) Volumenbeständigkeit an der Luft.

Zur Prüfung, ob ein Portlandzement an der Luft volumenbeständig ist, dient die Darrprobe in Verbindung mit der Kuchenprobe unter Wasser.

Die Darrprobe wird in folgender Weise ausgeführt: Man rührt den Portlandzement ohne Sandzusatz mit der bei der Vornahme der Abbindeproben ermittelten Wassermenge zu einem Brei von Normalkonsistenz an, breitet denselben auf ebenen Glas- oder Metallplatten in Kuchen von ca. 10 cm Durchmesser und ca. 1 cm Dicke aus, und hinterlegt dieselben, um die Entstehung von Schwindrissen zu vermeiden, am besten in einem feuchtgehaltenen Kasten, wo die Kuchen vor Zugluft und Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützt sind. Nach 24 Stunden, jedenfalls aber erst nach erfolgtem Abbinden, werden die auf den Metallplatten ruhenden Zementkuchen in einem Trockenschranke einer Temperatur ausgesetzt, welche allmählich von der Lufttemperatur bis auf 120° C gesteigert und auf dieser Höhe durch zwei bis drei Stunden, für alle Fälle aber eine halbe Stunde über den Zeitpunkt hinausgehalten wird, bei welchem ein sichtbares Entweichen von Wasserdämpfen aufgehört hat.

Die Kuchen sollen in dem Trockenkasten nicht vertikal übereinander, sondern treppenförmig nebeneinander geordnet werden.

Zeigen die Kuchen nach dieser Behandlung Verkrümmungen oder mit Verkrümmungen verbundene, gegen die Ränder hin sich erweiternde Risse von radialer Richtung, so sind diese Risse als Treibrisse anzusehen und ist der fragliche Portlandzement als an der Luft nicht volumenbeständig zu bezeichnen. Bei Volumenbeständigkeitsproben an der Luft treten infolge zu raschen Austrocknens durch Volumenverminderung manchmal Ribbildungen auf, welche als Schwindrisse bezeichnet werden und von den Treibrissen wohl zu unterscheiden sind. Diese Schwindrisse erscheinen gewöhnlich als gegen die Mitte hin sich erweiternde Risse ohne bestimmte Richtung.

Die durch die Anwesenheit von mehr als 3% wasserfreiem, schwefelsaurem Kalk (oder entsprechendem Gehalt an ungebranntem Gips) verursachte Volumenunbeständigkeit (das sogenannte Gips-treiben) wird jedoch durch die Darrprobe nicht angezeigt, und es ist daher, wenn ein Portlandzement diese Probe besteht, jedenfalls noch das Ergebnis der gleichzeitig vorgenommenen Kuchenprobe



unter Wasser, welche einen schädlichen Gehalt an Gips zuverlässig in kurzer Zeit anzeigt, abzuwarten. Fällt auch diese Probe günstig aus, so kann der untersuchte Portlandzement als volumenbeständig an der Luft bezeichnet werden.

#### b) Volumenbeständigkeit unter Wasser.

Die Untersuchung eines Portlandzementes bezüglich seiner Volumenbeständigkeit unter Wasser erfolgt mittelst eines unter Wasser gelegten Kuchens aus Portlandzement ohne Sandzusatz (Kuchenprobe).

Zu diesem Zwecke wird der Portlandzement mit Wasser zu einem Brei angerührt und auf ebenen Glasplatten zu zwei Kuchen ausgegossen, welche ca. 10 cm Durchmesser haben, in der Mitte ca. 1 cm dick sind und gegen die Ränder hin auslaufen.

Der Wasserzusatz ist hierbei um ca. 1% des Zementgewichtes größer zu nehmen als für die Normalkonsistenz bei den Abbindeproben ermittelt wurde, damit der Brei leichter zu Kuchen auslaufe.

Die so erhaltenen Kuchen werden, um die Entstehung von Schwindrissen zu vermeiden, an einem vor Zugluft und Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützten Orte, am besten in einem feuchtgehaltenen Kasten, aufbewahrt und nach 24 Stunden, jedenfalls aber erst nach erfolgtem Abbinden, samt den Glasplatten unter Wasser gelegt und dajelbst durch mindestens 27 Tage belassen.

Zeigen sich während dieser Zeit an den Kuchen Verkrümmungen, oder gegen die Ränder hin sich erweiternde Kantensprünge von mehr oder weniger radialer Richtung, so deutet dies unzweifelhaft auf Treiben des Portlandzementes hin. Bleiben die Kuchen jedoch unverändert, so ist der Portlandzement als unter Wasser volumenbeständig anzusehen.

#### Zusatz zu a) und b).

Bei zu dünn auslaufenden Rändern der Kuchen, welche bei deren Herstellung zu vermeiden sind, können feine Risse auftreten, welche, wenn die Kuchen eben geblieben sind, nicht Treibererscheinungen, sondern lediglich Spannungs- oder Schwindrisse darstellen.

#### IV. Feinheit der Mahlung.

Portlandzement soll so fein als möglich gemahlen sein.

Die Feinheit der Mahlung ist mittelst eines Siebes von 4900 Maschen per 1 cm<sup>2</sup> und 0.05 mm Drahtstärke und eines solchen von 900 Maschen per 1 cm<sup>2</sup> und 0.10 mm Drahtstärke zu prüfen.

Der Sieberückstand darf auf dem 4900-Maschen Sieb nicht mehr als 30% und auf dem 900-Maschen Sieb nicht mehr als 5% betragen.

## Bemerkungen.

Da Portlandzement hauptsächlich mit Sand und Schotter verarbeitet wird, die Festigkeit des Zementmörtels sowie sein Anhaftungsvermögen und seine Wasserundurchlässigkeit mit der Feinheit der Mahlung des Zementes wachsen und das Grobe des Mahlgutes die Rolle von Sandzusätzen spielt, so ist eine möglichst feine Mahlung anzustreben und die Feinheit derselben mittelst der vorgeschriebenen Siebe einheitlich zu prüfen.

Zu jeder solchen Siebprobe sind 100 g Portlandzement zu verwenden.

## V. Bindekraft.

Die Bindekraft von Portlandzement soll durch Prüfung der Festigkeitsverhältnisse an einer Mischung mit Sand ermittelt werden.

Als normale Mischung gilt das Gemenge von einem Gewichtsteile Portlandzement mit drei Gewichtsteilen Normalsand.

Die Prüfung soll auf Druck- und Zugfestigkeit nach einheitlicher Methode an Probekörpern von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitte und mit richtig konstruierten Apparaten geschehen.

Die Zerreißproben sind an Probekörpern von der abgebildeten Form,<sup>1)</sup> welche an der Bruchfläche 5 cm<sup>2</sup> Querschnitt (2.25 cm Länge und 2.22 cm Breite) besitzen, die Druckproben an Würfeln von 50 cm<sup>2</sup> Fläche (7.07 cm Seitenlänge) vorzunehmen.

Sämtliche Probekörper sind die ersten 24 Stunden nach ihrer Anfertigung an der Luft, die übrige Zeit bis zur Probenvornahme unter Wasser von 15—18° C aufzubewahren.

Die maßgebende, wertbestimmende Probe ist die Druckprobe nach 28 tägiger Erhärtungsdauer; als Kontrolle für die Gleichmäßigkeit der gelieferten Ware dient die Zugprobe nach 7 und 28 tägiger Erhärtungsdauer.

## Bemerkungen.

Da Portlandzement bei Bauausführungen fast ausschließlich in der Mischung mit Sand verwendet wird, so ist es notwendig, die Bindekraft desselben in einer solchen Mischung zu prüfen.

Als geeignetes Verhältnis werden drei Gewichtsteile Sand zu einem Gewichtsteile Portlandzement angenommen, da hierbei der Grad der Bindefähigkeit bei verschiedenen Portlandzementen in hinreichendem Maße zum Ausdruck gelangt.

Erfahrungsgemäß übt die chemische und physikalische Beschaffenheit des zur Mörtelmischung verwendeten Sandes einen bedeutenden Einfluß auf die Festigkeitsverhältnisse des Mörtels aus; es ist daher, um zu übereinstimmenden und vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen, unbedingt erforderlich, daß zur Erzeugung

1) Dem hier weggelassenen Bild ist gleichartig das Bild auf S. 166.



aller Probeförper für die Bindekraft immer Sand von gleicher Beschaffenheit, Korngröße und gleichem Gewichte zur Anwendung komme.

Dieser Normalsand wird dadurch gewonnen, daß man möglichst reinen, in der Natur vorkommenden Quarzsand wäscht und trocknet, mittelst eines Siebes von 64 Maschen per 1  $cm^2$  und 0.40 mm Drahtstärke die größten Teile ausscheidet und sodann mittelst eines Siebes von 144 Maschen per 1  $cm^2$  und 0.30 mm Drahtstärke die feinsten Teile entfernt. Der Rückstand auf dem letzteren Siebe ist der Normalsand.

Das Gewicht dieses Sandes soll im lose eingesiebten Zustande (s. weiter unten) 1740—1760 g per Liter betragen.

Als maßgebende Probe wird die Druckprobe deswegen festgesetzt, weil der Mörtel bei Bauausführungen zumeist auf Druck beansprucht wird und nach den gemachten Erfahrungen das Verhältnis zwischen Zug- und Druckfestigkeit bei verschiedenen Portlandzementen ein verschiedenes ist, somit von der Zugfestigkeit nicht mit Sicherheit auf die Druckfestigkeit geschlossen werden kann. Die Ermittlung der Festigkeit bei der Druckprobe soll erst nach 28 tägiger Erhärtung vorgenommen werden, weil bei kürzerer Beobachtungsdauer die Druckfestigkeit eines Portlandzementes nicht genügend zum Ausdrucke kommt.

Von ganz besonderem Werte wäre es, wenn dort, wo dies zu ermöglichen ist, die Festigkeitsproben auf längere Zeit ausgedehnt würden, da es vorkommt, daß Portlandzemente, welche anfangs geringere Festigkeitsziffern ergeben, in späterer Zeit die Festigkeiten anderer Portlandzemente erreichen oder dieselben sogar überholen.

Die Kontrolle über die gleichmäßige Güte des gelieferten Portlandzementes kann in einfacher Weise durch die Erprobung auf Zugfestigkeit vorgenommen werden. Die Zugfestigkeit soll an Probeförpern von 7 und 28 tägiger Erhärtung ausgeführt werden, erstere, um möglichst bald zu einem Ergebnisse zu gelangen, letztere, um den entsprechenden Fortschritt der Erhärtung kennen zu lernen.

Den Versuchsergebnissen der Festigkeitsproben ist das jeweilige Gewicht des Portlandzementes und des Normalsandes per Liter im lose eingesiebten Zustande beizufügen, zu welchem Zwecke Portlandzement und Sand in ein 1 Liter fassendes zylindrisches Blechgefäß von 10 cm Höhe eingesiebt werden. Hierbei ist das Sieb von 64 Maschen per 1  $cm^2$  und 0.40 mm Drahtstärke zu verwenden und dasselbe während des Siebens in einer Entfernung von ca. 15 cm über dem oberen Rande des Litergefäßes zu halten.

Das Sieben ist so lange fortzusetzen, bis sich ein Kegel gebildet hat, der mit seiner Grundfläche die ganze obere Öffnung des Litergefäßes bedeckt; dieser Kegel ist schließlich mit einem geradlinigen Streicheisen vollkommen eben abzustreichen.



Während der ganzen Dauer dieser Verrichtung ist jede Er-  
schütterung des Litergefäßes sorgfältig zu vermeiden.

#### VI. Zug- und Druckfestigkeit.

In Normalmörtelmischung sollen Portlandzemente nach  
7 Tagen Erhärtung (die ersten 24 Stunden an der Luft, die fol-  
genden 6 Tage unter Wasser) und nach 28 Tagen Erhärtung (die  
ersten 24 Stunden an der Luft, die folgenden 27 Tage unter  
Wasser) die nachstehenden Minimalfestigkeiten erreichen:

Kategorie	Erhärtungsdauer	Minimal-	
		Druck=	Zug=
		Festigkeit in <i>kg per</i> <i>cm<sup>2</sup></i>	
Langsam und mittel bin- dende Portlandzemente	{ nach 7 Tagen	—	12
	{ " 28 "	180	18
Rasch bindende Portland- zemente . . . . .	{ " 7 "	—	8
	{ " 28 "	120	12

Das Mittel aus den vier besten Ergebnissen von 6 geprüften  
Körpern hat als die mittlere Festigkeit in der betreffenden Alters-  
klasse zu gelten.

#### Bemerkungen.

##### 1. Herstellung der Probekörper.

Die Probekörper für die Zug- und Druckfestigkeit sind  
stets auf maschinellem Wege zu erzeugen.

Für jede Festigkeitsprobe sind per Altersklasse sechs Probe-  
körper herzustellen.

Die vorerst trocken durcheinander gemengte Mischung von  
Portlandzement und Sand ist mit der weiter unten vorgeschriebenen,  
bzw. ermittelten Menge Wasser, und zwar vom Zeitpunkte der  
Wasserzugabe bei rasch bindenden Portlandzementen durch eine  
Minute, bei mittel oder langsam bindenden Portlandzementen  
durch drei Minuten, tüchtig durchzuarbeiten und sofort auf ein-  
mal in die gehörig gereinigten und mit Wasser benetzten Formen  
zu füllen; ein nachträgliches Aufbringen von Mörtel ist zu ver-  
meiden.

Die Herstellung der Probekörper muß unter allen Umständen vollendet sein, bevor der Erhärtungsbeginn des Portlandzementes eingetreten ist; es ist daher namentlich bei Raschbindern in dieser Richtung besondere Vorsicht und Sorgfalt geboten.

Um Ergebnisse zu erhalten, welche einen Vergleich der Zug- und Druckfestigkeit zulassen, ist es notwendig, daß die Probekörper für beide Festigkeiten in derselben Konsistenz und mit annähernd derselben Dichte angefertigt werden, was einerseits durch im Verhältnis zur Trockensubstanz gleichen Wasserzusatz, andererseits durch eine bei der Verdichtung des Mörtels angewendete gleiche Arbeit per Gewichtseinheit der Trockensubstanz erreicht wird.

Zur Ermittlung des richtigen Wasserzusatzes werden 800 g gut gemengter, trockener Normalmörtelmischung mit einer vorläufig angenommenen Wassermenge gleichmäßig angefeuchtet und bei Raschbindern eine Minute, bei Mittel- und Langsambindern drei Minuten lang durchgearbeitet.

Der so gewonnene Mörtel wird auf einmal in die Form des zur Herstellung der Druckprobekörper dienenden Rammapparates gefüllt und durch 150 Schläge eines 3·2 kg schweren Fallgewichtes oder Hammers aus einer Höhe von 0·50 m verdichtet.

Tritt nach ungefähr 100 Schlägen in der Fuge zwischen Form und Aufsatzkasten eine mäßige Absonderung von Wasser auf, so gilt dies als Zeichen, daß die Wassermenge richtig gewählt worden ist. Andernfalls ist der Versuch mit einer jedesmal geänderten Wassermenge bis zur Erreichung dieser Wasserabsonderung zu wiederholen.

Die derart ermittelte Wassermenge gibt die Normalmörtelkonsistenz, mit welcher alle Probekörper anzufertigen sind.

Die Arbeit, welche bei der Erzeugung der Probekörper zu leisten ist, wird mit 0·3 kgm per 1 g Trockensubstanz festgesetzt.

Die Probekörper sind einzeln anzufertigen, und es werden für jeden Probekörper der Druckfestigkeit 800 g, für jeden Probekörper der Zugfestigkeit 200 g trockene Normalmischung mit der auf obige Weise ermittelten Wassermenge angerührt.

Der so erhaltene Normalmörtel wird auf einmal in die mit einem Füllkasten versehene Form gefüllt und mittelst eines genau in die Form passenden Kernes bei den Druckprobekörpern durch 150 Schläge eines aus einer Höhe von 0·50 m fallenden, 3·2 kg schweren Rammklozes oder Hammers, bei den Zugprobekörpern jedoch durch 120 Schläge eines 0·25 m hoch herabfallenden, 2 kg schweren Rammklozes oder Hammers, verdichtet. Unmittelbar nach dem letzten Schlag entfernt man den Kern und den Aufsatz des Formkastens, streicht den überschüssigen, die Form überragenden Mörtel mit einem Messer ab, glättet die Oberfläche und nimmt den Probekörper aus der Form, sobald der Mörtel vollständig abgebunden ist.



Die zur Herstellung der Probekörper dienenden Apparate sollen auf fester, nicht federnder Unterlage, am besten auf Mauerwerk ruhen.

Bei genauer Einhaltung obiger Vorschriften und namentlich der auf die Trockensubstanz bezogenen gleichen Arbeit wird sowohl für den Zug- als Druckkörper eine annähernd gleiche Dichte erzielt.

Die Dichte der Probekörper ist sofort nach ihrer Herstellung zu erheben und deren Durchschnittsziffer sowohl bezüglich der Druckprobekörper als auch der Zugprobekörper den Versuchsergebnissen beizufügen.

### 2. Aufbewahrung der Probekörper.

Nach der Anfertigung sind die Probekörper die ersten 24 Stunden an der Luft, und zwar, um sie vor ungleichmäßiger Austrocknung zu schützen, in einem geschlossenen, feucht gehaltenen Kasten, die übrige Zeit aber, bis unmittelbar vor Abführung der Proben, unter Wasser von 15—18° C aufzubewahren.

Das Wasser, in welchem dieselben erhärten, ist in den ersten vier Wochen alle acht Tage zu erneuern, und ist darauf zu achten, daß die Probekörper immer vom Wasser bedeckt sind. Bei Proben, welche über diese Zeit hinaus aufbewahrt werden, genügt es, das durch Verdunstung verloren gegangene Wasser von Zeit zu Zeit durch frisches Wasser zu ersetzen, so daß die Proben immer vollständig unter der Wasseroberfläche bleiben.

### 3. Vornahme der Festigkeitsproben.

Die Probekörper sind sofort nach der Entnahme aus dem Wasser zu prüfen. Für jede Altersklasse sind sowohl die Druck- als die Zugfestigkeit stets an je sechs Probekörpern zu bestimmen.

Da die Dauer der Belastung bei der Zugprobe von Einfluß auf das Ergebnis ist, so soll bei der Prüfung auf Zugfestigkeit die Zunahme der Belastung während des Versuches 100 g per Sekunde betragen.

Bei dem Einspannen der Probekörper ist darauf zu achten, daß der Zug genau in einer zur Bruchfläche senkrechten Richtung stattfindet.

Bei der Prüfung auf Druckfestigkeit soll, um einheitliche Ergebnisse zu erzielen, der Druck stets auf zwei Seitenflächen der Würfel (im Sinne der Herstellung) ausgeübt werden, nicht aber auf die Bodenfläche und die bearbeitete obere Fläche.

### Schlußbemerkung.

Diese für die Prüfung von Portlandzement aufgestellten Bestimmungen können ausschließlich nur zur Prüfung des Portlandzementes verwendet werden.

Die nach diesen Bestimmungen ermittelten Zug- und Druckfestigkeiten geben nur Vergleichswerte für die Kraftentfaltung



der verschiedenen Portlandzemente, welche Werte überdies nicht für sich allein, sondern nur unter entsprechender Würdigung aller übrigen Ergebnisse der bestimmungsgemäßen Prüfung zur Beurteilung der Güte eines Portlandzementes benützt werden dürfen.

## 2. Bestimmungen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Schlackenzement<sup>1)</sup>.

### Begriffserklärung von Schlackenzement.

Schlackenzement ist ein Erzeugnis, welches aus granulierter, basischer Hochofenschlacke und aus pulverförmigem Kalkhydrat durch Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit und innigste Mischung gewonnen wird.

Zur Regulierung technisch wichtiger Eigenschaften des Schlackenzementes ist ein Zusatz fremder Stoffe bis zu 2% des Gewichtes ohne Änderung des Namens zulässig.

### Bemerkungen.

Schlackenzement ist von lichtgrauer Farbe mit Übergängen ins Gelbliche. Mit Wasser angemacht bindet Schlackenzement entweder rasch, mittel oder langsam ab, wobei er sich im letzteren Falle nur unbedeutend erwärmt.

Das spezifische Gewicht des Schlackenzementes im frischen Zustande schwankt nach dem Kalkgehalte und stellt sich in der Regel gegen 2·8; sein Glühverlust beträgt 4% und darüber. Das Gewicht in lose eingesiebttem Zustande beträgt per Liter ungefähr 900 g. Beim Lagern des Schlackenzementes verringert sich dieses Gewicht durch Aufnahme von Wasser und Kohlenäure, wogegen sein Glühverlust steigt. Daher ist bei der Bestimmung des spezifischen Gewichtes des Schlackenzementes auf diesen Umstand entsprechend Rücksicht zu nehmen.

Schlackenzement wird durch längeres Lagern meist langsamer bindend und gewinnt bei trockener, zugfreier Aufbewahrung im allgemeinen an Güte. Bei nicht sorgfältiger und obiger Voraussetzung nicht entsprechender Lagerung wird die Güte des Schlackenzementes ungünstig beeinflusst.

### I. Verpackung und Gewicht.

Schlackenzement ist nach dem Gewichte mit Preisstellung für 100 kg Brutto zu handeln.

Die Fässer sollen mit Normalgewicht, und zwar mit 200 kg Bruttogewicht per Faß in den Handel gebracht werden. Die

<sup>1)</sup> Aufgestellt vom „Österreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein“ im Jahre 1907.

Lieferung in Säcken ist zulässig und sollen diese ein Normalgewicht von 50 kg Brutto erhalten.

Schwankungen im Einzelbruttogewichte können bis zu 2% nicht beanstandet werden.

Das Gewicht der Packung darf bei Lieferung in Fässern nicht mehr als 5%, bei Lieferung in Säcken höchstens 1.5% des Bruttogewichtes betragen.

Auf den Fässern und Säcken sollen die Firma der betreffenden Fabrik, der Herstellungsort, das Wort „Schlackenzement“ und das Bruttogewicht verzeichnet sein. Auf Verlangen des Bestellers sollen die Säcke mit einer Plombe verschlossen sein, auf welcher die Fabriksfirma, der Herstellungsort und das Wort „Schlackenzement“ ersichtlich gemacht sind.

### Bemerkungen.

Aus Rücksicht für die einfachere Übernahme und zur Hintanhaltung von Unzukömmlichkeiten erscheint es empfehlenswert, ein einheitliches Gewicht für die Packung der Fässer und Säcke, in denen Schlackenzement geliefert wird, festzusetzen.

Übrigens steht es dem Fabrikanten frei, mit dem Käufer ein anderes als die angeführten Normalgewichte zu vereinbaren.

### II. Abbindeverhältnisse.

Die Schlackenzemente sind rasch, mittel oder langsam bindend.

Unter rasch bindenden Schlackenzementen sind diejenigen verstanden, deren Erhärtungsbeginn an der Luft ohne Sandzusatz, vom Zeitpunkte der Wasserzugabe an gerechnet, innerhalb 10 Minuten eintritt. Fällt der Erhärtungsbeginn eines Schlackenzementes über 30 Minuten hinaus, so ist derselbe als langsam bindend zu bezeichnen.

Zwischen den rasch und langsam bindenden Schlackenzementen werden die mittel bindenden eingereiht.

Rasch bindende Schlackenzemente sollen nur über besonderes Verlangen geliefert werden.

### Bemerkungen.

Die Ermittlung des Erhärtungsbeginnes ist zur Bestimmung der Kategorie, in welche ein Schlackenzement bezüglich seiner Abbindeverhältnisse einzureihen ist, von Wichtigkeit, und namentlich bei rasch bindenden Schlackenzementen ist die Kenntnis des Erhärtungsbeginnes notwendig, da bis zu dem Zeitpunkte, wo derselbe eintritt, der Zement verarbeitet sein muß, soll nicht seine Bindefraft Einbuße erleiden.

Zur Bestimmung des Erhärtungsbeginnes und der Abbindezeit eines Schlackenzementes dient die Normalnadel in Verbindung mit dem Konsistenzmesser.

Da die Menge des dem Schlackenzemente zugesetzten Wassers



Die Abbindeverhältnisse erheblich beeinflusst, so ist der Zementbrei bei den Abbindeversuchen in einer bestimmten Konsistenz (Normalkonsistenz) herzustellen.

Der Apparat zur Bestimmung der Konsistenz besteht aus einem Gestelle, an dem eine Teilung in Millimetern angebracht ist. In einer Führung bewegt sich ein arretierbarer Metallstab, dessen oberes Ende eine Metallscheibe trägt, während am unteren Ende sich ein Messingstab von 1 cm Durchmesser (der Konsistenzmesser) befindet. Der Konsistenzmesser wiegt samt dem Führungsstabe und der Scheibe 300 g.

Die zum Apparate gehörige, zur Aufnahme des Zementbreies bestimmte Dose ist aus Hartgummi erzeugt, mißt 8 cm im Durchmesser und 4 cm in der Höhe. Beim Gebrauche wird dieselbe auf eine starke Glasplatte aufgesetzt, welche gleichzeitig den Boden der Dose bildet. Wird der Konsistenzmesser bis auf diese Bodenfläche herabgelassen, so zeigt der am Führungsstabe befindliche Zeiger auf den Nullpunkt der Teilung, so daß der jedesmalige Stand der unteren Fläche des Konsistenzmessers über der Bodenfläche der Dose unmittelbar an der Teilung abgelesen werden kann.

Bei der Prüfung der Abbindeverhältnisse eines Schlackenzementes ist folgender Vorgang einzuhalten:

Man rührt 400 g Schlackenzement mit einer vorläufig angenommenen Wassermenge bei langsam- und Mittelbindern durch drei Minuten, bei Raschbindern durch eine Minute, mit einem Löffelartigen Spatel zu einem steifen Brei, welcher, ohne gerüttelt oder eingestochen zu werden, in die Dose des Apparates gebracht und an der Oberfläche sorgfältig in gleicher Ebene mit dem oberen Rande der Dose abgestrichen wird. Die so gefüllte Dose wird mit der Glasplatte, auf der sie aufsitzt, unter den Konsistenzmesser gebracht, welcher sodann langsam auf die Oberfläche des Zementbreies aufgesetzt wird. Wenn der nunmehr der Wirkung seines eigenen Gewichtes überlassene, in den Zementbrei eindringende Konsistenzmesser mit seinem unteren Ende in einer Höhe von 6 mm über der Bodenfläche stecken bleibt, also der Zeiger des Apparates auf den 6. Teilstrich der Teilung zeigt, so ist ein Brei von Normalkonsistenz hergestellt.

Gelingt dies beim ersten Versuche nicht, so muß der Wasserzusatz so lange geändert werden, bis ein Brei von der geforderten Konsistenz zustande gebracht wurde. Hat man auf diese Weise den Wasserzusatz für einen Brei von normaler Konsistenz ermittelt, so schreitet man unter Anwendung dieser Konsistenz zur Ermittlung des Erhärtungsbeginnes und der Abbindezeit.

Zu diesem Zwecke wird in dem oben beschriebenen Apparate statt des Konsistenzmessers die Normalnadel, das ist eine Stahlnadel von 1.13 mm Durchmesser (1 mm<sup>2</sup> Querschnitt), eingesetzt. Diese Nadel hat dieselbe Länge wie der Konsistenzmesser und hat



samt Führungsstab, Scheibe und dem aufzulegenden Ergänzungsgewichte 300 g zu wiegen.

Es wird nun die Dose mit einem Brei von normaler Konsistenz in der vorher beschriebenen Weise gefüllt und die Nadel auf dessen Oberfläche behutsam aufgesetzt, was in kurzen Zeiträumen an verschiedenen Stellen des Kuchens wiederholt wird.

Die Nadel wird anfänglich den Kuchen bis auf die den Boden der Dose bildende Glasplatte durchdringen, bei den späteren Versuchen aber im erhärtenden Brei stecken bleiben.

Den Zeitpunkt, in welchem die Nadel den Kuchen nicht mehr in seiner ganzen Höhe zu durchdringen vermag, nennt man den Erhärtungsbeginn.

Ist der Kuchen endlich so weit erstarrt, daß die Nadel beim Aufsetzen keinen merklichen Eindruck mehr hinterläßt, so ist der Schlackenzement abgebunden und die Zeit, welche vom Zeitpunkte der Zugabe des Wassers bis zu diesem Zeitpunkte verstreicht, heißt Abbindezeit.

Da das Abbinden von Schlackenzement durch die Temperatur der Luft und des zur Verwendung gelangenden Wassers beeinflusst wird, indem höhere Temperaturen das Abbinden beschleunigen, niedere es dagegen verzögern, so sollen die Abbindeversuche bei einer Temperatur des Wassers und der Luft von 15–18° C vorgenommen werden.

Werden die Abbindeproben jedoch ausnahmsweise unter anderen Verhältnissen vorgenommen, so sind die bezüglichlichen Wasser- und Lufttemperaturen anzugeben. Während des Abbindens dürfen langsam und mittel bindende Schlackenzemente sich nicht wesentlich erwärmen, dagegen kann rasch bindender Schlackenzement eine merkliche Temperaturerhöhung aufweisen.

### III. Volumenbeständigkeit.

Schlackenzement muß sowohl an der Luft, als auch unter Wasser volumenbeständig sein.

#### Bemerkungen.

Schlackenzement ist dann als volumenbeständig anzusehen, wenn derselbe, mit Wasser ohne Sandzusatz angemacht, an der Luft oder unter Wasser die beim Abbinden angenommene Form dauernd beibehält.

Erleiden Schlackenzemente nach dem Abbinden eine Volumenvergrößerung, welche unter allmählicher Lockerung des zuerst gewonnenen Zusammenhanges eine Zerklüftung der Zementmasse herbeiführt und auch mit deren ganzlichem Zerfalle endigen kann, so bezeichnet man diese Erscheinung als „Treiben des Zementes“. Der Beginn des Treibens tritt nicht sofort ein, sondern erst nach kürzerer oder längerer Zeit nach dem Abbinden.

Ein mit einer solchen Eigenschaft behaftetes Bindemittel ge-

fährdet die damit hergestellten Bauten in bedeutendem Maße; es muß daher vom Schlackenzemente die Volumenbeständigkeit gefordert werden.

Da manche Schlackenzemente wohl unter Wasser, aber nicht an der Luft volumenbeständig sind und auch das umgekehrte Verhalten nicht ausgeschlossen ist, so ist Schlackenzement nach beiden Richtungen hin zu prüfen.

#### a) Volumenbeständigkeit an der Luft.

Zur Prüfung, ob ein Schlackenzement an der Luft volumenbeständig ist, dient die Darrprobe in Verbindung mit der Kuchenprobe unter Wasser.

Die Darrprobe wird in folgender Weise ausgeführt: Man rührt den Schlackenzement ohne Sandzusatz mit der bei der Vornahme der Abbindeproben ermittelten Wassermenge zu einem Brei von Normalkonsistenz an, breitet denselben auf ebenen Glas- und Metallplatten in Kuchen von ca. 10 cm Durchmesser und ca. 1 cm Dicke aus und hinterlegt dieselben, um die Entstehung von Schwindrissen zu vermeiden, am besten in einen feuchtgehaltenen Kasten, wo die Kuchen vor Zugluft und Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützt sind. Nach 24 Stunden, jedenfalls aber erst nach erfolgtem Abbinden, werden die auf den Metallplatten ruhenden Zementkuchen in einem Trockenschrank einer Temperatur ausgesetzt, welche allmählich von der Lufttemperatur bis auf 120° C gesteigert und auf dieser Höhe durch 2—3 Stunden, für alle Fälle aber eine halbe Stunde über den Zeitpunkt hinausgehalten wird, bei welchem ein sichtbares Entweichen von Wasserdämpfen aufgehört hat.

Die Kuchen sollen in dem Trockenschrank nicht vertikal übereinander, sondern treppenförmig nebeneinander geordnet werden.

Zeigen die Kuchen nach dieser Behandlung Verkrümmungen oder mit Verkrümmungen verbundene, gegen die Ränder hin sich erweiternde Risse von radialer Richtung, so sind diese Risse als Treibrisse anzusehen und ist der fragliche Schlackenzement als an der Luft nicht volumenbeständig zu bezeichnen. Bei Volumenbeständigkeitsproben an der Luft treten infolge zu raschen Austrocknens durch Volumenverminderung manchmal Ribbildungen auf, welche als Schwindrisse bezeichnet werden und von den Treibrissen wohl zu unterscheiden sind. Diese Schwindrisse erscheinen gewöhnlich als gegen die Mitte hin sich erweiternde Risse ohne bestimmte Richtung.

Die durch die Anwesenheit von mehr als 3% wasserfreiem, schwefelsaurem Kalk (oder entsprechendem Gehalte an ungebranntem Gips) verursachte Volumenunbeständigkeit (das sogenannte Gips-treiben) wird jedoch durch die Darrprobe nicht angezeigt, und es ist daher, wenn ein Schlackenzement diese Probe besteht, jedenfalls noch das Ergebnis der gleichzeitig vorgenommenen Kuchenprobe unter Wasser, welche einen schädlichen Gehalt an Gips zuverlässig



in kurzer Zeit anzeigt, abzuwarten. Fällt auch diese Probe günstig aus, so kann der untersuchte Schlackenzement als volumenbeständig an der Luft bezeichnet werden.

#### b) Volumenbeständigkeit unter Wasser.

Die Untersuchung eines Schlackenzementes bezüglich seiner Volumenbeständigkeit unter Wasser erfolgt mittelst eines unter Wasser gelegten Kuchens aus Schlackenzement ohne Sandzusatz (Kuchenprobe).

Zu diesem Zwecke wird der Schlackenzement mit Wasser zu einem Brei angerührt und auf ebenen Glasplatten zu zwei Kuchen ausgegossen, welche ca. 10 cm Durchmesser haben, in der Mitte ca. 1 cm dick sind und gegen die Ränder hin auslaufen.

Der Wasserzusatz ist hierbei um ca. 1% des Zementgewichtes größer zu nehmen, als für die Normalkonsistenz bei den Abbindeproben ermittelt wurde, damit der Brei leichter zu Kuchen auslaufe.

Die so erhaltenen Kuchen werden, um die Entstehung von Schwindrissen zu vermeiden, an einem vor Zugluft und Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützten Orte, am besten in einem feuchtgehaltenen Kasten, aufbewahrt und nach 24 Stunden, jedenfalls aber erst nach erfolgtem Abbinden, samt den Glasplatten unter Wasser gelegt und daselbst durch mindestens 27 Tage belassen.

Zeigen sich während dieser Zeit an den Kuchen Verkrümmungen oder gegen die Ränder hin sich erweiternde Rantenrisse von mehr oder weniger radialer Richtung, so deutet dies unzweifelhaft auf Treiben des Schlackenzementes hin. Bleiben die Kuchen jedoch unverändert, so ist der Zement als unter Wasser volumenbeständig anzusehen.

#### Zusatz zu a) und b).

Bei zu dünn auslaufenden Rändern der Kuchen, welche bei deren Herstellung zu vermeiden sind, können feine Risse auftreten, welche, wenn die Kuchen eben geblieben sind, nicht Treiberscheinungen, sondern lediglich Spannungs- oder Schwindrisse darstellen.

#### IV. Feinheit der Mahlung.

Schlackenzement soll so fein als möglich gemahlen sein.

Die Feinheit der Mahlung ist mittelst eines Siebes von 4900 Maschen pro 1 cm<sup>2</sup> und 0.05 mm Drahtstärke und eines solchen von 900 Maschen pro 1 cm<sup>2</sup> und 0.10 mm Drahtstärke zu prüfen.

Der Sieberückstand darf auf dem 4900-Maschen Sieb nicht mehr als 30% und auf dem 900-Maschen Sieb nicht mehr als 5% betragen.

#### Bemerkungen.

Da Schlackenzement hauptsächlich mit Sand und Schotter verarbeitet wird, die Festigkeit des Zementmörtels sowie sein Anhaftungsvermögen und seine Wasserundurchlässigkeit mit der Fein-

heit der Mahlung des Zementes wachsen und das Grobe des Mahlgutes die Rolle von Sandzusätzen spielt, so ist eine möglichst feine Mahlung anzustreben und die Feinheit derselben mittelst der vorgeschriebenen Siebe einheitlich zu prüfen.

Zu jeder solchen Siebprobe sind 100 g Schlackenzement zu verwenden.

#### V. Bindekraft.

Die Bindekraft von Schlackenzement soll durch Prüfung der Festigkeitsverhältnisse an einer Mischung mit Sand ermittelt werden.

Als normale Mischung gilt das Gemenge von einem Gewichtsteil Schlackenzement mit drei Gewichtsteilen Normalsand.

Die Prüfung soll auf Druck- und Zugfestigkeit nach einheitlicher Methode an Probekörpern von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitte und mit richtig konstruierten Apparaten geschehen.

Die Zerreißproben sind an Probekörpern von der abgebildeten Form, welche an der Bruchfläche 5 cm<sup>2</sup> Querschnitt (2.25 cm Länge und 2.22 cm Breite) besitzen, die Druckproben an Würfeln von 50 cm<sup>2</sup> Fläche (7.07 cm Seitenlänge) vorzunehmen.

Sämtliche Probekörper sind die ersten 24 Stunden nach ihrer Anfertigung an der Luft, die übrige Zeit bis zur Probenvornahme unter Wasser von 15–18° C aufzubewahren.

Die maßgebende, wertbestimmende Probe ist die Druckprobe nach 28 tägiger Erhärtungsdauer, als Kontrolle für die Gleichmäßigkeit der gelieferten Ware dient die Zugprobe nach 7 und 28 tägiger Erhärtungsdauer.

#### Bemerkungen.

Da Schlackenzement bei Bauausführungen fast ausschließlich in der Mischung mit Sand verwendet wird, so ist es notwendig, die Bindekraft desselben in einer solchen Mischung zu prüfen.

Als geeignetes Verhältnis werden drei Gewichtsteile Sand zu einem Gewichtsteile Schlackenzement angenommen, da hierbei der Grad der Binfefähigkeit bei verschiedenen Schlackenzementen in hinreichendem Maße zum Ausdruck gelangt.

Erfahrungsgemäß übt die chemische und physikalische Beschaffenheit des zur Mörtelmischung verwendeten Sandes einen bedeutenden Einfluß auf die Festigkeitsverhältnisse des Mörtels aus; es ist daher, um zu übereinstimmenden und vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen, unbedingt erforderlich, daß zur Erzeugung aller Probekörper für die Bindekraft immer Sand von gleicher Beschaffenheit, Korngröße und gleichem Gewichte zur Anwendung komme.

Dieser Normalsand wird dadurch gewonnen, daß man möglichst reinen, in der Natur vorkommenden Quarzsand wäscht und trocknet, mittelst eines Siebes von 64 Maschen per 1 cm<sup>2</sup> und 0.40 mm Drahtstärke die größten Teile ausscheidet und sodann



mittelfst eines Siebes von 144 Maschen per  $1\text{ cm}^2$  und  $0.30\text{ mm}$  Drahtstärke die feinsten Teile entfernt. Der Rückstand auf dem letzteren Siebe ist der Normaland.

Das Gewicht dieses Sandes soll im lose eingefiebten Zustande (s. weiter unten)  $1740\text{--}1760\text{ g}$  per Liter betragen.

Als maßgebende Probe wird die Druckprobe deswegen festgesetzt, weil der Mörtel bei Bauausführungen zumeist auf Druck beansprucht wird und nach den gemachten Erfahrungen das Verhältnis zwischen Zug- und Druckfestigkeit bei verschiedenen Schlackenzementen ein verschiedenes ist, somit von der Zugfestigkeit nicht mit Sicherheit auf die Druckfestigkeit geschlossen werden kann. Die Ermittlung der Festigkeit bei der Druckprobe soll erst nach 28 tägiger Erhärtung vorgenommen werden, weil bei kürzerer Beobachtungsdauer die Druckfestigkeit eines Schlackenzementes nicht genügend zum Ausdrucke kommt.

Von ganz besonderem Werte wäre es, wenn dort, wo dies zu ermöglichen ist, die Festigkeitsproben auf längere Zeit ausgedehnt würden, da es vorkommt, daß Schlackenzemente, welche anfangs geringere Festigkeitsziffern ergeben, in späterer Zeit die Festigkeiten anderer Schlackenzemente erreichen oder dieselben sogar überholen.

Die Kontrolle über die gleichmäßige Güte des gelieferten Schlackenzementes kann in einfacher Weise durch die Erprobung auf Zugfestigkeit vorgenommen werden. Die Zugfestigkeit soll an Probekörpern von 7 und 28 tägiger Erhärtung ausgeführt werden, erstere, um möglichst bald zu einem Ergebnisse zu gelangen, letztere, um den entsprechenden Fortschritt der Erhärtung kennen zu lernen.

Den Versuchsergebnissen der Festigkeitsproben ist das jeweilige Gewicht des Schlackenzementes und des Normalandes per Liter im lose eingefiebten Zustande beizufügen, zu welchem Zwecke Schlackenzement und Sand in ein 1 Liter fassendes zylindrisches Blechgefäß von  $10\text{ cm}$  Höhe eingefiebt werden. Hierbei ist das Sieb von 64 Maschen per  $1\text{ cm}^2$  und  $0.40\text{ mm}$  Drahtstärke zu verwenden und dasselbe während des Siebens in einer Entfernung von ca.  $15\text{ cm}$  über dem oberen Rande des Litergefäßes zu halten.

Das Sieben ist so lange fortzusetzen, bis sich ein Ke gel gebildet hat, der mit seiner Grundfläche die ganze obere Öffnung des Litergefäßes bedeckt, dieser Ke gel ist schließlich mit einem geradlinigen Streicheisen vollkommen eben abzutreiben.

Während der ganzen Dauer dieser Verrichtung ist jede Erschütterung des Litergefäßes sorgfältig zu vermeiden.

## VI. Zug- und Druckfestigkeit.

In Normalmörtelmischung sollen Schlackenzemente nach 7 Tagen Erhärtung (die ersten 24 Stunden an der Luft, die folgenden 6 Tage unter Wasser) und nach 28 Tagen Erhärtung (die ersten 24 Stunden an der Luft, die folgenden 27 Tage unter Wasser) die nachstehenden Minimalfestigkeiten erreichen:

Kategorie	Erhärtungsdauer	Minimal-	
		Druck-	Zug-
		Festigkeit in <i>kg per cm<sup>2</sup></i>	
Langsam und mittel bindende Schlackenzemente	{ nach 7 Tagen	—	12
	{ " 28 "	180	18
Rasch bindende Schlackenzemente . . . . .	{ " 7 "	—	8
	{ " 28 "	120	12

Das Mittel aus den vier besten Ergebnissen von 6 geprüften Körpern hat als die mittlere Festigkeit in der betreffenden Altersklasse zu gelten.

#### Bemerkungen.

##### 1. Herstellung der Probekörper.

Die Probekörper für Zug- und Druckfestigkeit sind stets auf maschinellem Wege zu erzeugen.

Für jede Festigkeitsprobe sind per Altersklasse sechs Probekörper herzustellen.

Die vorerst trocken durcheinander gemengte Mischung von Schlackenzement und Sand ist mit der weiter unten vorgeschriebenen, bzw. ermittelten Menge Wasser, und zwar vom Zeitpunkte der Wasserzugabe bei rasch bindenden Schlackenzementen durch eine Minute, bei mittel oder langsam bindenden Schlackenzementen durch drei Minuten, tüchtig durchzuarbeiten und sofort auf einmal in die gehörig gereinigten und mit Wasser benetzten Formen zu füllen; ein nachträgliches Aufbringen von Mörtel ist zu vermeiden.

Die Herstellung der Probekörper muß unter allen Umständen vollendet sein, bevor der Erhärtungsbeginn des Schlackenzementes eingetreten ist; es ist daher namentlich bei Raschbindern in dieser Richtung besondere Vorsicht und Sorgfalt geboten.

Um Ergebnisse zu erhalten, welche einen Vergleich der Zug- und Druckfestigkeit zulassen, ist es notwendig, daß die Probekörper für beide Festigkeiten in derselben Konsistenz und mit annähernd derselben Dichte angefertigt werden, was einerseits durch im Verhältnis zur Trockensubstanz gleichen Wasserzuzug, andererseits durch eine bei der Verdichtung des Mörtels angewendete gleiche Arbeit per Gewichtseinheit der Trockensubstanz erreicht wird.



Zur Ermittlung des richtigen Wasserzusatzes werden 800 g gut gemengter, trockener Normalmörtelmischung mit einer vorläufig angenommenen Wassermenge gleichmäßig angefeuchtet und bei Raschbindern eine Minute, bei Mittel- und Langsambindern drei Minuten lang durchgearbeitet.

Der so gewonnene Mörtel wird auf einmal in die Form des zur Herstellung der Druckprobekörper dienenden Rammapparates gefüllt und durch 150 Schläge eines 3·2 kg schweren Fallgewichtes oder Hammers aus einer Höhe von 0·50 m verdichtet.

Tritt nach ungefähr 100 Schlägen in der Fuge zwischen Form und Aufsatzkasten eine mäßige Absonderung von Wasser auf, so gilt dies als Zeichen, daß die Wassermenge richtig gewählt worden ist. Undernfalls ist der Versuch mit einer jedesmal geänderten Wassermenge bis zur Erreichung dieser Wasserabsonderung zu wiederholen.

Die derart ermittelte Wassermenge gibt die Normalmörtelkonsistenz, mit welcher alle Probekörper anzufertigen sind.

Die Arbeit, welche bei der Erzeugung der Probekörper zu leisten ist, wird mit 0·3 kgm per 1 g Trockensubstanz festgesetzt.

Die Probekörper sind einzeln anzufertigen, und es werden für jeden Probekörper der Druckfestigkeit 800 g, für jeden Probekörper der Zugfestigkeit 200 g trockene Normalmischung mit der auf obige Weise ermittelten Wassermenge angerührt.

Der so erhaltene Normalmörtel wird auf einmal in die mit einem Füllkasten versehene Form gefüllt und mittelst eines genau in die Form passenden Kernes bei den Druckprobekörpern durch 150 Schläge eines aus einer Höhe von 0·50 m fallenden, 3·2 kg schweren Rammflozes oder Hammers, bei den Zugprobekörpern jedoch durch 120 Schläge eines 0·25 m hoch herabfallenden, 2 kg schweren Rammflozes oder Hammers verdichtet. Unmittelbar nach dem letzten Schläge entfernt man den Kern und den Aufsatz des Formkastens, streicht den überschüssigen, die Form überragenden Mörtel mit einem Messer ab, glättet die Oberfläche und nimmt den Probekörper aus der Form, sobald der Mörtel vollständig abgebunden hat.

Die zur Herstellung der Probekörper dienenden Apparate sollen auf fester, nicht federnder Unterlage, am besten auf Mauerwerk, ruhen.

Bei genauer Einhaltung obiger Vorschriften und namentlich der auf die Trockensubstanz bezogenen gleichen Arbeit wird sowohl für den Zug- als Druckkörper eine annähernd gleiche Dichte erzielt.

Die Dichte der Probekörper ist sofort nach ihrer Herstellung zu erheben und deren Durchschnittsziffer sowohl bezüglich der Druckprobekörper als auch der Zugprobekörper den Versuchsergebnissen beizufügen.

## 2. Aufbewahrung der Probekörper.

Nach der Anfertigung sind die Probekörper die ersten 24 Stunden an der Luft, und zwar, um sie vor ungleichmäßiger Austrocknung zu schützen, in einem geschlossenen, feucht gehaltenen Kasten, die übrige Zeit aber, bis unmittelbar vor Abführung der Proben, unter Wasser von 15—18° C aufzubewahren.

Das Wasser, in welchem dieselben erhärten, ist in den ersten vier Wochen alle acht Tage zu erneuern, und ist darauf zu achten, daß die Probekörper immer vom Wasser bedeckt sind. Bei Proben, welche über diese Zeit hinaus aufbewahrt werden, genügt es, das durch Verdunstung verloren gegangene Wasser von Zeit zu Zeit durch frisches Wasser zu ersetzen, so daß die Proben immer vollständig unter der Wasseroberfläche bleiben.

## 3. Vornahme der Festigkeitsproben.

Die Probekörper sind sofort nach der Entnahme aus dem Wasser zu prüfen. Für jede Altersklasse sind sowohl die Druck- als die Zugfestigkeit stets an je sechs Probekörpern zu bestimmen.

Da die Dauer der Belastung bei der Zugprobe von Einfluß auf das Ergebnis ist, so soll bei der Prüfung auf Zugfestigkeit die Zunahme der Belastung während des Versuches 100 g per Sekunde betragen.

Bei dem Einspannen der Probekörper ist darauf zu achten, daß der Zug genau in einer zur Bruchfläche senkrechten Richtung stattfindet.

Bei der Prüfung auf Druckfestigkeit soll, um einheitliche Ergebnisse zu erzielen, der Druck stets auf zwei Seitenflächen der Würfel (im Sinne der Herstellung) ausgeübt werden, nicht aber auf die Bodenfläche und die bearbeitete obere Fläche.

### Schlussbemerkung.

Diese für die Prüfung von Schlackenzement aufgestellten Bestimmungen können ausschließlich nur zur Prüfung des Schlackenzementes verwendet werden.

Die nach diesen Bestimmungen ermittelten Zug- und Druckfestigkeiten geben nur Vergleichswerte für die Kraftentfaltung der verschiedenen Schlackenzemente, welche Werte überdies nicht für sich allein, sondern nur unter entsprechender Würdigung aller übrigen Ergebnisse der bestimmungsgemäßen Prüfung zur Beurteilung der Güte eines Schlackenzementes benützt werden dürfen.



### 3. Bestimmungen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Romanzement (Bementkalk) in Osterreich<sup>1)</sup>.

#### Definition von Romanzement.

Romanzemente sind Erzeugnisse, welche aus tonreichen Kalkmergeln durch Brennen unterhalb der Sintergrenze gewonnen werden und bei Benetzung mit Wasser sich nicht lösen und daher erst durch mechanische Zerkleinerung in Mehlform gebracht werden müssen.

#### I. Verpackung und Gewicht.

Romanzement ist nach dem Gewichte mit Preisstellung für 100 kg Brutto zu handeln.

Es ist wünschenswert, daß die Fässer mit Normalgewicht, und zwar mit 250 kg Bruttogewicht pro Faß in den Handel gebracht werden. Die Lieferung in Säcken ist zulässig und sollen diese ein Normalgewicht von 60 kg Brutto erhalten.

Schwankungen im Einzelbruttogewichte können bis zu 2% nicht beanstandet werden.

Das Gewicht der Packung darf bei Lieferung in Fässern nicht mehr als 5%, hingegen bei Lieferung in Säcken höchstens 1.5% des Bruttogewichtes betragen.

Die Fässer und Säcke sollen die Firma der betreffenden Fabrik, das Wort „Romanzement“ und die Bezeichnung des Bruttogewichtes tragen. Die Säcke sollen auf Verlangen mit einer Plombe verschlossen sein, auf welcher einerseits die Fabrikfirma, andererseits das Wort „Romanzement“ ersichtlich gemacht ist.

#### Erklärungen zu I.

Aus Rücksichten für die einfachere Übernahme erscheint die Festsetzung eines einheitlichen Gewichtes für die Packung der Fässer und Säcke, in denen Romanzement geliefert wird, wünschenswert.

#### II. Abbindeverhältnisse.

Die Romanzemente sind rasch, mittel oder langsam bindend.

Unter rasch bindenden Romanzementen sind diejenigen verstanden, deren Erhärtungsbeginn an der Luft ohne Sandzusatz, vom Momente der Wasserzugabe an gerechnet, innerhalb 7 Minuten eintritt. Fällt der Erhärtungsbeginn eines Romanzementes über 15 Minuten hinaus, so ist derselbe als langsam bindend zu bezeichnen.

Zwischen den rasch und langsam bindenden Romanzementen werden die mittel bindenden eingereiht.

<sup>1)</sup> Aufgestellt vom „Österreichischen Ingenieur- und Architektenverein“ im Jahre 1890.

## Erklärungen zu II.

Die Ermittlung des Erhärtungsbeginnes ist zur Bestimmung der Kategorie, in welche ein Romanzement bezüglich seiner Abbindeverhältnisse einzureihen ist, von Wichtigkeit, und namentlich bei rasch bindenden Romanzementen ist die Kenntnis des Erhärtungsbeginnes notwendig, da bis zu der Zeit, binnen welcher derselbe eintritt, der Zement verarbeitet sein muß, soll nicht seine Bindefkraft Einbuße erleiden.

Zur Bestimmung des Erhärtungsbeginnes und der Abbindezeit eines Romanzementes dient die Normalnadel in Verbindung mit dem Konsistenzmesser.

Da die Menge des dem Romanzemente zugesetzten Wassers die Abbindeverhältnisse erheblich beeinflusst, so ist der Zementbrei bei den Abbindeversuchen in einer bestimmten Konsistenz (Normalkonsistenz) herzustellen.

Der Apparat zur Bestimmung der Konsistenz besteht aus einem Gestelle, an dem eine Teilung in Millimetern angebracht ist. In einer Führung bewegt sich ein arretierbarer Metallstab, dessen oberes Ende eine Metallscheibe trägt, während am unteren Ende sich ein Messingstab von 1 cm Durchmesser (der Konsistenzmesser) befindet. Der Konsistenzmesser wiegt samt dem Führungsstabe und der Scheibe 300 g.

Die zum Apparate gehörige, zur Aufnahme des Zementbreies bestimmte Dose ist aus Hartgummi erzeugt, mißt 8 cm im Durchmesser und 4 cm in der Höhe. Beim Gebrauche wird dieselbe auf eine starke Glasplatte aufgesetzt, welche gleichzeitig den Boden der Dose bildet. Wird der Konsistenzmesser bis auf diese Bodenfläche herabgelassen, so zeigt der am Führungsstabe befindliche Zeiger auf den Nullpunkt der Teilung, so daß der jedesmalige Stand der unteren Fläche des Konsistenzmessers über der Bodenfläche der Dose unmittelbar an der Teilung abgelesen werden kann.

Bei der Prüfung der Abbindeverhältnisse eines Romanzementes ist folgender Vorgang einzuhalten:

Man rührt 400 g Romanzement mit einer vorläufig angenommenen Wassermenge bei langsam- und Mittelbindern durch drei Minuten, bei Raschbindern durch eine Minute mit einem löffelartigen Spatel zu einem steifen Brei, welcher, ohne gerüttelt oder eingestoßen zu werden, in die Dose des Apparates gebracht und an der Oberfläche sorgfältig in gleicher Ebene mit dem oberen Rande der Dose abgestrichen wird. Die so gefüllte Dose wird mit der Glasplatte, auf der sie aufliegt, unter den Konsistenzmesser gebracht, welcher sodann langsam auf die Oberfläche des Zementbreies aufgesetzt wird. Wenn der nunmehr der Wirkung seines eigenen Gewichtes überlassene, in den Zementbrei eindringende Konsistenzmesser mit seinem unteren Ende in einer Höhe von 6 mm über der Bodenfläche stecken bleibt, also der Zeiger des Apparates auf



den sechsten Teilstrich der Teilung zeigt, so ist ein Brei von Normalkonsistenz hergestellt.

Gelingt dies beim ersten Versuche nicht, so muß der Wasserzusatz so lange geändert werden, bis ein Brei von der geforderten Konsistenz zustande gebracht wurde. Hat man auf diese Weise den Wasserzusatz für einen Brei von normaler Konsistenz ermittelt, so schreitet man unter Anwendung dieser Konsistenz zur Ermittlung des Erhärtungsbeginnes und der Abbindezeit.

Zu diesem Zwecke wird in dem oben beschriebenen Apparate statt des Konsistenzmessers die Normalnadel, d. i. eine kreisrunde Stahlnadel von 1.13 mm Durchmesser (1 mm<sup>2</sup> Querschnitt) eingesetzt. Diese Nadel hat dieselbe Länge wie der Konsistenzmesser und wiegt samt Führungsstab und Scheibe 270 g; es ist demnach vor Gebrauch der Nadel das Ergänzungsgewicht von 30 g auf die Scheibe aufzuliegen.

Es wird nun die Dose mit einem Brei von normaler Konsistenz in der vorher beschriebenen Weise gefüllt und die Nadel auf dessen Oberfläche behutsam aufgesetzt, was in kurzen Zeiträumen an verschiedenen Stellen des Kuchens wiederholt wird.

Die Nadel wird anfänglich den Kuchen bis auf die den Boden der Dose bildende Glasplatte durchdringen, bei den späteren Versuchen aber im erhärtenden Brei stecken bleiben.

Der Zeitpunkt, in welchem die Nadel den Kuchen nicht mehr in seiner ganzen Höhe zu durchdringen vermag, nennt man den Erhärtungsbeginn.

Ist der Kuchen endlich so weit erstarrt, daß die Nadel beim Aufsetzen keinen merkbaren Eindruck mehr hinterläßt, so ist der Romanzement abgebunden und die Zeit, welche vom Momente der Zugabe des Wassers bis zu diesem Zeitpunkte verstreicht, heißt Abbindezeit.

Da das Abbinden von Romanzement durch die Temperatur der Luft und des zur Verwendung gelangenden Wassers beeinflusst wird, insofern höhere Temperaturen das Abbinden beschleunigen, niedere es dagegen verzögern, so sollen die Abbindeversuche bei einer mittleren Temperatur des Wassers und der Luft von 15—18° C vorgenommen werden.

Werden die Abbindeproben jedoch ausnahmsweise unter anderen Verhältnissen vorgenommen, so sind die bezüglichen Wasser- und Lufttemperaturen anzugeben.

Rasch bindende Romanzemente zeigen beim Abbinden oft ganz bedeutende Temperaturerhöhungen. Mittel und langsam bindende Romanzemente sollen sich nicht wesentlich erwärmen. — Durch längeres Lagern an trockenem Orte wird Romanzement langsam bindend, verliert die etwa vorhandene Tendenz zum Treiben und gewinnt dadurch an Qualität.

## III. Volumenbeständigkeit.

Romanzement soll sowohl an der Luft, als auch unter Wasser volumenbeständig sein.

## Erklärungen zu III.

Manche Romanzemente erleiden nach dem Abbinden eine Volumenvergrößerung, welche unter allmählicher Lockerung des zuerst gewonnenen Zusammenhanges eine Zerklüftung der Zementmasse herbeiführt und häufig mit deren gänzlichem Zerfall endigt.

Der Beginn dieser Erscheinung, welche man mit dem Ausdrucke „Treiben des Zementes“ bezeichnet, tritt nicht sofort, sondern in kürzerer oder längerer Zeit nach dem Abbinden ein.

Ein mit solcher Eigenschaft behaftetes Bindemittel gefährdet die Solidität der damit hergestellten Bauten in bedeutendem Maße; es muß daher vom Romanzement die Volumenbeständigkeit gefordert werden.

Romanzement ist dann als volumenbeständig anzusehen, wenn derselbe, mit Wasser ohne Sandzusatz angemacht, an der Luft oder im Wasser die beim Abbinden angenommene Form dauernd beibehält.

Die Prüfung auf Volumenbeständigkeit ist stets nach beiden Richtungen hin vorzunehmen.

Die Prüfung eines Romanzementes auf Volumenbeständigkeit an der Luft und unter Wasser geschieht durch Beobachtung von Kuchen aus reinem Zement. (Kuchenprobe.)

Zu diesem Zwecke wird der reine Romanzement mit Wasser zu einem Brei angerührt und auf ebenen Glasplatten zu Kuchen ausgegossen, welche zirka 10 cm im Durchmesser haben, in der Mitte zirka 1 cm dick sind und gegen die Ränder hin dünn auslaufen.

Der Wasserzusatz ist hierbei um zirka 1% des Zementgewichtes größer zu nehmen, als für die Normalkonsistenz bei den Abbindeproben ermittelt wurde, damit der Brei leichter zu Kuchen auslaufe.

Die so erhaltenen Kuchen werden, um die Entstehung von Schwindrissen zu vermeiden, an einem vor Zugluft und Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützten Orte, am besten in einem feuchtgehaltenen Kasten, aufbewahrt. Nach 24 Stunden, jedenfalls aber erst nach erfolgtem Abbinden, wird eine Serie der so aufbewahrten Kuchen samt den Glasplatten, ebenfalls vor Zugluft und Einwirkung von Sonnenstrahlen geschützt, an die Außenluft, und eine zweite Serie unter Wasser gelegt und daselbst durch mindestens 27 Tage belassen.

Zeigen sich während dieser Zeit an den Kuchen Verkrümmungen oder gegen die Ränder hin sich erweiternde Kantenrisse von mehr oder weniger radialer Richtung, so deutet dies unzweifelhaft auf Treiben des Romanzementes hin. Bleiben die Kuchen jedoch unverändert, so ist der Romanzement als volumenbeständig anzusehen.



#### IV. Feinheit der Mahlung.

Romanzement soll so fein als möglich gemahlen sein.

Die Feinheit der Mahlung ist mittelst eines Siebes von 2500 Maschen pro  $1 \text{ cm}^2$  und  $0.07 \text{ mm}$  Drahtstärke und eines solchen von 900 Maschen pro  $1 \text{ cm}^2$  und  $0.10 \text{ mm}$  Drahtstärke zu prüfen.

Der Sieberückstand darf auf dem 2500-Maschen Sieb keineswegs mehr als 36 % und auf dem 900-Maschen Sieb keineswegs mehr als 18 % betragen.

#### Erklärungen zu IV.

Da Romanzement hauptsächlich mit Sand und Schotter verarbeitet wird, die Festigkeit des Zementmörtels, sowie seine Adhäsion und Wasserundurchlässigkeit aber mit der Feinheit der Mahlung des Zementes wächst, andererseits das Grobe des Mahlgutes die Rolle von Sandzusätzen spielt, so ist eine möglichst feine Mahlung anzustreben und die Feinheit derselben mittelst Sieben von der vorgeschriebenen Maschenweite einheitlich zu prüfen.

Zu jeder solchen Siebprobe sind 100 g Romanzement zu verwenden.

Es wäre indessen irrig, wollte man aus der feinen Mahlung allein auf die Güte eines Romanzementes schließen, da geringe, weiche Zemente häufiger sehr fein gemahlen vorkommen, als gute, scharf gebrannte; letztere aber werden selbst bei gröberer Mahlung doch in der Regel eine höhere Bindekraft aufweisen als die ersteren.

#### V. Bindekraft.

Die Bindekraft von Romanzement soll durch Prüfung der Festigkeitsverhältnisse an einer Mischung desselben mit Sand ermittelt werden.

Als normale Mischung gilt das Gemenge von einem Gewichtsteil Romanzement mit drei Gewichtsteilen Normalsand.

Die Prüfung soll auf Druck- und Zugfestigkeit nach einheitlicher Methode an Probekörpern von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitte und mit richtig konstruierten Apparaten geschehen.

Die Zerreißungsproben sind an Probekörpern von der nachstehenden Form,<sup>1)</sup> welche an der Bruchfläche  $5 \text{ cm}^2$  Querschnitt ( $2.25 \text{ cm}$  Länge und  $2.22 \text{ cm}$  Breite) besitzen, die Druckproben an Würfeln von  $50 \text{ cm}^2$  Fläche ( $7.07 \text{ cm}$  Seitenlänge) vorzunehmen.

Sämtliche Probekörper sind die ersten 24 Stunden nach ihrer Anfertigung an der Luft, die übrige Zeit bis zur Probefornahme unter Wasser aufzubewahren.

Als Kontrolle für die Gleichmäßigkeit der gelieferten Ware

<sup>1)</sup> An Stelle des hier weggelassenen Bildes siehe Bild 44 auf Seite 166.

dient die Zugprobe nach 7 und 28 tägiger Erhärtungsdauer. Die maßgebende, wertbestimmende Probe ist jedoch die Druckprobe nach 28tägiger Erhärtungsdauer.

### Erklärungen zu V.

Da Romanzement in der Praxis fast ausschließlich in der Mischung mit Sand verwendet wird, so ist es notwendig, die Bindekraft desselben in einer solchen Mischung zu prüfen.

Als geeignetes Verhältnis werden drei Gewichtsteile Sand auf einen Gewichtsteil Romanzement angenommen, da hierbei der Grad der Binfefähigkeit bei verschiedenen Romanzementen in hinreichendem Maße zum Ausdruck gelangt.

In manchen Fällen wird es sich jedoch empfehlen, die Festigkeit des reinen Romanzementes festzustellen.

Erfahrungsgemäß übt die chemische und physikalische Beschaffenheit des zur Mörtelmischung verwendeten Sandes einen bedeutenden Einfluß auf die Festigkeitsverhältnisse des Mörtels aus; es ist daher, um zu übereinstimmenden und vergleichbaren Resultaten zu gelangen, unbedingt erforderlich, daß zur Erzeugung aller Probekörper für die Bindekraft immer Sand von gleicher Beschaffenheit, Korngröße und gleichem Gewichte zur Anwendung komme.

Dieser Normalsand wird dadurch gewonnen, daß man möglichst reinen, in der Natur vorkommenden Quarzsand wäscht, trocknet und mittelst eines Siebes von 64 Maschen pro 1 cm<sup>2</sup> und 0·40 mm Drahtstärke die größten Teile ausschheidet und sodann mittelst eines Siebes von 144 Maschen pro 1 cm<sup>2</sup> und 0·30 mm Drahtstärke die feinsten Teile entfernt.

Der Rückstand auf dem letzteren Siebe ist der Normalsand.

Als maßgebende Probe wird die Druckprobe deswegen festgesetzt, weil der Mörtel in der Praxis zumeist auf Druck beansprucht wird und nach den gemachten Erfahrungen das Verhältnis zwischen Zug- und Druckfestigkeit bei verschiedenen Zementen ein verschiedenes ist, somit von der Zugfestigkeit nicht mit Sicherheit auf die Druckfestigkeit geschlossen werden kann. Die Ermittlung der Festigkeit bei der Druckprobe soll erst nach 28 tägiger Erhärtung vorgenommen werden, weil bei kürzerer Beobachtungsdauer die Eigenschaften eines Zementes nicht genügend zum Ausdruck kommen.

Von ganz besonderem Werte wäre es, wenn dort, wo dies zu ermöglichen ist, die Festigkeitsproben auf längere Zeit ausgedehnt würden, da es vorkommt, daß Zemente, welche anfangs geringere Festigkeitsziffern ergeben, in späterer Zeit die Festigkeiten anderer Zemente erreichen oder dieselben sogar überholen.

Da die Herstellung der Druckprobekörper umständlich ist und die Vornahme der Druckprobe kostspielige Apparate erfordert, so kann die Kontrolle über die gleichmäßige Qualität des gelieferten



Romanzementes in einfacherer Weise durch die Erprobung auf Zugfestigkeit vorgenommen werden. Die Zugfestigkeit soll an Probekörpern von 7 und 28 tägiger Erhärtung festgestellt werden, erstere, um möglichst bald zu einem Resultate zu gelangen, letztere, um den entsprechenden Fortschritt der Erhärtung kennen zu lernen.

Den Versuchsergebnissen der Festigkeitsproben ist das jeweilige Gewicht des Romanzementes und des Normalandes pro Liter im lose eingesiebten Zustande beizufügen, zu welchem Zwecke Zement und Sand in ein 1 l fassendes zylindrisches Blechgefäß von 10 cm Höhe eingesiebt werden. Hierbei ist das Sieb von 64 Maschen pro 1 cm<sup>2</sup> und 0.40 mm Drahtstärke zu verwenden und dasselbe während des Siebens in einer Entfernung von zirka 15 cm über dem oberen Rande des Litergefäßes zu halten.

Das Sieben ist so lange fortzusetzen, bis sich ein Ke gel gebildet hat, der mit seiner Grundfläche die ganze obere Öffnung des Litergefäßes bedeckt; dieser Ke gel ist schließlich mit einem geradlinigen Streicheisen vollkommen eben abzustreichen.

Während der ganzen Dauer dieser Manipulation ist jede Erschütterung des Litergefäßes sorgfältig zu vermeiden.

#### VI. Zug- und Druckfestigkeit.

In Normalmörtelmischung sollen gute Romanzemente nach 28 Tagen Erhärtung (die ersten 24 Stunden an der Luft, die folgenden 27 Tage unter Wasser) und nach 7 Tagen Erhärtung (die ersten 24 Stunden an der Luft, die folgenden 6 Tage unter Wasser) die nachstehenden Minimalfestigkeiten erreichen:

Kategorie	Erhärtungsdauer	Minimal-	
		Druck-	Zug-
Festigkeit pro Quadratcentimeter			
Langsam und mittel bindende Romanzemente	{ nach 28 Tagen	80 kg	10 kg
	{ " 7 "	—	5 "
Rasch bindende Romanzemente	{ " 28 "	60 "	8 "
	{ " 7 "	—	4 "

Das Mittel aus den vier besten Resultaten von sechs geprüften Körpern hat als die mittlere Festigkeit in der betreffenden Altersklasse zu gelten.

## Erklärungen zu VI.

## 1. Erzeugung der Probekörper.

## a) Allgemeine Bemerkungen.

Die Probekörper für die Druckfestigkeit sind stets auf maschinellen Wege zu erzeugen; die Probekörper für die Zugfestigkeit können maschinell oder von Hand angefertigt werden. Den Versuchsergebnissen der Festigkeitsproben ist beizufügen, ob die Probekörper durch maschinelle Arbeit oder durch Handarbeit angefertigt worden sind. In Streitfällen ist jedoch stets das Ergebnis der maschinellen Arbeit entscheidend.

Für jede Festigkeitsprobe sind pro Altersklasse sechs Probekörper herzustellen.

Die vorerst trocken durcheinander gemengte Mischung von Romanzement und Sand ist mit der weiter unten vorgeschriebenen, respektive ermittelten Menge Wasser, und zwar vom Momente der Wasserzugabe, bei rasch bindenden Zementen durch 1 Minute, bei mittel oder langsam bindenden Zementen durch 3 Minuten tüchtig durchzuarbeiten und sofort auf einmal in die gehörig gereinigten und mit Wasser benetzten Formen zu füllen; ein nachträgliches Aufbringen von Mörtel ist zu vermeiden.

Die Herstellung der Probekörper muß unter allen Umständen vollendet sein, bevor der Erhärtungsbeginn des Romanzementes eingetreten ist; es ist daher namentlich bei Raschbindern in dieser Richtung besondere Vorsicht und Sorgfalt geboten.

Die Verschlussvorrichtung der Formen für die Zugprobekörper muß dem bei der Erzeugung dieser Körper entstehenden Drucke genügend Widerstand leisten, da sonst durch Nachlassen dieses Verschlusses der Zerreißungsquerschnitt vergrößert und unrichtige Festigkeitsergebnisse sich ergeben würden; ein durch Federkraft erzeugter Verschuß der beiden Teile der Formen ist aus diesem Grunde unzulässig.

## b) Herstellung der Probekörper durch maschinelle Arbeit.

Um Ergebnisse zu erhalten, welche einen Vergleich der Zug- zur Druckfestigkeit zulassen, ist es notwendig, daß die Probekörper für beide Festigkeiten in derselben Konsistenz und mit derselben Dichte angefertigt werden, was einerseits durch im Verhältnis zur Trockensubstanz gleichen Wasserzusatz, andererseits durch eine bei der Komprimierung des Mörtels angewendete gleiche Arbeit pro Volumeneinheit der Trockensubstanz erreicht wird.

Zur Ermittlung des richtigen Wasserzusatzes werden 750 g gut gemengter, trockener Normalmörtelmischung mit einer vorläufig angenommenen Wassermenge gleichmäßig angefeuchtet und bei Raschbindern 1 Minute, bei Mittel- und Langsambindern 3 Minuten lang durchgearbeitet.



Der so gewonnene Mörtel wird auf einmal in die Form des zur Herstellung der Druckprobekörper dienenden Rammapparates gefüllt und durch 150 Schläge eines 3 kg schweren Fallgewichtes oder Hammers aus einer Höhe von 0.50 m komprimiert.

Zeigt der Mörtel nach dem letzten Schläge eine mäßige Absonderung von Wasser an seiner Oberfläche, so gilt dies als Zeichen, daß die Wassermenge korrekt gewählt worden ist. Andernfalls ist der Versuch mit einer jedesmal geänderten Wassermenge so lange zu wiederholen, bis bei dem letzten Schläge die Wasserabsonderung beginnt.

Die derart ermittelte prozentuelle Wassermenge gibt die Normalmörtelkonsistenz, mit welcher alle Probekörper anzufertigen sind.

Die Arbeit, welche bei der Erzeugung der Probekörper zu leisten ist, wird mit 0.3 *mk*g pro 1 g Trockensubstanz festgesetzt.

Bei maschineller Herstellung sind die Probekörper einzeln anzufertigen, und es werden für jeden Probekörper der Druckfestigkeit 750 g, für jeden Probekörper der Zugfestigkeit 200 g trockener Normalmischung mit der auf obige Weise ermittelten prozentuellen Wassermenge angerührt.

Der so erhaltene Normalmörtel wird auf einmal in die mit einem Füllkasten versehene Form gefüllt und mittelst eines genau in die Form passenden Kernes bei den Druckprobekörpern durch 150 Schläge eines aus einer Höhe von 0.50 m fallenden, 3 kg schweren Rammflozes oder Hammers, bei den Zugprobekörpern jedoch durch 120 Schläge eines 0.25 m hoch herabfallenden, 2 kg schweren Rammflozes oder Hammers komprimiert. Unmittelbar nach dem letzten Schläge entfernt man den Kern und den Aufsatz des Formkastens, streicht das überschüssige, die Form überragende Material mit einem Messer ab, glättet die Oberfläche und nimmt den Probekörper aus der Form, sobald der Mörtel vollständig abgebunden hat.

Die zur Komprimierung der Probekörper dienenden Apparate sollen auf solider, nicht federnder Unterlage, am besten auf Mauerwerk ruhen.

Bei genauer Einhaltung obiger Vorschriften und namentlich der auf die Trockensubstanz bezogenen gleichen Arbeit wird sowohl für die Zug- als Druckkörper eine annähernd gleiche Dichte erzielt.

Um diese wichtige Bedingung zu kontrollieren und um einen Anhaltspunkt zur Beurteilung der richtigen Herstellung von durch Handarbeit erzeugten Probekörpern zu bieten, ist die Dichte der Probekörper sofort nach ihrer Herstellung zu erheben und deren Durchschnittsziffer sowohl bezüglich der Druckprobekörper, als auch der Zugprobekörper den Versuchsergebnissen beizufügen.

## c) Herstellung von Zugprobekörpern durch Handarbeit.

Bei mittel und langsam bindenden Romanzementen sind drei Probekörper gleichzeitig, bei rasch bindenden jedoch ist jeder Probekörper separat herzustellen.

Für je drei Stück gleichzeitig anzufertigender Probekörper werden 150 g Romanzement mit 450 g Normalsand in einer Schüssel gut durcheinander gemengt und sodann mit reinem Wasser angerührt. Die Wassermenge soll so gewählt werden, daß der Mörtel das Aussehen von frisch gegrabener Gartenerde hat. Mit dem so erhaltenen Mörtel werden drei auf einer Metall- oder starken Glasplatte liegende Formen auf einmal so hoch gefüllt, daß sie stark gewölbt voll werden. Man schlägt nun mittelst eines eisernen, 35 cm langen Spatels, dessen Schlagfläche 5 cm breit, 8 cm lang und 0,5 cm dick ist, und dessen Gesamtgewicht 350 g beträgt, den überstehenden Mörtel anfangs schwach und von der Seite her, dann immer stärker so lange in die Formen ein, bis an seiner Oberfläche Feuchtigkeit ausschwißt.

Ein bis zu diesem Zeitpunkte fortgesetztes Einschlagen, das zirka eine Minute dauert, ist unbedingt erforderlich. Man streicht nun den die Formen überragenden Mörtel mit einem Messer ab und glättet mit demselben die Oberfläche.

Nach vollendetem Abbinden des Mörtels werden die Formen vorsichtig von den Probekörpern abgelöst.

## d) Anfertigung der Probekörper aus reinem Romanzement.

Zugprobekörper aus reinem Romanzement können entweder maschinell, mit Handarbeit oder in gußgerechter Konsistenz hergestellt werden.

Die Herstellung der Druckprobekörper darf nur mit maschineller Arbeit erfolgen. Bei Herstellung der Zug- und Druckprobekörper mit maschineller Arbeit wird ganz so verfahren, wie bei der Herstellung der Probekörper in normaler Mörtelmischung. Der erforderliche, jedesmal zu ermittelnde Wasserzusatz wird hier ebenso bestimmt, wie dort angegeben.

Die Herstellung von Zugprobekörpern mittelst Handarbeit geschieht unter Beobachtung der Vorschriften für die Herstellung der Zugprobekörper in normaler Mörtelkonsistenz. Die Herstellung der Zugprobekörper in gußgerechter Konsistenz geschieht in folgender Weise:

Man fettet drei Formen auf der Innenseite etwas ein und setzt dieselben auf eine Metall- oder Glasplatte. Sodann mischt man 600 g Romanzement mit jener Wassermenge, die für die Herstellung einer gußgerechten Konsistenz erforderlich ist, was durch Zugabe von 1 % Wasser über die zur Normalkonsistenz nötige Wassermenge erreicht wird, rührt die Masse unter entsprechender



Rückfichtnahme auf den Erhärtungsbeginn 1 bis zu 3 Minuten gut durch, füllt die Formen voll und streicht dieselben mit einem Messer sauber ab.

Die Formen dürfen erst abgelöst werden, wenn der Romanzement genügend erhärtet ist.

### 2. Aufbewahrung der Probekörper.

Nach der Anfertigung sind die Probekörper die ersten 24 Stunden an der Luft, und zwar, um sie vor ungleichmäßiger Austrocknung zu schützen, in einem geschlossenen, feucht gehaltenen Raume, die übrige Zeit aber, bis unmittelbar vor Abführung der Proben, unter Wasser aufzubewahren.

Das Wasser, in welchem dieselben erhärten, ist in den ersten vier Wochen alle acht Tage zu erneuern, und ist darauf zu achten, daß die Probekörper immer vom Wasser bedeckt sind. Bei Proben, welche über diese Zeit hinaus aufbewahrt werden, genügt es, das durch Verdunstung verloren gegangene Wasser von Zeit zu Zeit durch frisches Wasser zu ersetzen, so daß die Proben immer vollständig unter der Wasseroberfläche bleiben.

### 3. Vornahme der Festigkeitsproben.

Die Probekörper sind sofort nach der Entnahme aus dem Wasser zu prüfen. Für jede Altersklasse sind sowohl die Druck-, als die Zugfestigkeit stets an je sechs Probekörpern zu bestimmen.

Da die Dauer der Belastung bei der Zugprobe von Einfluß auf das Resultat ist, so soll bei der Prüfung auf Zugfestigkeit die Zunahme der Belastung während des Versuches 100 g pro Sekunde betragen.

Bei dem Einspannen der Probekörper ist darauf zu achten, daß der Zug genau in einer zur Bruchfläche senkrechten Richtung stattfindet.

Bei der Prüfung auf Druckfestigkeit soll, um einheitliche Resultate zu erzielen, der Druck stets auf zwei Seitenflächen der Würfel (im Sinne der Erzeugung) ausgeübt werden, nicht aber auf die Bodenfläche und die bearbeitete obere Fläche.

---

In Streitfällen über die Handhabung dieser Prüfungsbestimmungen ist das in der „Prüfungsanstalt für hydraulische Bindemittel“ der Stadt Wien angewendete Verfahren maßgebend.

## Schweiz.

### Normen für eine einheitliche Benennung, Klassifikation und Prüfung der hydraulischen Bindemittel<sup>1)</sup>.

#### 1. Einheitliche Benennung der zur Mörtelbereitung dienenden Bindemittel.

##### I. Luftkalk. (Chaux grasse.)

Luftkalk sind Erzeugnisse, gewonnen durch Brennen von Kalksteinen. Nach örtlichen Verhältnissen werden die Luftkalk in Stückform, oder hydratisiert in Pulverform in den Handel gebracht.

##### Bemerkungen.

Alle gar gebrannten, kristallinisch körnigen oder dichten Kalksteine, die beim Löschen unter erheblicher Wärmeentwicklung und Raumvergrößerung (Gedeihen) in ein mehlig weiches Pulver (Kalkhydrat) zerfallen, liefern Luftkalk.

Beim Löschen geht der Kalk zunächst in pulverförmiges Kalkhydrat (Trockenlöschverfahren), bei weiterer Wasserzufuhr in einen Brei über (Naßlöschverfahren). Durch noch weiteren Wasserzusatz wird Kalkmilch erzeugt.

Vor der Verwendung ist Kalkbrei einzusumpfen, damit un-aufgeschlossene Teilchen sich nachträglich lösen und zerfallen können.

Der Kalkbrei wird dadurch gleichmäßiger, dichter, geschmeidiger und vor allem zuverlässiger; eingesumpfter Luftkalkbrei verliert die Tendenz, sich nachträglich zu lösen und treibrissig zu werden.

Durch das Trockenlöschverfahren wird Kalkhydrat in Pulverform erzeugt. Auch als Nebenprodukt bei der Fabrikation des hydraulischen Kalkes nach dem Separationsverfahren wird ein mehr oder weniger magerer, pulverförmiger Luftkalk gewonnen. Die nach örtlichen Verhältnissen in wechselnden Mengen vorhandenen hydraulischen Bestandteile steigern die an sich vorteilhafte Verwendung des pulverförmigen Luftkalkes im Hochbauwesen.

Der Luftmörtel erhärtet in feuchtem Zustande durch Aufnahme von Kohlensäure der Luft allmählich fortschreitend von außen nach innen. Im Wasser löst sich der Luftkalk auf.

<sup>1)</sup> Herausgegeben von der Schweiz. Materialprüfungsanstalt in Zürich im Dezember 1900. Beraten und genehmigt vom Verein Schweiz. Zement-, Kalk- und Gipsfabrikanten in der Generalversammlung zu Freiburg am 24. August 1901. Beraten und genehmigt vom Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein am 25. August 1901. (Mit einer Änderung vom März 1905.)



## II. Hydraulische Kalke. (Chaux hydraulique.)

Hydraulische Kalke sind Erzeugnisse, welche aus Kalkmergeln oder Kieselkalen durch Brennen unterhalb der Sintergrenze, darauffolgende Hydratisierung und Zerkleinerung auf Mehlfleinheit gewonnen werden.

Nach örtlichen Verhältnissen können hydraulische Kalke auch in Stückform in den Handel gebracht werden.

### Bemerkungen.

Vor eintretender Verschlackung der Oberfläche gar gebrannte Kalkmergel oder Kieselkalke, die beim Trocknlöschchen unter mäßiger Wärmeentwicklung und mäßigem Gedeihen teilweise oder ganz zu Pulver zerfallen, liefern hydraulische Kalke.

Beim Ablöschchen des gebrannten Materials wird der freie Kalk in pulverförmiges Kalkhydrat verwandelt, welchem je nach chemisch-physikalischer Beschaffenheit des Rohmaterials und Ausfall des Brandes auch die hydraulischen Bestandteile ganz oder teilweise beigemischt sind. Häufig bleibt ein Teil der letzteren in größeren Stücken zurück; die Löschprodukte solcher Kalke müssen sodann auf geeigneten Mahlvorrichtungen zerkleinert werden.

Hydraulische Kalke, die beim Ablöschchen bloß teilweise zerfallen, sollten in Stückform nicht in den Handel gebracht werden.

Der pulverförmige hydraulische Kalk ist erdig-körnig, hellgelblich mit Übergängen ins Graue oder Rötlichbraune. Angemacht erwärmt sich der hydraulische Kalk nicht; er bindet stets langsam, oft erst nach Ablauf von 24 und mehr Stunden ab und besitzt die Eigenschaft, bei mit der Zeit wachsender Festigkeit an der Luft wie unter Wasser raumbeständig zu sein. Das spezifische Gewicht des hydraulischen Kalkes liegt meistens unter 2.9; sein Glühverlust steigt in der Regel über 8%.

Hydraulischer Kalk kann zu langsam fortschreitenden Luft- und Wasserbauten, die weder eine hohe Anfangs- und Endfestigkeit, noch Frostbeständigkeit in den ersten Phasen der Versteinerung erfordern, verwendet werden. Zu Wasserbauten soll hydraulischer Kalk nur dann zugelassen werden, wenn der Einwirkung des Wassers eine angemessene lange Lufterhärtung vorausgeht.

## III. Romanzemente. (Ciment romain.)

Romanzemente sind Erzeugnisse, welche aus tonreichen Kalkmergeln durch Brennen unterhalb der Sintergrenze und darauffolgende Zerkleinerung auf Mehlfleinheit gewonnen werden.

### Bemerkungen.

Vor eintretender Sinterung, bzw. vor eintretender Verschlackung gar gebrannte Kalkmergel bestimmter chemisch-physikalischer Beschaffenheit geben Romanzemente. Der Einwirkung der Atmosphärrillen ausgesetzt oder mit Wasser benetzt, zerfällt das ge-

brannte Material nicht oder doch nur teilweise, muß daher stets auf geeigneten Mahlvorrichtungen zerkleinert werden. Das Mahlgut ist erdig-körnig; die Farbe gelblich, mit Abstufungen ins Rötlichbraune. Ungemacht erwärmt sich der Romanzement je nach Beschaffenheit des Rohmaterials, Behandlung der gebrannten Steine, Dauer der Lagerung u. dergl. m. verschieden. Ebenso variieren seine Abbindeverhältnisse; meist beginnt die Erhärtung der Romanzemente schon nach wenigen Minuten.

Romanzemente müssen an der Luft, wie unter Wasser raumbeständig sein. Das spezifische Gewicht der Romanzemente variiert und steigt nur ausnahmsweise über 3.0, der Glühverlust selten über 5%.

Romanzemente können zu rasch fortschreitenden Luft- und Wasserbauten, insbesondere dort, wo es sich um Dichten, Trockenlegen und rasche Formgebung, in zweiter Linie um Festigkeit handelt, Verwendung finden.

#### IV. Portlandzemente. (Ciment Portland.)

Portlandzemente sind Erzeugnisse, welche aus Kalkmergeln oder künstlichen Mischungen ton- und kalkhaltiger Materialien durch Sinterung im Feuer und darauf folgende Zerkleinerung auf Mehlsfeinheit gewonnen werden.

Zur Regulierung technisch wichtiger Eigenschaften der Portlandzemente ist ein Zusatz fremder Stoffe bis zu 2% des Gewichtes ohne Änderung des Namens zulässig.

#### Bemerkungen.

Bei durchgreifender Sinterung gar gebrannte Kalkmergel oder künstliche Mischungen ton- und kalkhaltiger Materialien bestimmter Zusammensetzung geben Portlandzement.

Zemente dieser Kategorie, welche ohne weitere Aufbereitung des Rohmaterials, also direkt durch Brennen geeigneter Kalkmergel erzeugt werden, nennt man natürliche Portlandzemente. Sie unterscheiden sich nur insofern von den sog. künstlichen Portlandzementen, als bei diesen die Rohmaterialkomponenten in entsprechend zerkleinertem Zustande einem künstlichen Mischprozesse unterworfen werden.

Unter Einwirkung der Atmosphärlinien oder direkt mit Wasser benetzt, zerfällt das Ofengut (der Klinker) normaler Zusammensetzung nicht; dasselbe muß daher stets auf geeigneten Mahlvorrichtungen zerkleinert werden. Das Mahlgut ist ausgesprochen scharfkörnig, grau mit Übergängen ins Grüne oder Gelbliche. Ungemacht erwärmt sich der Portlandzement meist nur unbedeutend, bindet nach Umständen rasch oder langsam ab und soll bei hervorragender, mit der Zeit wachsender Selbst- und Sandfestigkeit an der Luft wie unter Wasser dauernd raumbeständig sein.



Das spezifische Gewicht des scharf gefinterten Portlandzementes beträgt in der Regel mehr als 3·10, sein Glühverlust liegt meist unter 2<sup>0</sup>/<sub>100</sub>. Portlandzemente von schwachem Garbrand, gemahlen aus längere Zeit gelagerten oder hydratisierten Klinkern, besitzen bei einem bis 4<sup>0</sup>/<sub>100</sub> steigenden Glühverlust ein spezifisches Gewicht von unter 3·10.

Portlandzemente sind zu allen Bauten unter Wasser oder an der Luft, insbesondere aber bei solchen Konstruktionen zu verwenden, die eine möglichst hohe Anfangsenergie, Frost- und Wetterbeständigkeit in der ersten Phase der Erhärtung, oder die ein besonderes Maß von Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Abnutzung fordern. Bei Wasserbauten ist, wo immer möglich, dafür zu sorgen, daß der Portlandzement abgebunden sei, bevor derselbe der Einwirkung des Wassers ausgesetzt wird. Umgekehrt ist bei Luftbauten ein gleichmäßiges Feuchthalten der Konstruktion in der ersten Periode der Erhärtung des Portlandzementes unerlässlich, soll die Kraftentfaltung des Zementes keinen Abbruch erleiden.

#### V. Hydraulische Zuschläge. (Puzzolanen; Gangue hydraulique.)

Hydraulische Zuschläge sind künstliche oder natürliche Stoffe, welche nur ausnahmsweise selbständig erhärten. Sie besitzen die Eigenschaft, in Berührung mit Kalk hydraulisch zu versteinern.

#### Bemerkungen.

Zu den hydraulischen Zuschlägen gehört eine Reihe jüngerer Eruptivgesteine, so: der aus vulkanischem Tuffgestein (Traßstein) erzeugte Traß, die Puzzolan- oder Santorinerde, der Paperino, ferner die basischen Hochofenschlacken, gebrannte Tone und andere Tonerde- und Kieselsäurepräparate.

#### VI. Puzzolanemente. (Ciment pouzzolane.)

Puzzolanemente sind Erzeugnisse, welche durch Mischung pulverförmiger Kalkhydrate oder hydraulischer Kalk mit staubfein zerkleinerten hydraulischen Zuschlägen gewonnen werden.

#### Bemerkungen.

Gemenge staubfein zerkleinerter hydraulischer Zuschläge mit pulverförmigem Kalkhydrat oder hydraulischem Kalk können hydraulische Mörtelbildner geben, welche, je nach Beschaffenheit des Zuschlagmaterials, die technisch wichtigen Eigenschaften der wertvollsten Zemente erreichen.

Zemente dieser Kategorie sind unter Angabe des verwendeten Grundstoffes, also z. B. als „Schlackenzement, Traßzement“ usw. zu bezeichnen.

Entsprechend fabrizierte Puzzolanemente verlieren die sandig-erdige Beschaffenheit ihrer Komponenten; sie werden mehlig weich. Die Naturfarbe der Puzzolanemente entspricht der Farbe des ver-

wendeten hydraulischen Zuschlages. Ungemacht erwärmen sich Puzzolanzemente nicht und binden langsam ab. Puzzolanzemente müssen unter Wasser raumbeständig sein; an der Luft besitzen sie oft weitgehende Neigung zur Trocken- oder Schwundrissigkeit.

Die Schlackenzemente, als die einzige, derzeit fabrikmäßig erzeugte Spezies der Puzzolanzemente sind zu allen langsam fortschreitenden Arbeiten unter Wasser oder in feuchter Atmosphäre brauchbar, welche keine hohe Anfangsfestigkeit des Bindemittels fordern. Ähnlich dem Traßmörtel eignen sich gute Schlackenzemente infolge der geringfügigen Schlamm- bildung insbesondere zur Betonage im Wasser. An der Luft werden sie in der Regel stark schwundrissig und verlieren an Kraft. Zu Konstruktionen an der Luft, die der mechanischen Abnutzung unterworfen sind, sind Schlackenzemente nicht geeignet.

Das spezifische Gewicht der Schlackenzemente liegt meist unter 2.8; der Glühverlust schwankt zwischen 4 und 10%.

#### VII. Gemischte Zemente. (Ciment mixte.)

Gemischte Zemente sind Erzeugnisse, welche durch Vermahlung von Portlandklinkern oder maschinelle Mischung fertiger Zemente mit Zuschlägen gewonnen werden.

#### Bemerkungen.

Zur Steigerung der Geschmeidigkeit, der Adhäsion, der Wasser- undurchlässigkeit, der Sandkapazität, bezw. zur fabrikmäßigen Darstellung zuverlässiger, qualitativ ausreichender und wohlfeiler Bindemittel für spezielle Zwecke, können Zementen irgendwelcher Art fabrikmäßig fremdartige, doch zweckentsprechend gewählte Stoffe zugemischt werden.

Bindemittel dieser Kategorie sind mit besonderen Namen ausdrücklich als gemischter Zement zu benennen und zu fakturieren.

## 2. Einheitliche Bestimmungen für die Lieferung und Prüfung hydraulischer Bindemittel.

### I. Benennung.

Gemäß der einheitlichen Nomenklatur sind die hydraulischen Bindemittel folgendermaßen in den Handel zu setzen:

1. Hydraulischer Kalk (Chaux hydraulique).
2. Romazement (Ciment romain).
3. Portlandzement (Ciment Portland).

Zementfabrikanten, welche Romazemente mit verschiedener Bindezeit fabrizieren, sind verpflichtet, dieselben durch geeignete Marken auf der Packung kenntlich zu machen.

4. Hydraulische Zuschläge (Puzzolanen; Gangue hydraulique).  
Hierher gehören:



Der Steintraß (gemahlener Traßstein),  
 die Puzzolanerde (Pouzzolane),  
 die Santorinerde (Terre de Santorin),  
 die basischen Hochofenschlacken (Laitier des hauts fourneaux) usw.  
 diverse Silikate mit verbindungs-fähiger Kieselsäure usw.

5. Schlackenzement (Ciment de laitier),  
 als die einzige derzeitig fabrikmäßig erzeugte Sorte der Puzzolan-  
 zemente (Ciment de pouzzolane).

6. Gemischte Zemente (Ciment mixte).  
 Gemischter Portland, wie Paudézite, Rochit, Betonit u. a. m.

## II. Verpackung und Gewicht.

Sämtliche hydraulischen Bindemittel sind in Säcken verpackt  
 mit Preisstellung für 100 kg in den Handel zu bringen.

Das Bruttogewicht eines Sackes soll 50 kg betragen. Wird  
 ein hydraulisches Bindemittel ausnahmsweise in anderer Weise  
 verpackt, so muß auf der Verpackung das Bruttogewicht durch  
 deutliche Aufschrift kenntlich gemacht werden.

Streuverluste, sowie etwaige Schwankungen im Einzelgewichte  
 können bis zu 2% nicht beanstandet werden.

Die Packung erhält die Firma der Fabrik und die Fabrik-  
 marke der Ware. Die Säcke mit Zement sind auf Verlangen zu  
 plombieren.

### Bemerkungen.

Die einheitliche Verpackung der hydraulischen Bindemittel  
 ist ein allgemein anerkanntes Bedürfnis und sollten, belangreiche  
 Ausnahmefälle ausgeschlossen, vorstehende Bestimmungen einge-  
 halten werden. Das angenommene Sackgewicht entspricht dem bis-  
 herigen Gebrauch und bilden:

$$200 \text{ Sack} = 50 \text{ Faß} = 10\,000 \text{ kg}$$

eine Waggonladung.

## III. Abbindeverhältnisse.

Die im Handel vorkommenden hydraulischen Bindemittel  
 sind rasch, mittel oder langsambindend.

Hydraulische Bindemittel, bei welchen Erhärtungsbeginn und  
 Bindezeit rasch aufeinander folgen und der Abbindeprozeß inner-  
 halb 30 Minuten beendet ist, sind als Raschbinder zu be-  
 zeichnen; fordert der Verlauf des Abbindeprozesses mehr als  
 3 Stunden, so gilt das Bindemittel als langsam bindend.  
 Zwischen den Rasch- und Langsambindern reihen die sogenannten  
 Mittelbinder.

### Bemerkungen.

Zur Ermittlung der Abbindeverhältnisse eines hydraulischen  
 Bindemittels dient eine 300 g schwere Normalnadel mit 1 mm<sup>2</sup> Quer-  
 schnittsfläche. Man rühre 400 g des zu prüfenden Bindemittels  
 mit der vorangehend bestimmten, der normalen Breikonsistenz ent-

sprechenden Wassermenge zu einem steifen Brei, arbeite diesen mittelst eines Löffelartigen Spatels und zwar

bei Langsam- und Halblangsambindern 3 Minuten,  
bei Raschbindern . . . . . 1 Minute lang

kräftig durch, fülle damit die auf eine Glasplatte gelegte Dose (Ring) des Nadelapparates, bringe diese sodann unter die Nadel und beobachte den Moment, wo die Nadel den erstarrenden Brei nicht mehr gänzlich zu durchdringen vermag. Der Moment, in welchem die Nadel den Kuchen nicht mehr zu durchdringen vermag, gilt als der „Erhärtungsbeginn“. Der Erhärtungsbeginn eines hydraulischen Bindemittels ist für Raschbinder deshalb von ausschlaggebender Bedeutung, weil dieses vor Eintritt des Erhärtungsbeginnes verarbeitet sein soll, sofern die Kraftentfaltung des Bindemittels keinen Abbruch erleiden soll; für Mittel- und Langsambinder ist der Erhärtungsbeginn für die Verarbeitung und die schließliche Kraftentfaltung nicht mehr entscheidend, sondern lediglich die Bindezeit.

Jedes Bindemittel kann als abgebunden betrachtet werden, sobald die Erhärtung so weit vorgeschritten ist, daß die Normalnadel auf der mehr oder weniger schlammfreien Rückseite des Kuchens keinen Eindruck mehr hinterläßt. Die hierzu erforderliche Zeit heißt „Bindezeit“.

Zur Bestimmung der normalen Breikonstanz eines hydraulischen Bindemittels dient der gleiche Nadelapparat, nachdem dessen Nadel durch einen metallischen Zylinder von 1 cm Schaftstärke ersetzt und das Gewicht des Pistons auf 300 g gebracht wurde. Die Dose, in welche der auf seine Konsistenz zu prüfende Brei des hydraulischen Bindemittels gestrichen wird, entspricht derjenigen des Nadelapparates; sie soll aus Hartgummi hergestellt, 4 cm hoch und 8 cm weit sein.

Zur Bestimmung der Normalkonsistenz eines hydraulischen Bindemittels rühre man 400 g desselben, ähnlich wie bei den Abbindeversuchen, mit einer angenommenen Wassermenge zu einem steifen Brei und fülle damit, ohne zu rütteln, die Dose des Apparates. Nach erfolgtem Abstrich der Breioberfläche wird der Zylinder des Konsistenzmessers behutsam in den Brei abgelassen. Bleibt der Zylinder ca. 3—5 mm über der Bodenfläche der Dose stecken, so ist die Breikonstanz als normal anzusehen.

Da der Bindeprouzess der hydraulischen Bindemittel von der Luft und der Temperatur des Umwasserters insofern abhängig ist, als höhere oder niedrigere Temperaturen das Abbinden beschleunigen, resp. verzögern, so sollten die Versuche bei einer mittleren Luft- und Wassertemperatur von +15° C vorgenommen werden. Wo dies nicht möglich ist, müssen die Temperaturverhältnisse in Berücksichtigung gezogen und jeweiligen angegeben werden.



## IV. Raumbeständigkeit.

Hydraulische Bindemittel sollen bei Erhärtung an der Luft wie unter Wasser raumbeständig sein.

## Bemerkungen.

Die Prüfung der Raumbeständigkeitsverhältnisse eines hydraulischen Bindemittels hat zu erfolgen:

1. durch eine Kaltwasserprobe mit maßgebendem Charakter in allen Fällen der Anwendung des Bindemittels in Wasser, feuchtem Baugrund oder feuchter Luft;

2. durch eine Warmwasserprobe als beschleunigte Probe mit maßgebendem Charakter in allen Fällen der Anwendung des Bindemittels in trockener Luft (ausschließlich trockene Lufterhärtung).

Hat ein Bindemittel die beschleunigte Warmwasserprobe tadellos bestanden, so ist das Bindemittel überhaupt als raumfest anzusehen; die Kaltwasserprobe ist überflüssig. War dagegen das Verhalten des Bindemittels in der Warmwasserprobe ein zweifelhaftes oder ein schlechtes, so ist dasselbe bei Bauausführungen mit ausschließlicher Lufterhärtung auszuschließen. Ob das Material für Wasserbauten, für Bauausführungen in feuchtem Boden oder in feuchter Luft zugelassen werden kann, entscheidet sein Verhalten in der Kaltwasserprobe.

Die Kaltwasserprobe wird an zwei gleichzeitig hergestellten Kuchen von zirka 12 cm Durchmesser, 1,5 cm mittlerer Dicke, ohne scharf auslaufende Ränder, ausgeführt. In den Warmwasserproben finden kugelförmige Körper von zirka 4 bis 5 cm Durchmesser Verwendung.

Zur Erzeugung der Probekörper der Raumbeständigkeit rühre man das zu prüfende Bindemittel ohne Sandzusatz mit einer Wassermenge gleich der um 1 % abgeminderten Wassermenge der Normkonsistenz zu einem steifen Brei, forme denselben in der flachen Hand zu kugelförmigen Körpern von 4 bis 5 cm Durchmesser aus. Zwei solcher Kugeln breite man auf einer ebenen Glas- oder Metallplatte zu Kuchen mit den oben angegebenen Dimensionen aus und bewahre diese sowie die beiden anderen Kugeln zur Verhinderung eines vorzeitigen Wasserverlustes durch Luftzug oder Einwirkung der Sonnenstrahlen bis zur Zeit der Probevornahme in einem feuchten Gefäße oder Schranke auf.

Nach Verfluß von 24 Stunden bei Zementen, nach  $3 \times 24$  Stunden bei hydraulischen Kalken, unter allen Umständen nach erfolgter Abbindung des Materials werden die Probekörper von ihren Unterlagen abgelöst und gelangen: die kuchenförmigen Probekörper in ein Wasserbad von Lufttemperatur und verbleiben darin unter zeitweiser Untersuchung ihres Zustandes mindestens 10 Tage lang; die kugelförmigen Probekörper in ein Wasserbad von Lufttemperatur, welches bei Portlandzementen allmählich auf Siede-

temperatur, bei den übrigen Bindemitteln auf  $50^{\circ}\text{C}$  erhitzt wird. Das Erwärmen des Wassers hat derart zu geschehen, daß nach Verfluß einer Stunde die vorgeschriebene Temperatur erreicht wird. Dauer der Warmwassereinwirkung 3 Stunden. Nach Verfluß dieser Zeit werden die Probekörper aus den Wasserbädern gehoben und ihr Zustand festgestellt.

Zeigen die Kaltwasserproben Verkrümmungen oder gegen die Ränder hin sich erweiternde Kantenrisse radialer Richtung, so deutet dies unzweifelhaft auf Treiben (Kalk- oder Gipsreiben) des Bindemittels hin.

Sind die Warmwasserproben zerfallen oder rissig, bröcklig mit mürber, zerreiblicher Materialbeschaffenheit, so deutet dies auf Unwesenheit schädlicher Mengen nachlöschfähiger Teilchen und sind Bindemittel dieser Art von der Verwendung zu Bauausführungen mit ausschließlicher Luftlagerung auszuschließen.

#### V. Feinheit der Mahlung.

Die hydraulischen Bindemittel sollen entsprechend fein gemahlen sein. Auf einem Sieb von 900 Maschen pro  $\text{cm}^2$  darf

der hydraulische Kalk	nicht	mehr als	15 %
der Romanzement	"	"	15 "
die gemischten Zemente	"	"	10 "
der Schlackenzement	"	"	1 "
der Portlandzement	"	"	5 "

zurücklassen.

Die Drahtstärke des Siebes von 900 Maschen soll  $0.1\text{ mm}$  betragen.

#### Bemerkungen.

Da die hydraulischen Bindemittel hauptsächlich mit Sand und Kies verarbeitet werden, die Sandfestigkeit (insbesondere die Anfangsfestigkeit), Adhäsion und Wasserundurchlässigkeit mit der Feinheit der Mahlung wächst, ist eine möglichst feine Mahlung der hydraulischen Bindemittel anzustreben und die Feinheit derselben einheitlich zu kontrollieren.

Schlackenzemente können am 900ter Sieb schuppenartige Rückstände ergeben. Diese sind am Siebtuch durch Fingerdruck zu zerreiben und bloß die festen, sandigen Körnchen als Siebrückstand zu behandeln.

Siebversuche sind stets doppelt auszuführen und hierbei je  $50\text{ g}$  des zu prüfenden Bindemittels zu verwenden.

#### VI. Festigkeitsverhältnisse<sup>1)</sup>.

Die Bindekraft hydraulischer Bindemittel soll durch Prüfung der Festigkeitsverhältnisse einer Mischung mit Sand ermittelt

<sup>1)</sup> Bemerkung. Die in den vorliegenden schweizerischen Normen vorgeschriebene sechstägige Warmwasserbadprobe zur vorläufigen Orien-





Die maßgebende, wertbestimmende Probe ist die Druckprobe; sie wird an Würfeln mit 7 cm Kantenlänge vorgenommen.

Sämtliche Probekörper der Sandfestigkeit eines hydraulischen Bindemittels sind prinzipiell in gleicher Konsistenz mit derjenigen Wassermenge und in derjenigen Dichte zu erzeugen, welche sich beim Einrammen von 800 g trockener Mörtelsubstanz durch 160 Schläge eines Fallgewichtes von 3 kg aus 0.50 m Höhe ergibt.

Von jedem Bindemittel sind die erforderlichen Probekörper für zwei Altersklassen anzufertigen.

Zur Erzielung zuverlässiger Durchschnittswerte sind für jede Altersklasse der Zug- oder Druckprobe sechs Probekörper zu verwenden. Von den gewonnenen Festigkeitszahlen werden die beiden kleinsten gestrichen. Das Mittel aus den vier verbleibenden Versuchsergebnissen ist als maßgebender Durchschnitt anzusehen.

Mit Ausnahme der hydraulischen Kalke, welche eine 3 × 24-stündige, feuchte Luftlagerung durchzumachen haben, gelangen die Probekörper der Zug- und Druckfestigkeit sämtlicher hydraulischer Bindemittel unmittelbar nach ihrer Erzeugung für die Dauer von 24 Stunden zum Schutze gegen Zugluft und die Einwirkung der Sonnenstrahlen in einen geschützten, feuchtgehaltenen Schrank.

Zur vorläufigen Orientierung über die Kraftentfaltung hydraulischer Bindemittel wird die sechstägige Warmwasserprobe ausgeführt.

Als maßgebende Probe für sämtliche Bindemittel gilt die 28 Tagprobe, Kaltwasserlagerung (zirka 15° C).

Das Wasser, in welchem die Proben erhärten, ist im Falle von Warmbädern alle 3 Tage, im Falle von Kaltwasserbädern alle 7 Tage durch frisches von vorgeschriebener Temperatur zu erneuern.

### Bemerkungen.

Die Prüfung der Festigkeitsverhältnisse hydraulischer Bindemittel nach den Normen bezweckt nicht die Gewinnung von Koeffizienten für das Baugewerbe; sie hat lediglich nur ein zuverlässiges Zahlenmaterial zur Vergleichung der allgemeinen Eigenschaften und der Kraftentfaltung eines Bindemittels gegenüber einem anderen gleicher Kategorie zu liefern.

Die Bindekraft der hydraulischen Bindemittel soll an Gemengen mit Sand erprobt werden. Es wird allgemein angenommen, daß das Mischungsverhältnis von 1:3, in Gewichtsteilen, die Bindekraft der unterschiedlichen Bindemittel in ausreichendem Maße zum Ausdruck bringt.

Mit Rücksicht auf die charakteristischen Unterschiede, die die Selbstfestigkeit der verschiedenen hydraulischen Bindemittel zeigt, empfiehlt es sich, neben der maßgebenden Sandfestigkeit auch diese zu bestimmen.

Erfahrungsgemäß übt die Sandqualität einen bedeutenden Einfluß auf die Festigkeitsverhältnisse des Mörtels aus. Es ist



daher nötig, daß bei vergleichenden Versuchen der gleiche Sand, der sogenannte schweizerische Normalsand, verwendet werde.

Als laufende Qualitätsprobe, als Kontrollprobe für die gleichmäßige Fabrikation und Lieferung hydraulischer Bindemittel genügt die Zugprobe. Da indes das Verhältnis von Zug zu Druck mit dem Materiale, der Sandqualität, der Dichte der Probeförper, selbst bei gleicher Erhärtungsdauer, sich ändert, ist es nötig, bei allen wertbestimmenden Prüfungen hydraulischer Bindemittel neben der Zug- auch die Druckprobe auszuführen.

Die Probeförper der Zugfestigkeit können von Hand oder mittelst des Klebeschen Rammapparates erzeugt werden. Bei Versuchen, die lediglich eine Kontrolle der Gleichmäßigkeit von Lieferungen bezwecken, ist die Erzeugung der Probeförper von Hand ausreichend; man hat bloß dafür zu sorgen, daß Normalsand, entsprechende Wassermengen, die nämlichen Gerätschaften und zur Erzeugung der Proben der gleiche Arbeiter verwendet werden. Sofern für das zu prüfende Material die Menge des Anmachwassers nicht speziell bestimmt oder angegeben wird, empfiehlt es sich, den Wasserzusatz:

für hydraulische Kasse . . . . .	zu 12 %
„ Romanzemente . . . . .	„ 11 „
„ gemischte Zemente . . . . .	„ 10 „
„ Schlackenzemente . . . . .	„ 10 „
„ Portlandzemente . . . . .	„ 9 „

des Gewichtes der trockenen Mörtelsubstanz anzunehmen. Für alle Fälle ist der Wasserzusatz derart zu bemessen, daß erst nach zirka eine Minute langem fortgesetztem Einschlagen der Zugprobe von Hand der Mörtel elastisch wird und eine ausgesprochene Wasserabsonderung (Beginn der Zementschlammabsonderung) eintritt.

In Streitfällen, sowie bei amtlichen Prüfungen, hat die Ermittlung der erforderlichen Wassermenge und die Erzeugung der Probeförper maschinell zu erfolgen.

Die Probeförper der Druckfestigkeit sind mit Rücksicht auf die Schwierigkeit der Verarbeitung des Materials in gleicher Dichte stets maschinell zu erzeugen. Die Bestimmung der hierbei zu verwendenden Wassermenge basiert auf dem Prinzipie gleicher Mörtelkonsistenz und ist folgendermaßen zu ermitteln:

800 g Mörtelsubstanz (1 : 3) werden zunächst trocken gemengt, sodann mit einer vorläufig angenommenen Wassermenge gleichmäßig angefeuchtet und bei Mittel- und Langsambindern 3 Minuten, bei Raschbindern 1 Minute lang durchgearbeitet. Der so gewonnene Mörtel wird auf einmal in die Büchse des Rammapparates gefüllt und durch 160 Schläge eines Fallgewichtes von 3 kg Gewicht aus 0.50 m Höhe komprimiert. Nach dem letzten Schläge wird der sich ergebende Körper ausgeschält und sein Feuchtigkeitsgrad geprüft. Die Wassermenge ist als korrekt gewählt anzusehen, wenn die charakteristische Wasserabsonderung zwischen dem 90. und 100. Schläge des Rammapparates eintritt.

## a) Erzeugung der Probekörper von Hand.

Zur Erzeugung der Probekörper der Zugfestigkeit von Hand ist ein Spatel von 350 g Gewicht, 35 cm Gesamtlänge und 5 auf 8 cm Aufschlagfläche zu benutzen. Die gereinigten und mit Wasser etwas benetzten Formen werden auf eine widerstandsfähige Unterlage, auf eine ebene Metall- oder Glasplatte verlegt. Hierauf wird die gewogene, trockene, durchgemelte und mit der gegebenen oder vorangehend bestimmten Wassermenge gleichmäßig befeuchtete Mörtelsubstanz bei Mittel- und Langsambindern 3 Minuten, bei Raschbindern 1 Minute lang durchgearbeitet. Mit dem so gewonnenen Mörtel ist die Form der Zugkörper auf einmal so hoch anzufüllen, daß ein nachträgliches Aufbringen von Mörtel vermieden wird. Beim Einschlagen des Mörtels in die Formen wird derselbe plastisch und bald tritt auch die charakteristische Wasserabsonderung ein. Ein über den Beginn der Wasserabsonderung hinaus fortgesetztes Einschlagen der Masse ist zur Erreichung gleicher Dichte der Probekörper unbedingt nötig. Die Oberfläche des Probekörpers wird hierauf abgestrichen, geglättet und der so gewonnene Versuchskörper der Zugfestigkeit sofort aus dem Modelle geschalt. Probekörper der Druckfestigkeit beläßt man im Modell, bis der Abbindeprozeß so weit fortgeschritten ist, daß eine Formänderung des Probekörpers zuverlässig ausgeschlossen bleibt.

Bei Raschbindern fordert die Erzeugung der Versuchskörper besondere Vorsicht und Sorgfalt; ihre Herstellung muß unter allen Umständen vollendet sein, bevor der Erhärtungsbeginn des Materials eintritt.

## b) Maschinelle Erzeugung der Probekörper.

Bei maschineller Erzeugung der Probekörper werden für jeden Probekörper der Zugfestigkeit 200 g, der Druckfestigkeit 800 g des in gleicher Weise wie bei der Handarbeit behandelten Mörtels auf einmal in die bezüglichen Aufsätze der Formkasten gefüllt und im ersten Falle durch 120 Schläge eines Rammklozes von 2 kg Gewicht aus 0.25 m Höhe, im Falle der Erzeugung der Druckproben durch 160 Schläge eines Rammklozes von 3 kg Gewicht aus 0.5 m Höhe komprimiert. Unmittelbar nach dem letzten Schläge entferne man den Aufsatz des Formkastens, streiche das die Form überragende Material mit einem Messer ab, glätte die Oberfläche des Probekörpers und behandle diesen im übrigen wie bei der Handarbeit.

Unmittelbar nach dem Ausschalen der Probekörper gelangen sie auf ebenen Eisenplatten in den feuchten Schrank. Nach Verfluß der vorgeschriebenen Zeit werden die Probekörper diesem Schranke entnommen und in bereitstehende Wasserbäder von Lufttemperatur (zirka 15° C) verteilt. Eines dieser Wasserbäder behält Lufttemperatur, während die übrigen derart erwärmt werden, daß nach Verfluß von zirka 2 Stunden die vorgeschriebene Temperatur



erreicht wird. Diese beträgt bei Portlandzementen: die Siedetemperatur des Wassers; bei den übrigen Bindemitteln: 50° C.

In den Kaltwasserbädern Warmwasserbädern verbleiben die Probekörper

der Zemente:	27 Tage	6 Tage,
der hydraulischen Kalke:	25	6

Nach der Entnahme der Probekörper aus den Wasserbädern hat die Prüfung derselben unverweilt zu erfolgen.

Die allein maßgebende, 28 tägige Kaltwasserprobe wird unter allen Umständen und soll selbst in solchen Fällen ausgeführt werden, in welchen die beschleunigte, orientierende 6 tägige Warmwasserprobe ein befriedigendes Resultat ergeben hat.

Zürich, im Dezember 1900.

Für die eidg Materialprüfungsanstalt am schweiz. Polytechnikum  
in Zürich:

Der Direktor:

Prof. S. Tetmajer.

## VII.

### Das Verarbeiten des Portlandzementes im Baugewerbe.

Der Portlandzement wird zu Bauten niemals rein verwendet; sondern er wird entweder mit Sand vermengt zu gewöhnlichem Mörtel oder Fuß, oder mit Sand und nachträglich hinzugefügtem Kies oder Steinschlag verschiedener Korngrößen zu Beton verarbeitet, ferner mit Sand und Feinkies vermengt zu Flur- und Fußsteigplatten, zu Röhren, Bauzierat und anderen Gegenständen verbraucht.

Welche Festigkeiten in diesen verschiedenen Fällen das eine und andere Mal erreicht werden, das hängt nicht nur von der Beschaffenheit des Zementes, sondern auch von der sachgemäßen Verarbeitung des Zementes und von der richtigen Auswahl des Sandes, Kieses oder Steinschlages, sowie von der Art und Menge etwaiger anderer Zusätze, wie Mineralfarben für Flurplatten, ab.

Zunächst muß man also die Eigenschaften des Zementes kennen (Wasserbedarf, Bindezeit und weiteres Erhärten), damit man die Bedingungen herstellen kann, die dem Erhärten des Zementes am günstigsten sind. Ebenso aber muß man, um die größte Druckfestigkeit oder die größte Widerstandsfähigkeit gegen Abnutzung<sup>1)</sup> zu erreichen, auch darauf sehen, daß man einen reinen, möglichst rauhen Quarzsand oder einen anderen entsprechenden Sand aus ähnlichem harten Stoffe verwendet, und daß man sauberen Kies oder harten frischen Steinschlag in den pas-

<sup>1)</sup> Diese wird mit Hilfe der Böhmischen Schleifmaschine genauer ermittelt.



senden Korngrößen wählt. Die Korngrößen des für Beton zu verwendenden Kiefes oder Steinschlages sollen so ausgewählt sein, daß ihr Gemenge allein schon den mit dem Beton zu füllenden Raum möglichst vollständig, das heißt unter Belassung von möglichst kleinen Hohlräumen füllt. Diese kleinen Hohlräume soll dann die zuvor naß und durch inniges Vermengen bereitete Mischung aus Zement und Sand völlig ausfüllen<sup>1)</sup> und so die sämtlichen Steinstücke miteinander zu einer einzigen starren Masse verkitten.

Man verwendet zur Herstellung des Betons nicht mehr Wasser als gerade nötig ist, setzt aber jedenfalls den Kies oder Steinschlag erst nach gründlichem Anfeuchten zu, um nun in einer Mörtelmischmaschine nochmals gut durchzumischen. Nach dem Einbringen in die aus Brettern hergestellte Form stampft man den Beton dicht zusammen, wobei er erst allmählich auf der Oberfläche eine Absonderung von Wasser zeigen darf.

Damit die Mischung des Zementes mit dem Sande als Mauermörtel die Bruchsteine oder Ziegel und im Beton den Kies oder den Steinschlag fest verbinde, ist es erforderlich, daß die zu verbindenden Steine oder Ziegel vorher mit Wasser soweit gesättigt sind, daß sie dem Zement das zum Abbinden notwendige Wasser nicht wegsaugen. Es geschieht dies am einfachsten durch Begießen der Steine oder Ziegel vor dem Hinaufschaffen auf den Bau. Der Mörtel wird immer mit soviel Wasser angemacht, daß er noch etwas davon abgeben darf. Man vermeide jedoch, ihm mehr Wasser zuzusetzen als nötig ist.

Wo bei leichtem Frost gemauert werden muß, gibt man dem Mörtel geringe Zusätze (einige Hundertteile) von Kochsalz oder Chlorkalzium und bereitet ihn mit warmem Wasser. Denn sonst würde das Anmachwasser des Zementes gefrieren und das Abbinden einstweilen verhindern. Das Ab-

<sup>1)</sup> Soweit nicht Luftblasen im Beton bleiben oder besonders ein Überschuß von Wasser zugefetzt wurde, gelingt dieses Ausfüllen auch in bezug auf den Zustand nach dem Abbinden und Erhärten ziemlich vollkommen.

binden des Zementes darf dann aber nicht zu lange Zeit erfordern.

Immer ist darauf zu achten, daß der Zement während des Abbindens nicht abtrockne, und daß er auch nach dem Abbinden noch wochenlang feucht gehalten werde, damit er nachhärten kann. Wenn möglich, hält man ihn 4 Wochen lang feucht. Bei wagerechten Flächen geschieht das am besten durch Bedecken mit einer etwa fingerdicken Schicht Sand, die man öfter begießt. Besonders dringend nötig ist dies im Sonnenschein, überhaupt bei Hitze, und bei trockenem Winde.

In manchen Fällen müssen an den Beton oder an den Zementverputz außer den Forderungen großer Festigkeit und hinreichender Widerstandsfähigkeit gegen Abnützung noch besondere Anforderungen gestellt werden, zu deren Erfüllung eigenartige, teilweise schon bei der Herstellung des Betons oder Verputzes anzuwendende Verfahren dienen.

So kommt es vor, daß von Verputz oder Beton Wasserdichtigkeit verlangt wird. Man erzielt diese durch Zusatz von „Aquabar“<sup>1)</sup> beim Anmachen des Zementsandgemisches. Das „Aquabar“ enthält Stoffe, die mit dem vom Zement ausgeschiedenen Kalk wasserunlösliche Verbindungen eingehen, die sowohl die Poren dichten als auch wasserabstoßend wirken. Man mischt das „Aquabar“ in Menge von 1 auf 30 dem Anmachwasser zu.

Will man eine dichtere und zugleich härtere Oberfläche erzielen, so empfiehlt sich ganz besonders ein Bestreichen, das heißt Tränken der Oberfläche mit Keßlerschen Fluaten<sup>2)</sup>.

Da, wo der Zementverputz oder der Beton mit stark kohlenstoffhaltigem Wasser in dauernder Berührung ist, wie es an einigen Orten in den Sammelbehältern der Wasserwerke vorkommt, wird er durch die Kohlenstoffsäure an seiner

1) Zu beziehen von der Aquabargesellschaft, Berlin, Prinzenallee 22.

2) Bezugsquelle: Hans Hauenschild, G. m. b. H. Berlin, NW. 21, Dreyßstraße 4b.



Oberfläche zersetzt und erweicht. Solche Zerstörung schreitet unter dem Schutze der erweichten obersten Schicht von sehr geringer Dicke nur sehr langsam weiter fort; sie läßt sich aber verhüten, wenn man den gut abgebundenen Zementverputz mit einem Überzug von Inertol oder Siderosthenlubroje versieht, welche das kohlen säurehaltige Wasser von dem Zement abhalten und selbst unempfindlich gegen Wasser sind<sup>1)</sup>.

Bei Wasserbauten an der See ist außer dem Wellenschlag der chemische Angriff des Meereswassers auf den Portlandzement, wenigstens auf manchen Portlandzement, zu beachten. Dieser chemische Angriff geht hauptsächlich von der schwefelsauren Magnesia des Meereswassers aus, die mit dem Kalke des Zementes Gips bildet und nach C andlot und W. Michaelis auf dem gleichen Wege auch ein Kalksulfoaluminat ( $Al_2O_3, 3 CaO + 3 CaO SO_3 +$  mehr als  $30 H_2O$ ) entstehen läßt, welches durch Auskristallisieren unter erheblichem Ausdehnen den erhärteten Mörtel zersprengt. Um dem vorzubeugen und um auch ein Lösen von Bestandteilen des Zementes durch eindringendes Wasser zu verhindern, fertigt man den Beton — um solchen handelt es sich bei Bauten im Meere immer — so dicht als möglich an. Doch verzichtet man dabei auf sehr feinkörnige Sande, weil man mit etwas grobem Sand bessere Erfahrungen gemacht hat. Ein Zusatz von geeignetem Traß hat guten Erfolg, ist aber nicht erforderlich.

Für besondere Fälle sei hier noch angefügt, daß der abgebundene und erhärtete Portlandzementmörtel Temperaturen bis zu  $100^{\circ} C$  längere Zeit ohne Schaden aushält.

<sup>1)</sup> Zu vorstehendem sei noch hinzugefügt, daß auch Kalkstein durch das kohlen säurehaltige Wasser aufgelöst wird.

## Anhang.

### Der Erzzement

wird nach dem der Firma Fried. Krupp Grusonwerk in Magdeburg-Buckau im Jahre 1901 erteilten Deutschen Reichspatent Nr. 143 604 hergestellt und soll ein dem Portlandzement an Härte gleichender, dem Meereswasser völlig widerstehender Zement sein. Um ihm diese besonders große Widerstandsfähigkeit zu geben, stellt man ihn ohne Tonerde, statt dessen mit Eisenoxyd oder gewissen anderen Oxyden, im übrigen aber in ähnlicher Weise wie Portlandzement her. Die Tonerde schließt man hierbei aus, weil sie nach Michaëlis und nach Le Chatelier zur Bildung einer Doppelverbindung aus Kalkaluminat und Kalbsulfat Veranlassung geben kann, die den abge bundenen Zementmörtel zerstört.

Zur Gewinnung des Erzzementes soll man Kalkstein unter Zusatz von aufgeschlossener Kieselsäure oder statt dessen natürlichen kieselsäurehaltigen Kalkstein mit Brauneisenstein, Raseneisenerz oder anderen Eisenerzen oder mit Chromerzrückständen in geeignetem Verhältnis gemengt vermahlen, die Mischung mindestens bis zur Sinterung brennen usw. Auf 1 Äquivalent wassererhärtend machender Stoffe (Hydraulfaktoren) sollen 2—3 Äquivalente Kalkerde verwendet werden.

Der Zement ist hellbraun bis schokoladebraun. Seine Dichte (spezifisches Gewicht) soll größer sein als die des Portlandzementes. Er bindet langsamer ab als dieser. Mit Portlandzement läßt er sich in beliebigen Mischungen verwenden, und er verträgt auch Mischen mit Gips in jedem Verhältnis.

Im Handel ist er bisher noch nicht bekannt geworden.



## Berichtigungen.

Seite 49. Zeile 5 von oben:

statt: Eisenhochofenschlacken,

lies: basischen Eisenhochofenschlacken.

Seite 50. Zeile 12 von unten:

statt: Der Kalkstein,

lies: Der Kalkstein und der Mergel.

Seite 59. Zeile 1 von oben:

statt: kalkhaltige Tone,

lies: kalksteinhaltige Tone.

## Alphabetisches Sachregister.

### A.

Alborgofen 109.  
Abbinden 158.  
Abwägen, s. Wägen.  
Alkalien 10.  
Alkalien, Bestimmung der 68.  
Alkalien, kiesel-saure 15.  
Amöler = Laffon = Zerdrückapparat 166,  
167.  
Anfeuchtschnecke 90.  
Aquabar 229.  
Aufbereitung der Rohstoffe 80—94.  
Aufschließen 5, 12, 15, 66.

### B.

Baurischer Kohlen-säurebestimmungs-  
apparat 63.  
Bauxit 8.  
Beton 227—230.  
Bikalziumaluminat 14.  
Bikalziumsilikat 12.  
Bimsstein 5, 10.  
Bindezeit 159, 172, 181, 192, 202,  
219.  
Bindezeit des hydraulischen Kalkes 214.  
Bindezeit des Portlandzementes 215.  
Bindezeit der Puzzolan-zemente 217.  
Bindezeit des Romanzementes 215.  
Bindezeit der Schlacken-zemente 217.  
Böhmeischer Hammerapparat 164, 179.  
Brecher 114.  
Brechschnecke 116.  
Brechwalzwerk 116.  
Brennen des Portlandzementes 95 bis  
113.

### Brennöfen:

Alborgofen 109.  
Dietschofen 105.  
Drehroh-fen 111.  
Libanofen 110.  
Rii-fagerofen 110.  
Ringofen 100.  
Schachtofен 98.  
Schneiderofen 109.  
Steinscher Ofen 110.

### C.

Campiler-schichten 52.  
Cementor 124.  
Chemische Untersuchung, s. Unter-  
suchung.  
Cohrs Trockenverfahren 94.  
Cummer'scher Trockner 88, 89.

### D.

Dana-Rohrmühle 131.  
Darre 93.  
Darrprobe 161.  
Desintegrator 119.  
Diapror 8.  
Dichte des Portlandzementes 157,  
158, 180, 216.  
Dichte des Romanzementes 215.  
Dichte des Schlacken-zementes 191, 217.  
Dichte des Wasserfalkes 214.  
Dietsch'scher Etagenofen 105.  
Doppelpendelmühle 131.  
Dorfiener Presse 92.  
Drehroh-fen 111.



- Druckfestigkeit 162.  
 Druckfestigkeit, mindeste, für gemischte Zemente in der Schweiz 222.  
 Druckfestigkeit, mindeste, für Portlandzement: im Deutschen Reich 175. in Oesterreich 188. in der Schweiz 222.  
 Druckfestigkeit, mindeste, für Romanzement: in Oesterreich 208. in der Schweiz 222.  
 Druckfestigkeit, mindeste, für Schlackenzement: in Oesterreich 199. in der Schweiz 222.  
 Druckfestigkeit, mindeste, für Wasserfall in der Schweiz 222.

## E.

- Eisenoxyd 10.  
 Eisenoxyd, Bestimmung des 67.  
 Eisenoxyd und Kalk 15.  
 Eisenoxyd, kiesel-saures 15.  
 Eisenportlandzement 49.  
 Entstaubung 135.  
 Erdmenger-Mann-Apparat 158.  
 Erhärten, Ursache des 27.  
 Erwärmung durch Abbinden: bei hydraulischem Kalk 214. bei Portlandzement 215. bei Puzzolanementen 217. bei Romanzement 215. bei Schlackenzement 217.  
 Erzzement 231.  
 Etagenöfen, Diezschscher 105.

## F.

- Fabrikanlagen für Portlandzement 137.  
 Farbe des Portlandzementes 156, 180.  
 Feldspat 9.  
 Festigkeit 162.  
 Fetttalk 7.  
 Feuerstein 3, 11, 28.  
 Flintstein, s. Feuerstein.  
 Fluat, Kessler'sche 229.  
 Frost, Mauern bei 228.

## G.

- Gedeihen des Kalkes 7.  
 Gemischte Zemente, s. Mischzemente.  
 Gemischte Zemente, Prüfung, siehe Prüfung.  
 Gießzement 97.  
 Gipsstein, Zusetzen von 97.  
 Gipsstreifen 184.  
 — Prüfung auf 184, 185, 221.  
 Gipszemente 21.  
 Glattwalzwerk 116.  
 Glühverlust, Bestimmung des 69.  
 Glühverlust, Größe des, bei Portlandzement 180, 216.  
 Glühverlust, Größe des, bei Romanzement 215.  
 Glühverlust, Größe des, bei Schlackenzement 191, 217.  
 Glühverlust, Größe des bei Wasserfall 214.  
 Granit 9.  
 Griffmühle 129.  
 Grundstoffe der Wassermörtel 1.  
 Grundstoffe, Verhalten der 10.

## H.

- Halbnaßverfahren 86.  
 Hammerapparat von Böhme 164, 179.  
 Härten der Oberfläche 229.  
 Hochofenschlacke, basische 49, 155, 156, 191, 216, 218.  
 Hydratwasser 96, Anm.  
 Hydraulefaktoren 231.  
 Hydraulisch, Erklärung für 1, 2.  
 Hydraulischer Kalk, s. Wassertalk.  
 Hydraulische Mörtelstoffe, s. Wassermörtelstoffe.  
 Hydraulische Zuschläge, Begriffserklärung 2 = sonst s. Puzzolanen.  
 Hydraulizität, siehe Wassererhärtungsfähigkeit.

## I.

- Inertol 230.

**K.**

- Kalk 6.  
 Kalk und Eisenoxyd 15.  
 Kalk und Kieselsäure 10.  
 Kalk und Silikate 14.  
 Kalk und Tonerde 13.  
 Kalk, Bestimmung des 68.  
 Kalk, kieselreicher 7.  
 Kalk, kohlenreicher 6.  
 Kalkaluminat 13.  
 Kalkmergel 18, 50—58.  
 Kalkstein 50—58.  
 Kalkstein, Analyse des 61.  
 Kalorie 96, Anm.  
 Kaolin 9.  
 Kesslerische Fluat 229.  
 Kieselerde, s. Kieselsäure.  
 Kieselkalk 18.  
 Kieselsäure 2, 10.  
 Kieselsäure und Kalk 10.  
 Kieselsäure, Bestimmung der 66.  
 Klebeschlechte Ramme 164, 165, 189, 200, 210, 225.  
 Klinker 97.  
 Klinker, Lagern der 113.  
 Kochprobe von Michaelis 161.  
 Kohlenstoffbestimmungsapparat von Baur 63.  
 Kohlenstoffhaltiges Wasser, Einwirkung des 229.  
 Kollergang 116.  
 Kominor 123.  
 Kominor-Dana-Rohrmühle 132.  
 Konstitutionswasser 6.  
 Korund 8.  
 Kramenzelstein 51.  
 Kreide 28, 29, 50, 54, 142.  
 Kuchenprobe unter Wasser 160.  
 Kugelfallmühle 121.  
 Kugelmühle 121.  
 Kugelprobe von Heintzel 162.

**L.**

- Lagern der Klinker 113.  
 Lagern des Portlandzementes 154.  
 Lenixantrieb 131.

- Libanojen 110.  
 Litengewicht 158, 187, 198, 208.  
 Lösschen des Kalkes 7.  
 Luftkalk 213.  
 Luftmörtel 11.

**M.**

- Magnesia 7, 158.  
 Magnesia, Bestimmung der 68.  
 Magnesia im Portlandzement 16, 73, 158, 162, 170.  
 Magnesia, kieselreiche 15.  
 Magnesia, kohlenreiche 7.  
 Magnesia, Verbindungen der 16.  
 Magnesiaazemente 20.  
 Mahlen 113—132.  
 Mahlfeinheit, Bedeutung der, bei Roggenmehl 80.  
 Mahlfeinheit, Prüfung auf 156.  
 Mahlgang 126.  
 Mangan 68.  
 Mauermörtel 228.  
 Meereswasser, Einwirkung des 230, 231.  
 Mergel 50—58, 142.  
 Mergel, Analyse des 61.  
 Mischen, Einfluß des, bei Roggenmehl 80.  
 Mischzemente 20, 217.  
 Mischzemente, Prüfung, s. Prüfung.  
 Mittelbinder 218.  
 Monokalziumaluminat 14.  
 Monokalziumsilikat 12.  
 Mörtelmischer v. Steinbrück-Schmelzer 163, 176, 177.  
 Muschelkalkstein 51.

**N.**

- Nadelapparat 159—160.  
 Nafstiebtrommel 84.  
 Nafverfahren 82.  
 Naturportlandzement 35, 171.  
 Normalnadel 159—160.  
 Normaland 163.  
 deutscher s. Normensand.  
 österreichischer 187, 197, 207.  
 schweizerischer 222.  
 Normensand, deutscher 176.



## O.

Oberläufermahlgang 127.  
Ofen, s. Brennösen.

## P.

Paperino 216.  
Portlandzement 19, 29, 71—141, 215.  
Portlandzement, Auswahl der Rohstoffe 71—76.  
Portlandzement, Begriffserklärung für 170, 180, 215.  
Portlandzement, Brennen d. 95—113.  
Portlandzement, Fabrikanlagen für 137.  
Portlandzement, Farbe des 156.  
Portlandzement, Lagern des 154.  
Portlandzement, natürlicher 171.  
Portlandzement, Prüfung (mechanische), s. Prüfung.  
Portlandzement, Verarbeiten des, im Baugewerbe 227.  
Portlandzement, Vorschriften f. Lieferung und Prüfung, s. Prüfung.  
Portlandzementbauten im Meerwasser 230.  
Portlandzemente, Zusammensetzung der 77, 80.  
Portlandzementindustrie in Deutschland 30.  
Portlandzementindustrie in Frankreich 36.  
Portlandzementindustrie in Österreich 34.  
Portlandzementindustrie in Ungarn 36.  
Probefbrennen 70.  
Probenahme 60.  
Probeöfen 70.  
Prüfung, s. a. Untersuchung, chemische. Prüfung, mechanische, des Zementes 155—169.  
Prüfung der gemischten Zemente in der Schweiz 217—226.  
Prüfung des Portlandzementes 153 bis 169.  
Prüfung des Portlandzementes auf Gipstreiben 184, 185, 221.

Prüfung des Portlandzementes: im Deutschen Reich 170—179.  
in Österreich 180—191.  
in der Schweiz 217—226.  
Prüfung des Romanzementes: in Österreich 202—212.  
in der Schweiz 217—226.  
Prüfung des Schlackenzementes: in Österreich 191—201.  
in der Schweiz 217—226.  
Prüfung des Wasserfalles 153.  
Prüfung des Wasserfalles in der Schweiz 217—226.  
Puzzolane, die 22, 41.  
Puzzolanen, die 18, 39, 216, 217.  
Puzzolanen, künstlich hergestellte 49.  
Puzzolanamente 18, 216.

## Q.

Quarz 3, 4, 10.

## R.

Rammapparat von Klebe 164, 165, 189, 200, 210, 225.  
Raschbinder, Portlandzement 80, 97, 172, 181, 218.  
Raumbeständigkeit 160.  
Raumgewicht (Ritergewicht s. a. d.) 158.  
Riifageröfen 110.  
Ringöfen 100.  
Rippenöfen, Steinscher 110.  
Rohmasse 84, 95.  
Rohmischung, Zusammensetzen der 77—80.  
Rohmühle 139, 140.  
Rohrmühle 131.  
Rohstoffe, Aufbereitung der 80—94.  
Rohstoffe, Auswahl f. Portlandzement 71—76.  
Rohstoffe, Untersuchung der 59.  
Rohziegel, s. Ziegel.  
Romanzement 19, 28, 214.  
Romanzement, Prüfung (mechanische), s. Prüfung.  
Römischer Zement, s. Romanzement.  
Rotieröfen, s. Drehrohröfen.  
Roulette 125.

## S.

- Santorinerde 46, 218.  
 Schachtofen 98.  
 Schlackenzement 49, 216.  
 Schlackenzement, Prüfung (mechanische) s. Prüfung.  
 Schlämmanalyse 65.  
 Schlämmapparat von Schöne 65.  
 Schlämmverfahren 82.  
 Schlick 76.  
 Schluff 65.  
 Schneiderofen 109.  
 Schöneischer Schlämmapparat 65.  
 Schumannsches Volumenometer 157.  
 Schwachbrand 104.  
 Schwebeanalyse 155.  
 Schwefelkalkzium, Bestimmung des 154.  
 Schwefelsäure, Bestimmung der 69.  
 Schwefelsaure Salze im Portlandzement 170.  
 Schwindrisse 161.  
 Schwindrisse bei Portlandzement 173, 184.  
 Schwindrisse bei Puzzolanzement 217.  
 Schwindrisse bei Schlackenzement 217.  
 Scottscher Zement 21.  
 Septarientone 57.  
 Separationsverfahren (hydraulischer Kalk) 213.  
 Siderosthenlubrose 230.  
 Siebvorrichtungen 132.  
 Silikatbestimmung 69.  
 Silikate 2, 5, 6.  
 Silikate und Kalk 14.  
 Sintern 81, 97, 113.  
 Spezifisches Gewicht, s. Dichte.  
 Spinell 8.  
 Staubsammler 135.  
 Steinbrück-Schmelzer Mörtelmischer 163, 176, 177.  
 Steinischer Rippenofen 110.  
 Steinischer Zement 49.  
 Steintraß 218.  
 Strangpresse 91.  
 Süßwasserkalkstein 50, 57, 142.

## T.

- Titan Säure 67.  
 Titrieren des kohlen sauren Kalkes 61.  
 Ton 14, 58.  
 Ton, Analyse des 65.  
 Tonerde 7.  
 Tonerde und Eisenoxyd, Bestimmung von 67.  
 Tonerde und Kalk 13.  
 Tonerde, kiesel saure 14.  
 Tonerdesilikate 8, 9, 40.  
 Tonmergel 9, 51, 59.  
 Tonschiefer 9.  
 Traß 12, 23, 42, 218, 230.  
 Traß, bairischer 45, 46.  
 Traßzement 216.  
 Treiben, das 13, 160—162, 174, 183—185, 221.  
 Trikalziumaluminat 14.  
 Trikalziumsilikat 12.  
 Trockenkammer 93.  
 Trockenanäle 93, 94.  
 Trockentrommel von Cumber 88, 89.  
 Trockentrommel von Möller & Pfeifer 87, 88.  
 Trockenturm von Smidth & Co. 89, 90.  
 Trockenverfahren 88.  
 Trocknen der Ziegel 93, 94.  
 Tuffstein 5, 10, 23, 39.

## U.

- Unterläufermahlgang 127.  
 Untersuchung (allgemeines) 60.  
 Untersuchung, chemische, des Zementes 154.  
 Untersuchung des Kalksteines und Mergels 61.  
 Untersuchung der Rohstoffe 59.  
 Untersuchung des Tones 65.  
 Untersuchung, s. auch Prüfung (mechanische).

## V.

- Verarbeiten des Portlandzementes im Baugewerbe 227.



Berein deutscher Portlandzementfabri-  
kanten 30, 38.

Berein der österreichischen Zement-  
fabrikanten 34.

Verpacken 134.

Bicatscher Nadelapparat, s. Nadel-  
apparat.

Volumenometer von Schumann 157.

Vorschriften für Lieferung und Prü-  
fung, s. Prüfung.

### 25.

Wägen 134.

Walzenstuhl 129.

Walzwerke 116.

Wärmeeinheit 96, Anm.

Wasserbedarf 158, 159, 224.

Wasserdichtmachen 229.

Wassererhärtend machende Zusatzstoffe,  
allgemeines 2.

Wassererhärtungsfähigkeit 1, 2, 24, 27,  
40.

Wasserglas 11, 16.

Wasserkalk 18, 141—153, 214.

Wasserkalk, Prüfung (mechanische) s.  
Prüfung.

Wasserkalke, lösliche 18.

Wassermörtelstoffe, Begriffserklärung  
1.

Wassermörtelstoffe, Einteilung der 17.

Weißkalk 7.

Verfeiner Schichten 52.

Wiesenkalkstein 50, 142.

Windsichter 134.

Winkler'sche Presse 92.

### 3.

Zement, der Name 17.

Zementindustrie, Entwicklung der 22.

Zeolithe 5, 10.

Zerdrückapparat von Amster-Laffon  
166, 167.

Zerreißapparat von Michaëlis 168.

Ziegelpressen 91, 92.

Ziegel trockenverfahren 93, 94.

Ziehen, das, der Ofen 107.

Zugfestigkeit 162.

Zugfestigkeit, mindeste, für gemischte  
Zemente in der Schweiz 222.

Zugfestigkeit, mindeste, für Portland-  
zement: im Deutschen Reich 175.  
in Österreich 188.

in der Schweiz 222.

Zugfestigkeit, mindeste, für Roman-  
zement: in Österreich 208.

in der Schweiz 222.

Zugfestigkeit, mindeste, für Schlacken-  
zement: in Österreich 199.

in der Schweiz 222.

Zugfestigkeit, mindeste, für Wasserkalk  
in der Schweiz 222.

Zugkörperform 164, 166.

Zufätze zu Portlandzement 171, 180,  
215.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

2-20



8000  
1

S-96





Biblioteka Politechniki Krakowskiej



**I-301569**

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000296086