

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw. ....

16899

hoch

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Die  
moderne Aufbereitung  
der  
Mörtel Materialien



Berlin 1904

Verlag der Tonindustrie Zeitung

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300386

9<sup>3</sup>

1<sup>4</sup>





Maschinenfabrik und Mühlenbauanstalt  
**G. Luther, Aktiengesellschaft**  
**Braunschweig,**  
Zweigfabrik in Darmstadt.

---

# Luther'sche Kugelmühlen

**Konstruktion 1897, D. R. G. M.**

sind seit mehreren Jahren in grosser Zahl im Betriebe zur **Ver-  
mahlung von Zementklinkern, Hochofenschlacke, Kalkstein etc. etc.**

**Vorzüge:**

**Kein Nacharbeiten der Durchgangsöffnungen.**

**Keine Oeffnungen in der Mahlbahn, somit grössere gleichbleibende  
Leistung.**

**Kein unnötiger Verschleiss.**

---

**Hartzerkleinerungs-Anlagen aller Art.**  
**Vollständige Zementfabriken**  
**mit Spezialmaschinen eigener Konstruktion.**

**Rohrmühlen (Trommelmühlen) Spezialität seit 1885.**

**Silos für Zement.**

Ausführung kompletter Transmissions-Anlagen jeder Art und Grösse  
nach neuen Modellen.

Mechanische Transportvorrichtungen neuester Konstruktion für  
Rohmaterialien, Zementklinker,  
Asche, Kohle etc.

**Förderrinne, System Markus.**  
**Dampfmaschinen und Turbinen für jede Leistung.**

# **Chemisches Laboratorium für Tonindustrie**

Prof. Dr. H. Seger und E. Cramer

Krupp-Strasse 6 **Berlin NW 5** Krupp-Strasse 6.

## **Untersuchung und Begutachtung**

von Rohmaterialien und Erzeugnissen der Ziegel-, Schamotte-, **Zement-**,  
Steinzeug-, Steingut-, Porzellan-, Glas-, Gips- und **Kalk-Industrie.**

## **Zement - Prüfungs - Apparate**

nach Vorschrift der Kgl. Ministerien für Handel und Gewerbe und  
für öffentliche Arbeiten.

## **Beton - Prüfungs - Maschinen.**

\* \* \* \* \* Herausgeber der Fachzeitschriften: \* \* \* \* \*


## **Tonindustrie-Zeitung und Zement und Beton.**

Lieferung von Fachliteratur zum üblichen Ladenpreise.

Probenummern, Prospekte und Bücherverzeichnis der Fachliteratur kostenfrei.

## **Spezial-Patentbureau**

für Ton-, Kalk-, Gips- und Zement-Industrie.

Kalksandziegelfabriken,  
Transmissionen,   
Trockenkanäle,  
Kalkmühlen.



Zementfabrik-Einrichtungen.



**G. Polysius**

Eisengiesserei u. Maschinenfabrik


Dessau

gegr. 1870



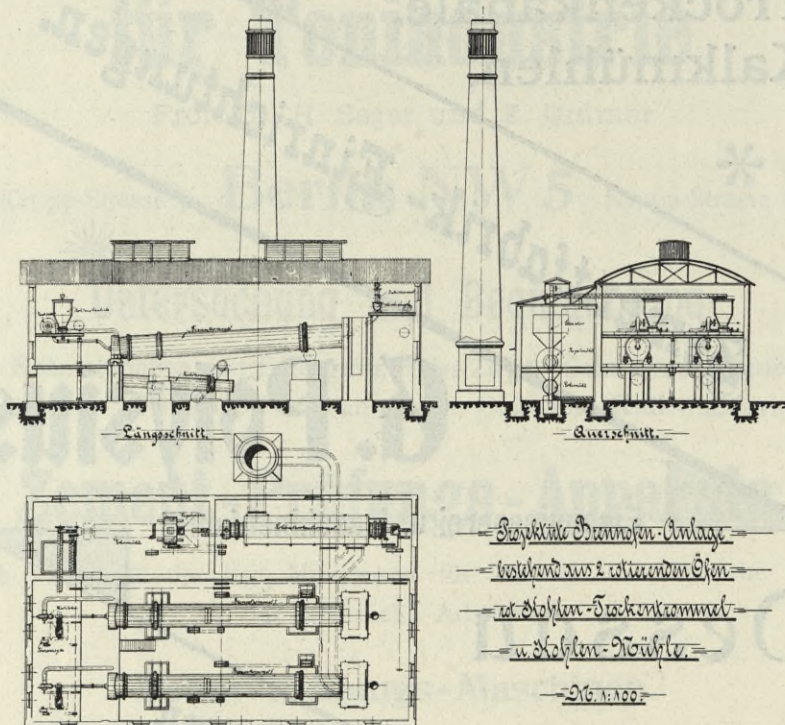
Nassvermahlungsanlagen  
in Verbindung mit Drehröhren



Rotierende  
Apparate zum  
Trocknen fester und  
 breiartiger Substanzen,  
Kohlenmühlen u. Kohlentrockner  
 für Drehröhren.

# BRENNÖFEN-BAUANSTALT

G. m. b. H.  
HAMBURG



Grundriss

## Drehöfen

(ohne Verziegelung der Rohmasse)  
sowie

**Schneider- und Recuperativöfen**  
zum **Brennen von Portland-Zement**

ferner

## Rotierende und feste Öfen

zum Brennen bzw. Rösten von Kalk (Weisskalk oder hydr. Kalk), Gips, Dolomit  
und Magnesit, Zellstofflauge, Soda, Zinn-, Zink- und Kupfererzen.

## Öfen zum Entgasen und Destillieren

von Holz, Torf, Kohle, Teerprodukten u. s. w.

## Öfen zum Trocknen

 von Ton, Kreide, Schlamm, Kohle, Torf.

Referenzen: Portland-Zementwerke Heidelberg & Mannheim, A.-G., Heidelberg.

— Schlesische Aktien-Gesellschaft für Portland-Zement-Fabrikation  
Groschowitz. — Portland-Zementfabrik Hemmoor, Hemmoor.





# Skodawerke, Actiengesellschaft in Pilsen.

---

**Maschinelle Einrichtungen** für Portland- und Roman-  
Zementwerke, Schamottefabriken, Trass-, Gips- und Kalk-  
mühlen usw.

**Kugelfallmühlen** mit stetiger Ein- und Austragung.

**Steinbrecher, Brechschnecken, Walzenmühlen, Koller-  
gänge, Mahlgänge, Schlagkreuzmühlen, Desinte-  
gratoren, Siebe, Elevatoren, Transportschnecken,  
Moustier-Brecher, Windseparatoren (PatentPfeiffer).**

**Ersatzteile** für sämtliche Zerkleinerungsmaschinen, gefraiste  
Zahnräder, geschmiedete Stahlkugeln.

**Maschinen für künstliche Sandaufbereitung,** Misch-  
maschinen für Mörtel, Beton usw.

---

## Hartstahl

für Brechbacken, Kollerringe, Walzenmäntel, Brechschnecken,  
Bekleidungsplatten für Misch- und Knetflügel usw.  
Radsätze, Weichen, Herz- und Kreuzungsstücke.

---

## Ziegeleinrichtungen.

Dampfmaschinen, Dampfkessel,  
Gasmotoren modernster Konstruktion.



# Herm. Löhnert, Akt.-Ges., Bromberg.

Jenisch Original-Kugelfallmühle

Freymuth Rohrkugelmühle, gesetzl. geschützt

Bromberger Mühle D. R. P. A.

Kominormühle D. R. P.

Rohrmühle D. R. P.

Alleinige  
Fabrikanten  
für  
Deutschland

Beschickungsapparat (Patent Hemmoor) für Vermahlung von  
**Portland-Zementklinkern, Erzeugung von Rohmehl.**

## ➤ Durchschnittsleistung ➤

unserer grössten Nummern 45 Fass Zementmehl (à 170 kg) pro Stunde.

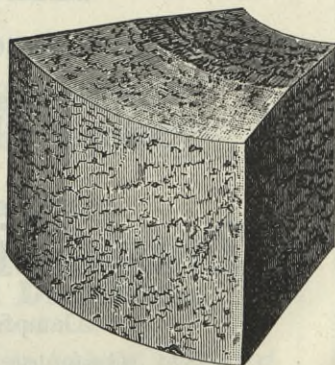
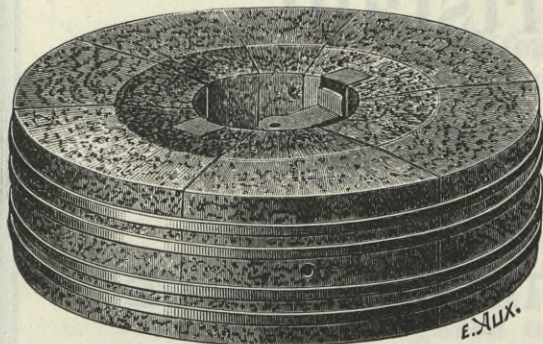
⌘ ⌘ Rotieröfen System Smidth, Kopenhagen. ⌘ ⌘

Herm. Löhnert, Akt.-Ges., Bromberg,

Grösste Mühlsteinfabrik

# **Société Générale Meulière**

La Ferté-sous-Jouarre (Seine et Marne, Frankreich).



**Beste Mühlsteine zum Vermahlen von harten und zähen Substanzen, aus prima Hirnstücken.**

Rotierende Zement-Brennöfen für  
Nass- und Trocken-Verfahren

Chemisch-Technische

☛☛☛ Versuchs-  
Station



*Rotierende Brennöfen*



**Fellner  
& Ziegler**

**Frankfurt a. M.-  
Bockenheim**

gegr. 1878

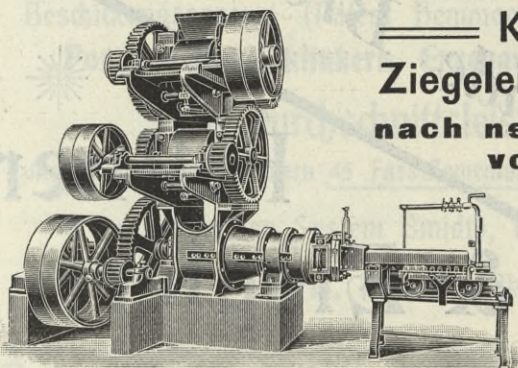


*Trocken-Anlagen*



Rotierende  
Apparate zum  
Trocknen fester und  
☛☛ breiartiger Substanzen,  
☛☛☛ Trocken-Kanäle, Trocken-  
Kammern, Schacht - Trocken - Oefen.

# Badische Maschinenfabrik (Seboldwerk) Durlach (Baden).



==== Komplete ====  
**Ziegelei-Einrichtungen**  
nach neuesten,  
vollkommensten  
Systemen.

Maschinen-Einrichtungen  
zur  
Muffenrohr-  
Herstellung.

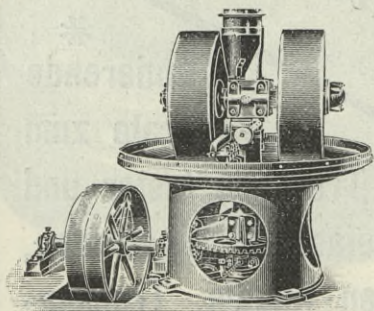
## Zerkleinerungsmaschinen:

Steinbrecher, Walzenmühlen, Desintegratoren, Kugelmühlen, Kollergänge, Salzmühlen, Mahlgänge etc.

==== Komplete maschinelle Einrichtungen für: ====  
Kalk-, Gips-, Zement-, Glas-, Tonwaren- und chemische Industrie.

Aufbereitung  
von

**Sand, Kies und  
Chausseematerial**  
jeder Art.



Maschinen für  
**Kohlenbriket-  
Erzeugung.**

# Gebr. Pfeiffer, Kaiserslautern

## Maschinenfabrik und Eisengiesserei.

Gegr. 1865.

400 Arbeiter.

Goldene Medaillen und erste Preise auf den Ausstellungen zu Nürnberg 1896,  
Strassburg 1895, Kaiserslautern 1895, Kreuznach 1895 etc.

Komplette Einrichtungen für:

**Zementfabriken, Kalkwerke, Tonwarenfabriken, Ziegeleien,  
Kalksandsteinfabriken, Mineralmühlen.**

**Hartzerkleinerungsmaschinen, Ziegeleimaschinen,  
Hydraulische Pressen und Akkumulatoren,  
Dampfmaschinen aller Grössen und Systeme (über 900 im Betrieb).  
Sauggas-Motoren und -Anlagen.**

**Spezialitäten: Wind-Separatoren Patent Pfeiffer,  
Trockentrommeln Patent Thomsen.  
Förderrinnen System Pfeiffer.**

### Einige Referenzen:

Villeroy & Boch, Steingut- und Mosaikfabriken in Mettlach, Merzig, Septfontaines, Wallerfangen, Dresden etc.

Vereinigte Servais-Werke A.-G., Ehrang bei Trier.

Utzschneider & Ed. Jaunez, Saargemünd, Wasserbillig, Zahna.

Portland-Cementwerke Heidelberg und Mannheim A.-G., Heidelberg.

Rheinische Bergbau- und Hüttenwesen A.-G., Duisburg-Hochfeld.

First Cement Factory Ltd., Pretoria, Transvaal.

Offenbacher Portland-Cementfabrik, Offenbach a. M.

G. H. Böcking & Dietzsch, Malstatt a. Saar.

Lothringer Portland-Cementwerke, Metz.

Moskovische Aktien-Gesellschaft für Fabrikation von Cementen, Podolsk, Russland.

Schlesische Aktien-Gesellschaft für Portland-Cementfabrikation, Groschowitz, Schlesien.

Stuttgarter Cementfabrik, Blaubeuren.

Fabryki Cementu Szlakovego, „Neptun“, Skarcysko, Polen.

Douez Frères, Zementwerk, Samer, Frankreich.

Darsy, Lefebvre, Stenne & Lavocat, Kalkwerk, Neufchâtel, Frankreich.

Gewerkschaft Frankfurt, Kalkwerk, Hochheim a. M.

Cementwerk Wallenstadt, Schweiz.

A.-G. Möncheberger Gewerkschaft, Cassel.

Verein. Grossalmeroder Tonwerke, Grossalmerode b. Cassel.

Stein- und Tonindustrie-Gesellschaft Brohlthal, Burgbrohl.

Antweiler Ton- und Chamottewerke, Antweiler.

Dampfziegelei v. Büscher & Co., Caternberg bei Essen.

A. Brach, Tonwarenfabrik, Kleinblittersdorf-Wittenberg.

F. von Müller, Dampfziegelei, Eisenberg, Pfalz. etc. etc.

# Eisenwerk (vorm. Nagel & Kaemp) A.G.

Hamburg

Vertretungen in: London, Brüssel, St. Petersburg, Mailand,  
Pilsen, Wien, Tokio.

Vollständige Einrichtungen, Neu- und Umbauten von Portland-, Roman-  
und Schlacken-Zement-Fabriken, Kalk-, Salz- und Trass-Mühlen.  
**Lieferung sämtlicher Spezialmaschinen.**

für  
Ziegeleien

## Roburitfabrik Witten a. d. Ruhr.

Gesellschaft mit beschränkter Haftung  
Witten a. d. Ruhr.

für  
Tongruben

# Roburit I

(D. R. P. 96 797)

ältester und in langjähriger  
Praxis vorzüglich bewährter

## Sicherheits- Sprengstoff

für Ton Kalk, Mergel und jegl.  
Gestein

nitroglycerinfrei,  
nicht gefrierend.



Angenehmer Bezug in jedem  
Quantum und mit jedem Zuge  
per Bahn.

Erhöhte Betriebssicherheit. \* \*  
Gute Lagerung. \* \* \* \* \*  
Gefahrenklasse nicht berührt. \*

Versuche überzeugen.

Zahlreiche Anerkennungschriften.

für  
Kalkwerke

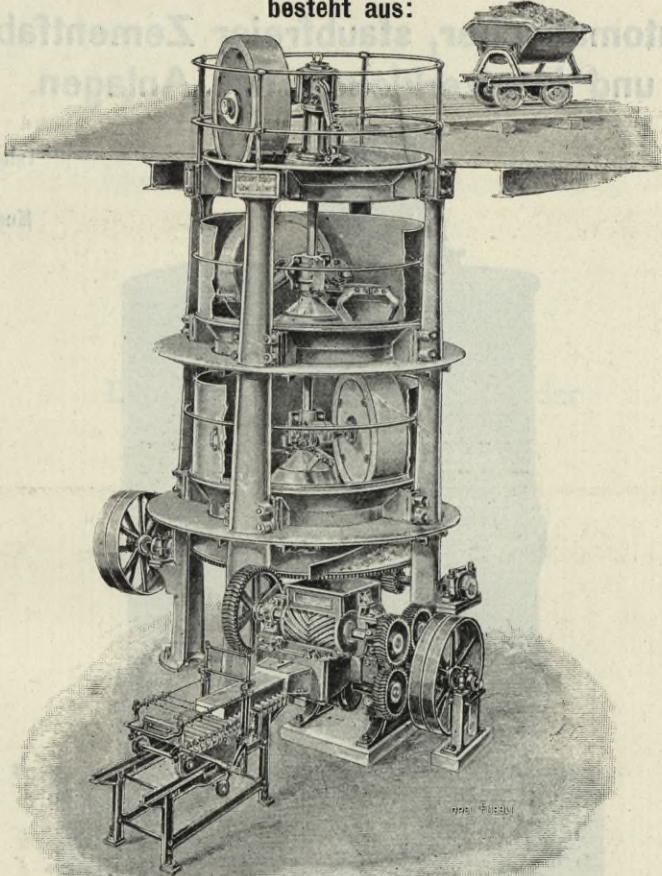
**Sämtliche Zündrequisiten**  
für elektrische und Zündschnur-Zündung.

für  
Steinbrüche

# Gebrüder Bühler, Uzwil, Schweiz

## Giessereien und Maschinenfabrik.

Die einfachste maschinelle Ziegelei-Einrichtung der Gegenwart  
besteht aus:



↖  
**1a Referenzen und Kataloge gratis.**

**1a Referenzen und Kataloge gratis.**  
↗

Bühlers mehrfachem Mischkollergang mit Walzenpresse und Abschneidetisch.

Einfacher, praktischer und billiger Betrieb, wenig Kraftbedarf  
und hohe Leistung gehören zu den wichtigsten Vorteilen, welche  
der mehrfache Mischkollergang, Patent Bühler, anderen Aufbereitungs-  
maschinen gegenüber aufweist.

\*

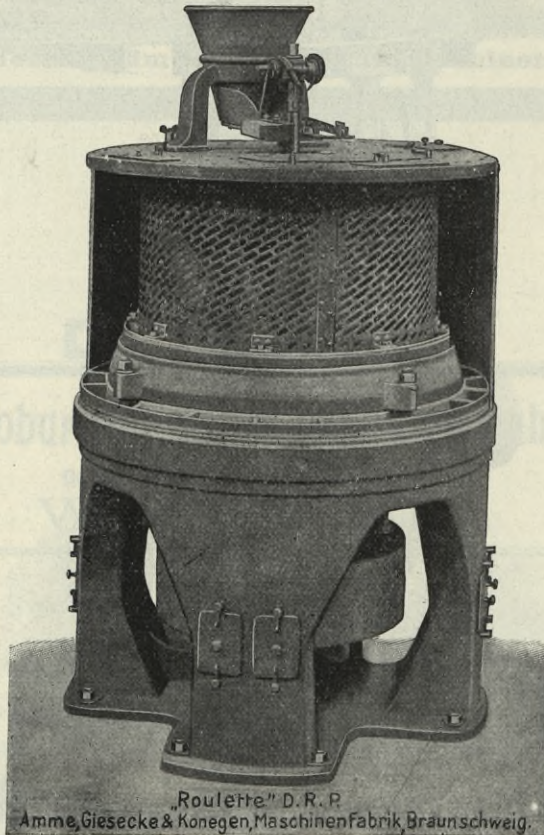
# Amme, Giesecke & Konegen Braunschweig.

Madrid. Paris. Rosario. Brüssel. London. Wien. Charkow.

**Bau automatischer, staubfreier Zementfabriken  
und Hartzerkleinerungs-Anlagen.**

Personal  
1200.

Telegramm-  
Adressen:  
Muehlenbau.



„Roulette“ D. R. P.  
Amme, Giesecke & Konegen, Maschinenfabrik Braunschweig.

## **Feinmahl-Apparat „Roulette“ D. R. P.**

**Grosse Leistung bei direkter Vermahlung zu höchster Mehlfeinheit.  
Geringer Kraftverbrauch. — Minimalster Verschleiss.  
Einfache Bedienung.**

Eigene Versuchsanlage mit Elektromotoren-Antrieb.



Die  
moderne Aufbereitung

der  
Mörtel-Materialien.

Die moderne Aufbereitung der  
Mörtel-Materialien.



Berlin 1904

Verlag der Technischen Zeitsung

x  
1.318



Die  
**moderne Aufbereitung**

der

**Mörtel-Materialien.**

Von

**Dr. Carl Schoch.**

Zweite umgearbeitete Auflage.



*H. B.*  
*I 336*

*2. Aufl.*

Berlin 1904.

Verlag der Tonindustrie-Zeitung.

*2. 19/12*

Die  
moderne Aufbereitung

der  
Mörtel-Materialien.

Von  
Dr. Carl Schoch.

III 16899



Zweite umgearbeitete Auflage



1. 2. 3.

Berlin 1904

Verlag der Technischen Zeitsung

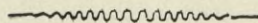
Akc. Nr. 5011/50

# Inhalts-Angabe.

	Seite
Vorwort . . . . .	1
I. Begriffserklärung, Einteilung und Bezeichnung der Mörtel . . . . .	5
1. Einheitliche Klassifikation . . . . .	7
2. Nähere Bezeichnung der Bindemittel . . . . .	8
II. Die Rohmaterialien. Ihre Gewinnung und Bewertung . . . . .	13
1. Rohmaterialien . . . . .	15
a. Kalkgestein . . . . .	15
b. Ton . . . . .	17
c. Puzzolanen . . . . .	21
α. Natürliche Puzzolanen . . . . .	21
β. Künstliche Puzzolanen . . . . .	23
2. Die Gewinnung und Bewertung der Rohmaterialien . . . . .	25
a. Gewinnung . . . . .	25
b. Bewertung . . . . .	44
III. Die chemischen und technischen Untersuchungsmethoden zur Prüfung der Rohstoffe und fertigen Produkte sowie der Brennmaterialien . . . . .	49
Bestimmung der Grubenfeuchtigkeit . . . . .	52
Ausscheidung von Sand (durch Schlämmen) . . . . .	52
Bestimmung des Wassers . . . . .	56
Bestimmung der Kohlensäure . . . . .	57
Gravimetrisch . . . . .	57
Volumetrisch . . . . .	59
Exakte Analyse . . . . .	68
Bestimmung des löslichen und unlöslichen Anteiles . . . . .	68
Löslicher Anteil . . . . .	69
Rationelle Analyse . . . . .	69
Aufschließen mit Kalium-Natriumkarbonat (Kieselsäure, Tonerde, Eisenoxyd, Manganoxydul, Kalk, Magnesia, Schwefelsäure) . . . . .	70
Trennung der löslichen und unlöslichen Kieselsäure . . . . .	71
Trennung des Eisenoxyds und Eisenoxyduls . . . . .	75
Bestimmung des Schwefels . . . . .	77
Bestimmung und Trennung der Alkalien . . . . .	78
Abgekürzte Magnesiabestimmung . . . . .	80
Restbestimmung im Zementrohmehl . . . . .	80
Bestimmung des hydraulischen Moduls im Zement . . . . .	80

	Seite
Titration von Kalk und Kalkkarbonat . . . . .	81
Untersuchung der Brennmaterialien . . . . .	84
Rauchgasanalyse . . . . .	85
IV. Der Gips . . . . .	89
Allgemeines und Prüfungsmethoden . . . . .	91
Fabrikation . . . . .	95
Kalkulation der Gesteungskosten . . . . .	101
V. Der Luftkalk . . . . .	103
Allgemeines . . . . .	105
Brennöfen und Betrieb . . . . .	107
Kalkulation der Gesteungskosten . . . . .	125
Prüfungsmethoden etc. des gebrannten Kalkes . . . . .	126
Stehvermögen . . . . .	130
Ausgiebigkeit . . . . .	133
Kalkbestimmung im Mörtel . . . . .	134
Kalkbestimmung in der Kalksandstein-Rohmasse . . . . .	136
Festigkeiten . . . . .	138
VI. Die hydraulischen Kalke . . . . .	139
1. Die natürlichen hydraulischen Kalke . . . . .	141
a. Eigentliche hydraulische Kalke . . . . .	142
b. Romanzement . . . . .	144
c. Dolomitischer Zement . . . . .	145
d. Normen zur Prüfung von Romanzement . . . . .	146
2. Die künstlichen hydraulischen Kalke . . . . .	163
a. Kalk mit natürlichen Zuschlagsstoffen (Puzzolan- zement, Traßzement) . . . . .	164
Normen zur Prüfung von Traß . . . . .	165
b. Kalk mit künstlichen Zuschlagsstoffen (Schlackenzement) . . . . .	168
VII. Der Portlandzement . . . . .	173
1. Ursprung, Zusammensetzung und Begriffsfassung . . . . .	175
2. Die verschiedenen Fabrikationsmethoden . . . . .	181
a. Berechnung der Rohmischung . . . . .	181
b. Die einzelnen Fabrikationsmethoden . . . . .	186
Naßverfahren . . . . .	187
Halbnaßverfahren . . . . .	194
Trockenverfahren . . . . .	194
3. Die Trockenapparate für die Rohmaterialien . . . . .	197
4. Die Roh- und Zementmühle . . . . .	205
A. Zerkleinerungsmaschinen und Mahlapparate . . . . .	205
a. Vorbrechmaschinen . . . . .	206
b. Schrotmaschinen . . . . .	217
c. Feinmahlapparate . . . . .	225
d. Schleuderapparate . . . . .	240
B. Sichtmaschinen . . . . .	244
C. Abteilverrichtungen . . . . .	250
D. Mischapparate . . . . .	254
E. Transporteinrichtungen . . . . .	259
F. Entstäubungsapparate . . . . .	265

	Seite
5. Das Ziegeln der Rohmasse . . . . .	268
a. Naßpressen . . . . .	268
b. Trockenpressen . . . . .	271
6. Das Trocknen und Härten der Rohziegel . . . . .	281
7. Die Brennöfen . . . . .	288
a. Die allgemeinen Grundzüge des Brennens . . . . .	288
b. Die verschiedenen Ofensysteme (Ringofen, Etagenöfen, Hauen- schild-Schneideröfen, Drehofen etc.) . . . . .	291
Vergleichende Zusammenstellung der Brennkosten bei ver- schiedenen Ofensystemen . . . . .	315
c. Die Nebenapparate im Ofenbetriebe . . . . .	319
8. Verpackung und Packmaschinen . . . . .	321
9. Die Hilfsmaschinen einer Zementfabrik (Dampfmaschine, Kessel, Transmissionen etc.) . . . . .	333
10. Entwerfen und Betrieb von Zementfabriken . . . . .	346
Kalkulation der Gestehungskosten . . . . .	352
Typische Anlagen . . . . .	354
11. Die Eigenschaften des Portlandzementes und ihre Prüfungsmethoden	364
Struktur und Farbe . . . . .	364
Spezifisches und Maßgewicht . . . . .	365
Mahlung . . . . .	373
Abbinden . . . . .	376
Volumbeständigkeit . . . . .	382
Erhärtung und Festigkeit . . . . .	392
Wasserdurchlässigkeit . . . . .	418
Mörtelausgiebigkeit . . . . .	422
Frostbeständigkeit . . . . .	422
12. Die Normenvorschriften für Zementlieferung von	
Deutschland . . . . .	424
Oesterreich . . . . .	431
Rußland . . . . .	442
Frankreich . . . . .	450
England . . . . .	452
Schweiz . . . . .	452
Amerika . . . . .	456
Register . . . . .	467







# Vorwort.

---



## Vorwort zur zweiten Auflage.

Mit großer Freude und Genugtuung ist der Verfasser des vorliegenden Werkes über „die moderne Fabrikation der Mörtelmaterialien“ an die Bearbeitung der zweiten Auflage gegangen, zugleich mit warmem Danke für die überaus wohlwollende Aufnahme und reiche Anerkennung, welche das Buch allerorten des Weltkreises gefunden hat. Wie sehr ein solches Werk gefehlt hat, erhellt aus dem Umstande, daß die große Auflage trotz des scheinbar verhältnismäßig engbegrenzten Kreises von Interessenten innerhalb weniger Jahre vergriffen ist.

Und so konnte denn Verfasser im Herbst vorigen Jahres gern dem Rufe des Verlegers folgen und in einer eingehenden Umarbeitung die vielen und wertvollen Errungenschaften der letzten Jahre neu zusammenfassen. Wieviel aber haben auch diese Jahre gebracht!

So manche Apparate, selbst mit jahrelanger Wirksamkeit im Betriebe, sind ausgeschaltet worden und dafür neue in den Dienst der Industrie getreten. Alles ist einfacher und einheitlicher geworden, in größtem Maßstabe auf kleinsten Raum zusammengedrängt. Und überall ist ein strafferer Zug zu spüren. Das sieht selbst der Nichtfachmann, wenn er aus einem älteren, dunklen und staubigen Werke in die luftigen und lichtvollen Räume einer Neuanlage eintritt.

Und mit der fortschreitenden Technik ist auch der Umfang besonders der Portlandzement-Industrie ganz enorm gestiegen. Sie umfaßt allein in Deutschland mehr denn 120 Werke mit fast 36 Millionen Faß Jahresproduktion.<sup>1)</sup>

Freilich, auch die Kenntnis von den verwendbaren Rohmaterialien ist reicher und geklärt worden. Abgesehen davon, daß viele geradezu hervorragend brauchbare Naturprodukte erst im letzten Jahrzehnt erschlossen wurden, — auch künstliche Rohstoffe sind mit Erfolg in den Konkurrenzkampf

---

<sup>1)</sup> Vergl. hierzu das Adreßbuch Deutscher Zementfabriken, Verlag der Tonindustrie-Ztg., Berlin 1902.

eingetreten und allein mit granulierter Hochofenschlacke als Ersatz von Ton arbeitet heut schon ein Dutzend modernster Neuschöpfungen.

Welch' eine Unsumme an Arbeit war nötig, um diese neuen Materialien ihrer Eigenart gemäß aufbereiten zu lernen! —

Auch in der vorliegenden Bearbeitung hat der Verfasser die Grenzen, die er sich gesteckt, genau innegehalten. Das Buch soll nur dem Praktiker dienen! Und so blieben denn wiederum alle theoretischen Erörterungen ausgeschlossen. Das Wesen des Portlandzementes ist zudem auch viel zu wenig bekannt. Und die vielfachen Untersuchungen darüber sind bislang noch immer auf totem Punkte geendet. Ich erinnere diesbez. nur an die These vom „freien Kalk im Portlandzement“. Trotz vieler Gegenschriften ist Verfasser noch immer der Auffassung, daß ein solcher „freier Kalk“ im Portlandzement nicht vorhanden ist, — sofern nur die Aufbereitung der Rohmasse eine tadellose!

Um so heller sind die intimeren Seiten der praktischen Fabrikation beleuchtet, um so eingehender die neuesten Erfahrungen über Aufbau und eigentlichen Betrieb klar gelegt, um ein geschlossenes Bild der modernen Zementindustrie zu geben. Ist es doch gerade dieses Betonen der Praxis gewesen, welches dem Buche zu seiner weitschichtigen Verbreitung verhalf.

Natürlich soll der Chemiker aus dem Buche nicht erst Chemie, der Maschineningenieur nicht Maschinenkunde oder Konstruktions-Einzelheiten lernen. Das Hauptgewicht ist vielmehr neben der Beschreibung der einzelnen Apparate und ihrer Handhabung auf die Kombination zu einem zweckmäßigen Ganzen, zu einem rationell arbeitenden Werk gelegt. Es ist deshalb auch ein ganzes Kapitel über Projektierung und Inbetriebsetzung von Neuanlagen und Umbauten sowie allgemein über den praktischen Betrieb neu hinzugekommen. Im übrigen ist die Einteilung des Buches als bewährt im wesentlichen dieselbe geblieben und nur in den einzelnen Abschnitten den neueren Anschauungen gemäß umgearbeitet und teilweise erheblich erweitert, u. a. vornehmlich auch der chemisch-analytische Teil sowie das Kapitel über Gips.

Zum Schluß dankt der Verfasser noch für die mannigfachen Ratschläge und die Unterstützung, die ihm von so vielen Seiten geworden, und hofft, daß sein Buch in der Umarbeitung zu den vielen alten Freunden recht zahlreiche neue werben möge.

Berlin, Herbst 1903.

Dr. Carl Schoch.

---

I.

**Begriffserklärung, Einteilung und Bezeichnung  
der Mörtel.**

---



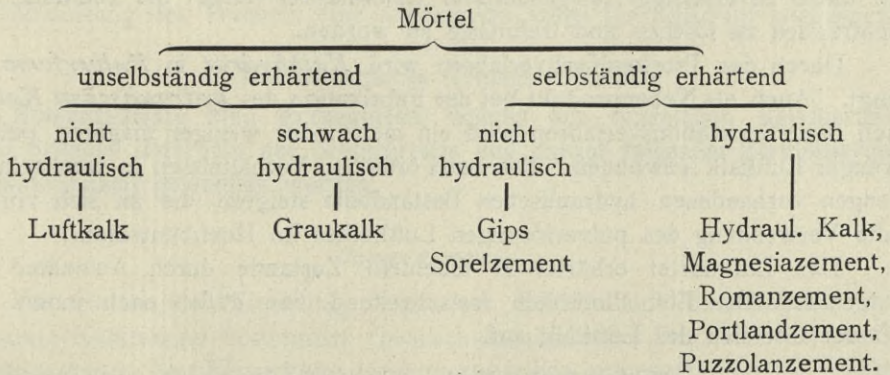
I.

Begriffserklärung, Einteilung und Bezeichnung der Mörtel.

**1. Einheitliche Klassifikation.**

Unter „Mörtel“ im engeren Sinne versteht man mehr oder minder plastische Materialien, die in kürzerer oder längerer Zeit nach ihrer Aufbereitung resp. Verarbeitung in einen festen, starren Zustand übergehen und dabei die Materialien, zwischen welche sie eingegeben werden, innig mit einander verbinden und verkitten. Von ihnen soll ausschließlich das vorliegende Werk handeln. Die sogenannten „mechanischen“ Kittmittel sollen ganz außer Betracht bleiben; man kann sie nach der heutigen Auffassung auch kaum als Mörtel — selbst nicht im weitesten Sinne — ansprechen. Sie haben eben einen ganz anderen Verwendungskreis wie die eigentlichen Mörtel, wie sie seit Menschengedenken in der Bautechnik Anwendung finden.

In der Einteilung der Mörtel folgt man wohl am besten der Unterscheidung nach Prof. Tetmajer.<sup>1)</sup> Danach sind die



Luft- und Graukalk, Gips und hydraulischer Kalk sowie Magnesia-, Roman- und zuweilen auch Portlandzemente (die sogenannten natürlichen) finden sich fertig in der Natur vor: sie brauchen nur gebrannt und abgelöscht, resp. gepulvert zu werden. Puzzolanemente und die meisten Portlandzemente

<sup>1)</sup> Tetmajer, Hydraulische Bindemittel, Zürich 1893, Heft 6, S. 66 flg.

bedürfen indessen erst einer künstlichen Aufbereitung, da sie aus zwei verschiedenen Komponenten zusammengesetzt werden müssen. Diese Stoffe finden sich teils in der Natur vor, teils sind es — besonders in neuester Zeit — künstliche Produkte, oft Abfälle anderer Industriezweige.

Die vorstehende Klassifikation geht zunächst von der Fähigkeit der Bindemittel aus, mit Wasser angemacht, bei gewöhnlicher Temperatur auch unter Luftabschluß, also *selbständig*, oder bloß unter freiem Zutritt der atmosphärischen Kohlensäure, also nur bedingsweise, d. h. *unselbständig* zu erhärten und zu versteinern. Hierbei kann ein Bindemittel in Wasser *löslich* oder *unlöslich*, also *hydraulisch* sein.

## 2. Nähere Bezeichnung der Bindemittel.<sup>1)</sup>

### a. Luftkalke (Chaux grasse).

**Luftkalke sind Erzeugnisse, gewonnen durch Brennen von Kalksteinen. Nach örtlichen Verhältnissen werden die Luftkalke in Stückform, oder hydratisiert in Pulverform in den Handel gebracht.**

#### *Bemerkungen.*

Alle gargebrannten, krystallinisch 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 Aetzkalk 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 unaufgeschlossene Teilchen sich nachträglich löschen und zerfallen können.

Der Kalkbrei wird dadurch gleichmäßiger, dichter, geschmeidiger und vor allem zuverlässiger; eingesumpfter Luftkalkbrei verliert die Tendenz, sich nachträglich zu löschen und treibrissig zu werden.

Durch das Trockenlöschverfahren wird *Kalkhydrat* in *Pulverform* erzeugt. Auch als Nebenprodukt bei der Fabrikation des *hydraulischen Kalkes* nach dem Separationsverfahren wird ein mehr oder weniger magerer, pulverförmiger Luftkalk gewonnen. Die nach örtlichen Verhältnissen in wechselnden Mengen vorhandenen hydraulischen Bestandteile steigern die an sich vorteilhafte Verwendung des pulverförmigen Luftkalkes im Hochbauwesen.

Der Luftmörtel erhärtet in feuchtem Zustande durch Aufnahme von Kohlensäure der Luft allmählich fortschreitend von außen nach innen. Im Wasser löst sich der Luftkalk auf.

### b. Hydraulische Kalke (Chaux hydraulique).

**Hydraulische Kalke sind Erzeugnisse, welche aus Kalkmergeln oder Kieselkalcken durch Brennen unterhalb der Sintergrenze, darauffolgender Hydratisierung und Zerkleinerung auf Mehlfeinheit gewonnen werden.**

<sup>1)</sup> Nach den Schweizer Normen.



**Nach örtlichen Verhältnissen können hydraulische Kalke auch in Stückform in den Handel gebracht werden.**

*Bemerkungen.*

Vor eintretender Verschlackung der Oberfläche gargebrannte Kalkmergel oder Kieselkalke, die beim Trockenlöschen unter mäßiger Wärmeentwicklung und mäßigem Gedeihen teilweise oder ganz zu Pulver zerfallen, liefern *hydraulische Kalke*.

Beim Ablöschen des gebrannten Materials wird der freie Aetzkalk 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 gröberen Stücken zurück; die Löschprodukte solcher Kalke müssen sodann auf geeigneten Mahlvorrichtungen zerkleinert werden.

Hydraulische Kalke, die beim Ablöschen bloß teilweise zerfallen, sollten in Stückform nicht in den Handel gebracht werden.

Der pulverförmige hydraulische Kalk ist erdig-körnig, hellgelblich mit Uebergängen ins Graue oder Rötlichbraune. Angemacht erwärmt sich der hydraulische Kalk nicht; er bindet stets langsam, oft erst nach Ablauf von 24 und mehr Stunden ab und besitzt die Eigenschaft, bei mit der Zeit wachsender Festigkeit an der Luft wie unter Wasser raumbeständig zu sein. Das spezifische Gewicht des hydraulischen Kalkes liegt meistens unter 2,9; sein Glühverlust steigt in der Regel über 8 %.

Hydraulischer Kalk kann zu langsam fortschreitenden Luft- und Wasserbauten, die weder eine hohe Anfangs- und Endfestigkeit, noch Frostbeständigkeit in den ersten Phasen der Versteinerung erfordern, verwendet werden. Zu Wasserbauten soll hydraulischer Kalk nur dann zugelassen werden, wenn der Einwirkung des Wassers eine angemessen lange Lufterhärtung vorausgeht.

**c. Romanzemente (Ciment romain).**

**Romanzemente sind Erzeugnisse, welche aus tonreichen Kalkmergeln durch Brennen unterhalb der Sintergrenze und darauf folgender Zerkleinerung auf Mehlfeinheit gewonnen werden.**

*Bemerkungen.*

Vor eintretender Sinterung, bzw. vor eintretender Verschlackung gargebrannte Kalkmergel bestimmter chemisch-physikalischer Beschaffenheit geben *Romanzemente*. Der Einwirkung der Atmosphärien ausgesetzt oder mit Wasser benetzt, zerfällt das gebrannte Material nicht, oder doch nur teilweise, muß daher stets auf geeigneten Mahlvorrichtungen zerkleinert werden. Das Mahlgut ist erdig-körnig; die Farbe gelblich, mit Abstufungen ins Rötlichbraune. Angemacht erwärmt sich der Romanzement je nach Beschaffenheit des Rohmaterials, Behandlung der gebrannten Steine, Dauer der Lagerung u. dergl. 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.

#### d. 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 Mehlfeinheit gewonnen werden.**

**Zur Regulierung technisch wichtiger Eigenschaften der Portlandzemente ist ein Zusatz fremder Stoffe bis zu 2 % des Gewichtes ohne Aenderung des Namens zulässig.**

#### *Bemerkungen.*

Bei durchgreifender Sinterung gargebrannte 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 Mischprozeß unterworfen werden.

Unter Einwirkung der Atmosphärrillen 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 Uebergängen ins Grüne oder Gelbliche. Angemacht erwärmt sich der Portlandzement meist nur unbedeutend, bindet nach Umständen rasch oder langsam ab und soll bei hervorragender, mit der Zeit wachsender Selbst- und Sandfestigkeit an der Luft, wie unter Wasser dauernd raumbeständig sein.

Das spezifische Gewicht des scharf gesinterten Portlandzements beträgt in der Regel mehr als 3·10, sein Glühverlust liegt meist unter 2 %. Portlandzemente von schwachem Garbrand, gemahlen aus längere Zeit gelagerten oder hydratisierten Klinkern, besitzen bei einem bis 4 % 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.

e. **Hydraulische Zuschläge** (Puzzolanen; Gangue hydraulique).

**Hydraulische Zuschläge sind künstliche oder natürliche Stoffe, welche nur ausnahmsweise selbständig erhärten. Sie besitzen die Eigenschaft, in Berührung mit Aetzkalk hydraulisch zu versteinern.**

*Bemerkungen.*

Zu den hydraulischen Zuschlägen gehören eine Reihe jüngerer Eruptivgesteine, so: der aus vulkanischem Tuffgestein (Traßsteine) erzeugte Traß, die Puzzolan- oder Santorinerde, ferner die basischen Hochofenschlacken, gebrannte Tone und andere Tonerde- und Kieselsäurepräparate.

f. **Puzzolanzemente** (Ciment pouzzolane).

**Puzzolanzemente sind Erzeugnisse, welche durch Mischung pulverförmiger Kalkhydrate oder hydraulischer Kalke 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*“ etc. zu bezeichnen.

Entsprechend fabrizierte *Puzzolanzemente* verlieren die sandig-erdige Beschaffenheit ihrer Komponenten; sie werden mehlig weich. Die Naturfarbe der *Puzzolanzemente* entspricht der Farbe des verwendeten, hydraulischen Zuschlages. Angemacht 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 Schwindrissigkeit.

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. Aehnlich dem Traßmörtel eignen sich gute *Schlackenzemente* infolge der geringfügigen Schlamm- bildung insbesondere zur Betonierung im Wasser. An der Luft werden sie in der Regel stark schwindrissig 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 0/0.

g. 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 Wasserundurchlässigkeit, der Sandkapazität, bzw. zur fabrikmäßigen Darstellung zuverlässiger, qualitativ ausreichender und wohlfeiler Bindemittel für spezielle Zwecke, können Zementen irgend welcher 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.

II.

**Die Rohmaterialien.  
Ihre Gewinnung und Bewertung.**

---



## II.

### Die Rohmaterialien. Ihre Gewinnung und Bewertung.

#### 1. Rohmaterialien.

##### a. Kalkgestein.

Calciumoxyd oder *Kalk*,  $\text{CaO}$ , welcher den wesentlichsten Grundstoff für die Mörtelmaterialien bildet, kommt als solcher in der Natur niemals in freiem Zustande vor. Er wird vielmehr stets in Verbindung mit verschiedenen anderen Stoffen, meist Säuren: Kohlen-, Kiesel- und Schwefelsäure angetroffen, Verbindungen, von denen uns speziell die kohlen-sauren und schwefelsauren interessieren. Beide kommen selten rein vor und werden — außer nach ihrer Struktur — gewöhnlich nach Art und Grad ihrer Beimengungen unterschieden.

\* \* \*

Weitaus am wichtigsten ist die kohlen-saure Verbindung des Kalkes. Dieselbe kommt rein in zwei Modifikationen vor, als Kalkspat und, viel seltener, als Arragonit.

Der Kalkspat oder Calcit krystallisiert in Rhomboëdern und hat das spezifische Gewicht 2·7, der Arragonit krystallisiert in Säulen des rhombischen Systems und hat das spezifische Gewicht 2·9. Ihre chemische Zusammensetzung ist 56 %  $\text{CaO}$  + 44 %  $\text{CO}_2$ . Beim Brennen ergeben sie also einen absolut reinen Kalk. Indessen ist ihr Vorkommen (z. B. Isländischer Doppelspat) derart vereinzelt und selten, daß die Technik überhaupt nicht damit rechnen kann.

Reiner kohlen-saurer Kalk, mit nur Spuren von Verunreinigungen findet sich in *körnig-krystallinischer* Form in größeren Mengen als *Marmor* vor, von denen der in Carrara und auf Paros wegen seiner Schönheit berühmt ist und gewöhnlich zu Kunstwerken verarbeitet wird. Für die Mörteltechnik ist der Marmor trotz seiner Reinheit weniger geeignet, da er wegen seines dichten Gefüges sich nur schwer brennen läßt, also höhere Gestehungskosten verursacht: dafür aber gibt er andererseits einen vorzüglichen Weiß- oder Fettkalk.

Weit häufiger und allgemeiner als der körnig-krystallinische Marmor finden sich die *derben, dichten Kalksteine*, die fast in allen geologischen Formationen vorkommen und teilweise in ungeheuren Ablagerungen ganze Gebirgsstöcke bilden.

Verliert die Struktur ihre Derbheit, wird sie locker und erdig, so kommen wir zur Kreide und zum Wiesenkalk.

Je nach dem Grade ihrer Dichtigkeit enthalten alle diese Gesteine mehr oder weniger Grubenfeuchtigkeit, z. B. Wiesenkalk meist 36—45 %.

Fast alle Kalkgesteine sind weiter mehr oder weniger durch verschiedene accessorische Bestandteile verunreinigt, meist durch Bitumen, Sand, Kieselsäure, Tonerde, Eisenoxyd, kohlen saure Magnesia, Schwefelsäure und vereinzelt auch durch Kohle (Anthracit).

Besonders die kohlen saure Magnesia vermag bei höherem Gehalt dem Kalkstein ein ganz anderes, eigenartiges Gepräge zu verleihen; derartige Gesteine, welche ein Gemisch von kohlen saurem Kalk und kohlen saurer Magnesia darstellen, heißen *Dolomite*. — Diese finden sich gleichfalls in größeren Ablagerungen, hauptsächlich im Jura (Franken), in der Trias und in der Dyas, hier speziell im Zechstein. Sie haben ein spezifisches Gewicht von 2·9 und enthalten als Normal-Dolomite ca. 54·3 %  $\text{CaCO}_3$  + 45·7 %  $\text{MgCO}_3$ . Charakteristisch ist für sie, daß sie sich in Säuren schwerer lösen als die nicht-dolomitischen Kalksteine, was, wie wir später sehen werden, bei gewissen technischen Prüfungen sofort zu ihrer Erkennung führt. Auch geben sie bereits bei 400° teilweise ihre Kohlensäure ab (die der Magnesia) und werden demgemäß schwächer gebrannt.

Für die Unterscheidung der Kalksteine zum Zweck ihrer technischen Verwertung ist Art und Grad ihrer Reinheit maßgebend und zwar hauptsächlich der Gehalt an Ton. Letzterer gibt eine vollständige Reihe von verschiedenen Gliedern, die schließlich zum Ton selbst hinüberleitet:

Kalkstein,	mit nur ganz geringem Ton-Gehalt,
Kalkmergel,	bis ca. 15 % Ton enthaltend,
Mergel,	„ „ 30 % „ „
Tonmergel,	„ „ 75 % „ „
Ton,	über 75 % „ „

Ganz oder doch fast ganz reine Kalksteine geben beim Brennen den *Weiß- oder Fettkalk*, weniger reine den *Grau- oder Magerkalk*, auch *hydraulischer oder Wasserkalk* genannt. Bei steigendem Tongehalt gelangt man dann zu den Mergeln, welche uns das Material für die natürlichen Portlandzemente und die Romanzemente liefern, und schließlich zu dem eigentlichen Ton.

Die Mergel im engeren Sinne kann man als *natürlich geschlämmte* Produkte von Kalk und Ton führendem Wasser auffassen. Sie sind meist Süßwasser-Ablagerungen und häufig durch Glimmer, Quarz und Schwefelkies verunreinigt. Oft sind sie in wechselnden Schichten über einander gelagert, so daß sie einer äußerst sorgfältigen Aufbereitung bedürfen, um brauchbare Pro-



dukte zu liefern. Sie finden sich besonders in der Tertiär-Periode, in der Kreide, im Jura und in der Trias und bilden je nach steigendem Tongehalt das Material für hydraulischen Kalk, natürliche und künstliche Portlandzemente, für Romanzemente und schließlich für Zuschläge zum künstlichen Portlandzement.

\* \* \*

Der *schwefelsaure Kalk* findet sich in zwei Modifikationen, einmal als eigentlicher *Gips*, als wasserhaltiges Sulfat:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ , — das andere Mal als *Anhydrit*, als wasserfreies Sulfat:  $\text{CaSO}_4$ . Letztere Modifikation ist die weitaus seltenere und wohl als das primäre Gestein anzusehen.

Der *Anhydrit*, der als Mörtelmaterial nicht in Betracht kommt, krystallisiert im rhombischen System, sein spez. Gewicht beträgt ca. 2,9, seine Wasserlöslichkeit etwa 2 : 1000.

Der eigentliche *Gips* ist in seiner Struktur sehr verschieden: dieselbe geht von rein krystallinischer bis zu erdiger. Bemerkenswert ist die körnige Form: Alabaster, die vielfach zu Kunstsachen Verwendung findet. Das richtige Mörtelmaterial aber liefert der *dichte Gipsstein*.

Der Gips krystallisiert in sechsseitigen, monoklinen Prismen, oft in Gestalt von Zwillingen, sein spez. Gewicht ist geringer als das des Anhydrits und beträgt nur 2,3, seine Wasserlöslichkeit ist nur unwesentlich größer: 2,5 : 1000. Er findet sich fast immer zusammen mit Steinsalz, besonders im Tertiär (Pariser Becken), in der Trias und in der Dyas, hier wesentlich im Zechstein.

Auch der Gips ist meist durch accessorische Bestandteile, besonders tonige, verunreinigt, deren Prozentsatz seine Qualität als Mörtelstoff erheblich beeinflusst.

#### b. Ton.

Die Tone sind sämtlich, mögen sie als Süßwasser- oder Meeres-Ab lagerungen vorkommen, Zersetzungsprodukte, die sich teils auf primärer, teils, und zwar häufiger, auf sekundärer Lagerstätte finden; sie sind sedimentären Ursprungs und besonders im Tertiär anzutreffen. Ihre Muttergesteine sind Feldspate und die ihnen verwandten Gesteinsarten: Gneis und Granit, krystal linische Schiefer und Eruptivgesteine, Silikatverbindungen von Kalium, Natrium, Calcium, Magnesium, Eisen, Aluminium und Mangan.

Infolge von Abbröckelungen und Verwitterungen, der Miniarbeit der Atmosphären, haben sich in diesen Gesteinen Risse gebildet und das ein dringende Wasser hat dann unter der ausdehnenden Wirkung des Frostes diese Risse erweitert und vermehrt und so nach und nach den ganzen Stein zersprengt. Dabei haben sich mannigfache Umbildungen vollzogen, deren Faktor im wesentlichen die im einsickernden Wasser gelöste Kohlensäure ist. Unter ihrem stetigen Einfluß ist der Uebergang der wasserfreien Silikate in Tongestein und Karbonate erfolgt, welche dann, wie auch die kiesel sauren Alkalien, vom Wasser ausgelaugt und fortgeführt wurden. Nur die Ver bindungen der Kieselsäure und Tonerde widerstehen dem zersetzenden Ein-

fluß: sie bleiben auch beim Auswaschen durch das Wasser zurück und bilden, wenn sie nicht anderweitig verunreinigt wurden, als wasserhaltiges Tonerde-silikat den Normal-Kaolin ( $2 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ), d. h. die eigentliche sogenannte Tonsubstanz. — Im anderen Falle sind es gerade die Verunreinigungen, welche je nach ihrer Art und ihrem Gehalt den Charakter und somit die Eigenschaften der verschiedenen Tone bestimmen.

Ton ist also ein Gemenge von reiner Tonsubstanz und gewissen Verunreinigungen, die teils zugeschwemmt, teils infiltriert sind; es sind das Kalk, Magnesia, Eisenoxyd, Mangansalze, Alkali und Bitumen, von denen Kalk und Magnesia, sowie die Alkalien bei dem Umsetzungsprozeß gewöhnlich in die entsprechenden Karbonate übergehen und als solche vom Wasser ausgewaschen und mehr oder weniger weit fortgeführt werden, während Eisen und Mangan sich als Schwefeleisen und Oxydhydrate niederschlagen. Die zugleich ausgeschiedene freie Kieselsäure wird, nur zum Teil in Lösung gehend, fortgeführt; ein Teil bleibt auch im Rückstand. Die abgespülten Verwitterungsprodukte setzen sich dann unter wechselnden Bedingungen und Formen an anderer Stelle (sekundärer Lagerstätte) ab, während der unzersetzte Rückstand, das Tonerdesilikat oder der Kaolin auf der ursprünglichen, primären Lagerstätte zurückbleibt. Damit soll nicht gesagt sein, daß sich reine Kaoline nicht auch auf sekundärer Lagerstätte finden. Dann aber sind es meist lokale Ursachen, z. B. besondere Schroffheit der Gebirgszüge, welche ein Verbleiben auf der Verwitterungsstätte unmöglich gemacht haben.

Ton findet sich in allen Formationen; auch im Meere kommen Tonablagerungen vor, wenn auch verhältnismäßig selten, und dann gewöhnlich ohne Gehalt an Kalk, da dieser vom Meerwasser gelöst wird.

Unter starkem Druck durch anderweitige Auflagerungen und unter langsamer Krystallbildung können die ursprünglich weichen, schlammigen Tone wieder erhärten. Durch derartige chemisch-physikalische Prozesse sind die Schiefertone und Tonschiefer gebildet. Erstere bilden das Uebergangsprodukt und sind noch mäßig mürbe; bei letzteren ist dagegen die Erhärtung eine ziemlich weitgehende.

Das spezifische Gewicht des Tones ist im Mittel 2:25. —

Je nach dem Grade und der Art der Verunreinigung, d. h. der accessorischen Bestandteile, teilt man nun die Tone in *mageren und fetten* Tone ein.

Die *mageren Tone* bestehen hauptsächlich aus dem verwitterten Urgestein. Sie sind wenig oder garnicht plastisch, reich an eigentlicher Tonsubstanz ( $2 \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ ) und Sand, dagegen arm an Flußmitteln. Sie bilden die *feuerfesten oder Schamotte-Tone*.

Die *fetten Tone* sind mehr oder weniger hochplastisch, sie führen wenig Sand, sind arm an Urgesteinsfragmenten, enthalten also wenig Tonsubstanz, dafür aber mehr Flußmittel, sind also leicht schmelzbar.

Zwischen den mageren, feuerfesten, unplastischen Tönen und den fetten, leicht schmelzbaren, plastischen Tönen stehen die sogenannten *schwer*

*schmelzbaren* Tone, die noch ziemlich reich an Urgesteinsfragmenten sind. Sie enthalten reichlichere Mengen an Flußmitteln wie die feuerfesten Tone, sind aber ärmer an CaO und MgO als die leicht schmelzbaren.

Die feuerfesten und schwer schmelzbaren Tone finden hauptsächlich Verwendung in der Schamotte- und keramischen Branche.

Der Grad der Feuerfestigkeit ist für den Mörteltechniker sehr wichtig, da er danach das Material für die Ausfütterung der Brennöfen auswählt.<sup>1)</sup>

In der Praxis stellt man den Grad der Feuerfestigkeit mittels der Seger'schen Normalkegel fest. Letztere dienen überhaupt dazu, jedweden Brenn-, Sinterungs- und Schmelz-Prozeß genau zu überwachen und sind für alle derartigen Zwecke geradezu unentbehrlich geworden.

Als Mörtelbildner sind die feuerfesten Tone wie auch die schwer schmelzbaren nicht wohl zu verwenden, sofern man sie nicht durch gewisse Zuschläge an Flußmitteln, wie z. B. Kies-Abbrand, Braunstein, Flußspat etc., in ihrer Zusammensetzung korrigiert. Als solche können von vornherein nur die plastischen, leichter schmelzbaren Tone Verwertung finden; diese letzteren werden denn auch meist in der Töpfer-, Ziegler- und Zementindustrie verarbeitet.

Von unangenehmen Beimengungen, besonders für die uns hier ausschließlich interessierende Mörtelindustrie, soweit die Tone also als Mörtelbildner herangezogen werden, sind zu nennen: Schwefelkies und Sand.

Ist der Sand in größerer Menge vorhanden und ziemlich grob, so muß der Ton durch Schlämmen davon befreit werden; feiner Schluffsand ist bei richtiger Wahl des Ofens weniger störend, da er sich später beim Brennen vollständig im Feuer aufschließt. Der unter den folgenden Analysen mit aufgeführte russische Ton (1) ist ein solcher: der weitaus größte Prozentsatz der Kieselsäure desselben besteht aus feinem Quarzsand. Auch der Septarienton muß aus ähnlichem Grunde geschlämmt werden; bei ihm sind es die dichten, harten Mergelkonkretionen, die sogenannten Septarien, die beseitigt werden müssen.

Aus all dem Gesagten erhellt, daß die Tone in ihrer chemischen Zusammensetzung außerordentlich wechselnd sind; es gibt wohl kaum ein Gebilde, das so mannigfaltig in dem Gehalt seiner Bestandteile ist wie der Ton. Zur Charakterisierung mögen hier die Analysen (des Verf.) der Zusammensetzung einiger Tone und zum Vergleich auch daneben die des Normalkaolins folgen.

Der russische Ton ist mit seinem hohen Gehalt an Kieselsäure typisch für dortige Materialien, ebenso der amerikanische Ton mit seinem enormen Gehalt an Tonerde. Ersterer gibt einen langsambindenden, letzterer einen rapidbindenden Portlandzement. Der pommersche Ton ist das spezifische Beispiel eines Mergeltones. Alle drei Tone sind übrigens in praktischer Verwendung.

---

<sup>1)</sup> Ofenreparaturen etc. werden mit *Schamottemörtel* ausgeführt. Das ist ein Gemisch von gebranntem und gemahlenem feuerfesten Ton mit ungebranntem feuerfesten Ton.

	Tone			Normal- kaolin
	1. Rußland	2. Amerika	3. Pommern	
Glühverlust . . . .	3·79	19·00	26·00	13·90
Kieselsäure . . . .	73·99	37·44	31·22	46·33
Tonerde . . . . .	10·19	24·80	7·43	39·77
Eisenoxyd . . . . .	7·17	18·13	3·14	—
Manganoxydul . . . .	—	—	Spur	—
Kalk . . . . .	1·97	0·25	29·00	—
Magnesia . . . . .	0·99	0·12	0·32	—
Schwefelsäure . . . .	0·23	Spur	Spur	—
Alkali . . . . .	nicht bestimmt			—

Der Glühverlust des Kaolins ist ausschließlich Wasser. Und die Kieselsäure des russischen Tones besteht fast zu  $\frac{2}{3}$  aus feinstem Schluffsand.

\* \* \*

Während die Tone, besonders in Deutschland, meist im Tertiär vorkommen, findet sich Kalkstein fast in allen geologischen Formationen<sup>1)</sup>.

Im *Alluvium*: Löß (Mergel), z. B. an der Maas, Schelde, Rhein, Elbe, Saale, Donau,

Im *Diluvium*: Letten, Lehm, Löß und Süßwasserkalke,

Im *Tertiär*: Sande, Grobkalk, z. B. im Pariser Becken, Ton, z. B. London-clay und die Braunkohlentone Norddeutschlands, Gips, ebenfalls bei Paris,

In der *Kreide*: Tuffkreide, Schreibkreide, Kreidekalke, Plänerkalke und Mergel, z. B. im Pariser Becken, Maastricht, Aachen, Ruhrkohlengebiet, Westfalen, Lüneburg, Harz (Nordrand), Rügen, Stettin, Wollin, Sächsisch-Böhmisches Gebirge, Karpathen,

Im *Jura*: Weißkalke in Schwaben (weißer Jura), — Dolomite in Franken (brauner Jura) — sowie Tone und Schwarzkalke (schwarzer Jura=Lias),

In der *Trias* (vornehmlich in Deutschland): Dachsteinkalk (im Rhät), — Plattenkalke, z. B. an der schlesisch-russischen Grenze, und Dolomite (im Keuper), — Mergel, Dolomite und Gips (im Letten), — Wellenkalk, Dolomite und Gips (im Muschelkalk) z. B. in Oberschlesien, Gogolin, Beuthen, Thüringer Wald, Sachsen, Rüdersdorf, Hannover, Neckargebiet, Jura, Schwarzwald.

In der *Dyas*: Graukalk, Gips und Dolomite (besonders im Zechstein) z. B. in Niederschlesien, Lausitz, Elbsandsteingebirge, Harz (Südrand), — Schwarzkalke (in der Steinkohlenformation), — harte, dichte Kalksteine im Harz, Westfalen, Sauerland, Dornap, Wetzlar-Diez (im Devon), — Marmor und Tonschiefer (im Silur).

\* \* \*

<sup>1)</sup> nach Dr. Fraas: Kurzer Auszug der Geologie (Götschen-Stuttgart).

c. Puzzolanen.

Die Puzzolanen vermögen, wie bereits bemerkt, nicht für sich allein einen Mörtel zu liefern. Sie sind nur hydraulische Zuschläge, die erst, wie später noch auszuführen sein wird, mit Kalkhydrat zusammen einen brauchbaren und zwar im wesentlichen hydraulischen Mörtel zu geben in stande sind.

Bis vor noch nicht allzuviel Jahren kannte man nur die drei natürlichen Vorkommnisse:

- die Santorinerde,
- die eigentliche Puzzolanerde,
- den Traß.

Erst neuerdings hat man auch künstliche Produkte an ihre Stelle zu setzen versucht und dabei nicht unwesentliche Erfolge erzielt. Dieses künstliche Material sind teils Abfallprodukte anderer Großindustriellen, wie des Hochofenbetriebes bei der Verhüttung von Eisenerzen sowie der Alaunfabrikation, teils anderweitige Produkte, wie z. B. gepulvertes Glas, Ziegelmehl, gebrannter Ton, Kohlenaschen etc. etc., sofern sie nur aufgeschlossene, verbindungs-fähige Kieselsäure in entsprechender Menge zur Verfügung stellen konnten.

a. Die natürlichen Puzzolanen.

Die *Santorinerde* ist ein natürliches, vulkanisches Vorkommen auf einigen kleineren griechischen Inseln, von deren einer, Santorin, auch die Bezeichnung hergenommen ist. Sie bildet dort ziemlich mürbe Tuffgesteine vom spez. Gewicht 2·4, die oft von selbst zu einem hellgrauen Pulver zerfallen.

Nach Feichtinger ist die Santorinerde kein einheitliches Gebilde, sondern setzt sich aus drei verschiedenen Grundstoffen zusammen: aus Bimsstein, einem feinen grauen Pulver und einem scharfkantigen, dunkel gefärbten Sande. Die Santorinerde zeichnet sich durch besonders hohen Gehalt an freier, amorpher Kieselsäure aus; ihre Hauptbestandteile sind im Mittel:<sup>1)</sup>

	I.	II.
Wasser resp. Glühverlust . . . . .	4·06 %	4·29 %
Kieselsäure . . . . .	66·37 %	65·43 %
Titansäure . . . . .	—	0·69 %
Tonerde . . . . .	13·72 %	15·01 %
Manganoxydul . . . . .	—	0·50 %
Eisenoxyd . . . . .	} 4·31 %	1·88 %
Eisenoxydul . . . . .		2·06 %
Kalk . . . . .	2·98 %	2·84 %
Magnesia . . . . .	1·29 %	1·06 %
Alkalien . . . . .	7·05 %	7·61 %

Die Santorinerde ist als hydraulischer Zuschlag ausschließlich für Wasserbauten zu verwenden; an der Luft gibt sie keinen brauchbaren Mörtel.

Die *Puzzolanerde* (im engeren Sinne), nach ihrem Fundorte „Puteoli“ so geheißen, findet sich hauptsächlich in Italien, außerdem in kleineren Vor-

<sup>1)</sup> I. Feichtinger, II. Michaëlis.

kommen in Frankreich. Sie bildet körnig-poröse Tuffgesteine vulkanischen Ursprungs, die ein braunrotes Pulver vom spez. Gewicht 2·4 ergeben. Die Puzzolanerde wurde gleichfalls schon im Altertum als Mörtelzuschlag verwendet; ihre Zusammensetzung ist, wie auch beim Traß, eine sehr wechselnde und zeigt im Durchschnitt:

Wasser . . . .	bis 12 %
Kieselsäure . . .	52—60 %
Tonerde . . . .	9—21 %
Eisenoxyd . . . .	5—22 %
Kalk . . . . .	2—10 %
Magnesia . . . .	bis 2 %
Alkalien . . . .	3—16 %

Der *Traß* findet sich von einigen kleineren Vorkommen, z. B. in Bayern, abgesehen, als natürliches, vulkanisches Tuffgestein hauptsächlich in der Eifel. Er bildet kompaktere Massen als die Santorinerde und hat das spezifische Gewicht 2·3. Seine Farbe ist blaugrau; sie gibt ein sicheres Unterscheidungsmerkmal zwischen dem eigentlichen und dem heller gefärbten, sogenannten *wilden Traß*. Letzterer ist nur eine vulkanische Asche, die sich auf dem eigentlichen Traß aufgelagert findet, und die nur sehr geringe hydraulische Eigenschaften besitzt.

Der Traß war schon im Altertum als Zuschlag für Mörtel bekannt; seine Zusammensetzung ist sehr wechselnd und nach mehrfachen Untersuchungen ungefähr die folgende:

Wasser . . . .	3—12 %
Kieselsäure . . .	49—59 %
Tonerde . . . .	10—19 %
Eisenoxyd . . . .	4—12 %
Kalk . . . . .	1— 8 %
Magnesia . . . .	1— 7 %
Alkalien . . . .	3—10 %

Alle drei Puzzolanen geben beim Erhitzen ihr Wasser ab, zeigen aber die merkwürdige Eigenschaft, ihre hydraulische Fähigkeit ganz oder doch zum größten Teil durch das Entwässern einzubüßen. Der Gehalt an chemisch gebundenem Wasser ist also sehr in Betracht zu ziehen, derart, daß z. B. Prof. Tetmajer die Güte als Mörtelzuschlag nach der Menge des chemisch gebundenen Wassers (also Glühverlust der bei 110° C. getrockneten Substanz) bemessen möchte. Tetmajer hält dafür, daß diese Eruptivgesteine, die wahrscheinlich der Trachytreihe angehören, während ihres Entstehens von vulkanischen Platzregen getroffen seien.<sup>1)</sup> Damit hätte also die Natur den Hüttenleuten den Weg gezeigt, ihre Hochofenschlacken in verwertbare Produkte —

<sup>1)</sup> Auch v. Pettenkofer, Feichtinger und Verf. sind der Ansicht, daß bei den Puzzolanen unter Einwirkung hoher Temperaturen und gleichzeitiger Mitwirkung von Wasserdampf bereits ein Zersetzungsprozeß stattgefunden hat.

Zuschläge als hydraulische Mörtelbildner — umzuwandeln. Auch die Hochofenschlacken werden in feuerflüssigem Zustande durch Einleiten in Wasser „abgeschreckt“. Dieser Prozeß bewirkt, wie es bei den natürlichen Puzzolanen zweifellos der Fall gewesen, eine Aufschließung des Produktes und Umwandlung der Kieselsäure in die verbindungsfähige Modifikation. Derartig behandelte Schlacken heißen *granulierte*; sie sind also ihrem innersten Wesen nach am ersten dazu berufen, als künstliche Produkte die natürlichen da zu ersetzen, wo solche fehlen.

### β. Die künstlichen Puzzolanen.

Als Ersatz der drei Natur-Puzzolanen hat man verschiedene Stoffe vorgeschlagen und auch mit Erfolg verwendet. Außer den oben erwähnten granulierten Hochofenschlacken sind es noch Abfälle der Alaunfabrikation, gepulvertes Glas, Ziegelmehl, gebrannter Ton, Kohlenaschen etc.: Bedingung ist nur, daß diese Stoffe in größerer Menge verbindungsfähige Kieselsäure enthalten.

Die Zusammensetzung eines solchen Alaun-Abfallproduktes ist z. B.:<sup>1)</sup>

Glühverlust . . . .	4·91
Kieselsäure . . . .	78·31
Tonerde . . . . .	11·94
Eisenoxyd . . . . .	1·23
Manganoxydul . . . .	0·21
Kalk . . . . .	1·50
Magnesia . . . . .	0·79
Schwefelsäure . . . .	1·27

Aehnliche, wenn auch unter sich wechselnde Zusammensetzung weisen auch die übrigen Zuschlagstoffe auf. Die meisten: Glas, Ziegelmehl, gebrannter Ton und Kohlenaschen sind ihrem Ursprunge nach genügend bekannt, so daß hier nicht weiter auf dieselben eingegangen zu werden braucht.

Von größerem Interesse aber sind die Hochofenschlacken, schon aus dem Grunde, weil man in neuester Zeit dazu gelangt ist, dieselben auch zur Portlandzement-Fabrikation zu verwenden, während sie anfangs gleichfalls nur als Zuschlagsmittel zur Herstellung künstlicher Puzzolanzemente oder, richtiger ausgedrückt: Schlackenzemente benutzt wurden.

Was die Schlacken so wertvoll macht, ist, daß bei einundderselben Schlacke die Zusammensetzung nur innerhalb ganz unerheblicher Grenzen schwankt, solange die Erze, Zuschläge, Brennmaterial, Temperatur etc. etc. sich nicht ändern und der Hochofen seinen normalen Gargang hat. — Ungare Schlacken erkennt man meist an ihrer dunkelgrünen Färbung: im übrigen ist die Farbe der Schlacken sehr mannigfaltig, meist wohl graubraun, wenigstens so weit die granulierten basischen Hochofenschlacken in Betracht kommen.

<sup>1)</sup> Tetmajer.

Ist also der Gargang des Ofens normal, so liefert er, weil der Möller<sup>1)</sup> möglichst derselbe bleiben muß, auch stets Schlacke von sehr gleichmäßiger Zusammensetzung. Verf. hat Gelegenheit gehabt, verschiedene Schlacken derselben Hütte aus einem Zeitraum von über zehn Jahren zu untersuchen, und dabei eine geradezu erstaunliche Gleichmäßigkeit gefunden.

Zur Charakterisierung mögen hier die Analysen einiger Schlacken aus verschiedenen Ländern aufgeführt werden:<sup>2)</sup>

	1.	2.	3.	4.	5.
SiO <sub>2</sub>	34·70	29·91	32·51	27·31	30·56
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16·12	20·49	13·91	22·40	13·31
FeO	2·99	0·84	0·48	1·36	0·25
MnO	1·09	1·31	0·60	Spur	1·74
CaO	38·30	39·83	44·75	47·00	45·01
MgO	1·85	3·31	2·20	0·42	2·96
CaSO <sub>4</sub>	0·07	0·96	0·64	0·12	1·41
CaS	1 32	1·99	4·90	1·39	4 63

Das in der Schlacke befindliche Eisen ist gewöhnlich zum größten Teil als Oxydul enthalten, wie ja die Art der Herstellung es naturgemäß ergeben muß. Doch finden sich auch Schlacken mit verhältnißmäßig hohem Gehalt an Oxyd. Verf. hat bei seinen vielen Analysen mehrfach solche Schlacken gefunden.

	1.	2.	3.	4.	5.
SiO <sub>2</sub>	25·76	34·73	35·87	32·40	32·50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20 39	7·92	6·19	12·58	10·10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0·54	1·55	0·71	0·48	0·42
FeO	1·13	0·55	0·80	0·54	0·48
MnO	Spur	Spur	4·93	Spur	Spur
CaO	48·13	43·63	44·55	46·75	53·00
MgO	1·44	9·73	—	—	0·90
SO <sub>3</sub>	0·96	—	—	—	0 52
S		nicht bestimmt			

Der Glühverlust wurde nicht bestimmt, da er durch Oxydationsprozesse fast immer vermindert wird, so weit, daß manchmal durch Glühen eine Gewichtsvermehrung bewirkt wird: Kohlensäure und Wasser müssen daher stets direkt bestimmt werden.

\* \* \*

1) Eisenerze und Zuschläge.

2) Schlacke 1 aus Frankreich: Ruhoff,

„ 2 „ Luxemburg: Dr. Heintzel,

„ 3 „ Belgien: Dr. Treadwell,

„ 4 „ Schweiz: Dr. Heintzel,

„ 5 „ Spanien: Dr. Heintzel.



## 2. Die Gewinnung und Bewertung der Rohmaterialien.

### a. Gewinnung.

Die Gewinnung resp. der Abbau der vorstehend beschriebenen Grundstoffe, wird, soweit es sich um Naturprodukte handelt, also Kalkstein, Gips, Ton und Puzzolanen, in folgender Weise bewerkstelligt.

Die Kalksteine, welche zumeist in mächtigen Massen direkt zu Tage treten, werden gebrochen. Bei größerer Dichtigkeit und damit verbundener höherer Festigkeit der Struktur ist dazu die Anwendung von Sprengstoffen, gewöhnlichem Schießpulver, Dynamit oder Roburit<sup>1)</sup> erforderlich. Es werden dazu Minenlöcher gebohrt, mit Sprengstoff gefüllt und dann gut verkeilt, damit die Ladung nicht in die Luft geht. Die Entzündung erfolgt mittels Zündschnur. Das verursacht allerdings wohl mehr Arbeit und Kosten, doch wird beides, besonders bei der Kalkbrennerei, durch größere Ausgiebigkeit des gewonnenen Materials zum großen Teil wieder ausgeglichen, da die derben Gesteine selten stark verunreinigt sind und deshalb einen sehr hohen Prozentsatz an kohlen-saurem Kalk enthalten. Mit dem Grade der Verunreinigung, besonders durch Ton, mindert sich die Festigkeit des Gefüges erheblich herab, so daß Kalksteine mit 12—15 % Ton, oder gar darüber, gewöhnlich mit der Hacke losgemacht werden können. Ebenso kann die Kreide gewöhnlich mit der Spitzhacke gewonnen werden, während wieder der Wiesenkalk gegraben oder gestochen wird. — Mit dem Grade der Verunreinigung steigt infolge der dadurch herbeigeführten Lockerung des Gefüges meist auch die Grubenfeuchtigkeit, die bei der Kreide und dem Wiesenkalk bis zu 45 % betragen kann.

Die Tone liegen meist unter einer mehr oder weniger starken Abraumschicht. In diesem Falle muß die ganze Deckschicht erst entfernt werden, da sie zumeist zu weich ist, um unter ihr den Ton wegnehmen zu können, ohne daß dann die Decke nachstürzen würde. Ist aber die Deckschicht von festerer Struktur und das Tonlager in der horizontalen Richtung nicht allzu ausgedehnt, so wird dasselbe auch wohl durch Stollenbau, oder wenn es sehr in die Tiefe geht, durch Schachtbau ausgebeutet. Stollen und Schächte müssen stets durch Grubenhölzer bestens verzimmert sein. Nur wenn der Ton rein zu Tage tritt, kann er direkt abgegraben werden. In einzelnen, selteneren Fällen kann man den Ton auch aus den Wasser- und Flußablagerungen durch Baggern gewinnen.

Für den Betrieb von Kalksteinbrüchen und Tongruben sind seitens der Steinbruchs-Berufsgenossenschaft genaue Vorschriften angegeben, deren wesentlichste Punkte etwa die nachstehenden sein dürften.

---

<sup>1)</sup> Roburit ist dem Dynamit an Sprengkraft ziemlich gleich. Da seine Wirkung eine mehr schiebende wie zertrümmernde, so ist es besonders bei harten Tonen sehr wirksam. Ferner hat es den Vorzug, nicht zu gefrieren, und kann schließlich ohne jede Gefahr transportiert werden, indem es nur durch besondere Sprengpatronen, nicht aber durch Schlag, Stoß, Reibung oder Feuer zur Entzündung resp. Explosion gebracht wird.

*Beseitigung des Abraums.* — Unter Abraum (Oberlage, Deckgebirge) wird bei Steinbrüchen das auf dem fest anstehenden Gestein und bei Gräbereien das auf dem zu gewinnenden Kies, Sand, Lehm, Ton, Kreide, Traß, Mergel lagernde Erd- und Steinmaterial verstanden.

Mit der Gewinnung einer Steinschicht oder eines Felsens oder von Kies, Sand, Lehm, Ton, Kalk, Kreide, Traß, Mergel darf nicht eher vorgegangen werden, als bis der Abraum bis zum festen anstehenden Gestein, Kies, Sand, Lehm oder sonst zu gewinnenden Material entfernt ist. Die Beseitigung des Abraums hat, sofern die Beschaffenheit desselben dies irgend gestattet, von oben herunter, wenn nötig, in Abtreppungen zu erfolgen.

Bei einer Höhe des Abraums von 6 m und darüber muß derselbe so beseitigt werden, daß er am Fuße vom Bruchrande der entblößten Gesteins- und Grubenwände (Abbaustrossen) jederzeit mindestens 3 m zurücksteht; bei geringerer Höhe des Abraums soll dieser Abstand mindestens gleich der halben Höhe des Abraums, keinesfalls und zu keiner Zeit aber kleiner als 1 m sein.

Wird nun in einem Teile des Bruches oder der Grube gearbeitet, so sind die Grenzen dieses Teiles von rolligem Material oder von losen, absturzfähigen Massen so zu säubern, daß die an der Arbeitsstelle beschäftigten Personen ungefährdet sind. Gefahrdrohende Abraummassen sind auch an außer Betrieb befindlichen Stellen zu beseitigen oder von dem Verkehrsbereich der Arbeiter durch geeignete Vorrichtungen abzusperren. Diese Vorschrift ist auch an denjenigen Stellen zu beobachten, wo der Betrieb die Grenze der Nachbargrundstücke erreicht.

Ist der Abraum an der Arbeitsstelle oder im Verkehrsbereich der Arbeiter mit Steinen durchsetzt, sodaß die Gefahr des Herunterfallens einzelner Steine vorliegt, so ist die Abraumwand täglich zu putzen oder wenn zugänglich, sind eine oder mehrere Schutzwände aus Flechtwerk oder ein Erd- oder Steinwall zum Auffangen herabfallender Steine oberhalb der Arbeitsstelle anzubringen.

*Einrichtung der Grubenwände und Böschungen.* — Die Grubenwände, die Böschungen, die Höhe und Breite der Arbeits- und Abraumstrossen (Abtreppungen) sind der Beschaffenheit des Materials entsprechend so einzurichten und zu erhalten, wie es der Schutz der Arbeiter bedingt. Die Böschung der Wände soll bei losem Gestein, Sand, Kies, Lehm, Ton, Kalk, Kreide, Traß, Mergel  $45^{\circ}$  in der Regel nicht übersteigen, sofern nicht das Hereinbrechen von Massen entweder nach der Art des Materials ausgeschlossen oder durch Mauerung oder sonstige Schutzmittel verhindert ist.

*Untersuchung der Gesteinsstöße und des Abraums.* — Vor dem jedesmaligen Beginn der Arbeit sowie jedesmal sofort nach erfolgter Sprengung sind die Stöße oder Grubenwände, vor welchen gefördert oder eine andere Arbeit verrichtet werden soll, auf das Vorhandensein von Einsturz drohenden Massen, im Winter insbesondere von Frostschäden zu untersuchen. Die Untersuchungen haben sich auch auf den Abraum zu erstrecken und sind vom Aufsichtspersonal,

nötigenfalls auch von den Arbeitern mit besonderer Genauigkeit und im weitesten Umfange bei Eintritt eines Witterungswechsels, nach Regengüssen u. s. w., sowie bei Wiederaufnahme der Arbeit an Betriebsstellen, welche längere Zeit geruht haben, vorzunehmen. Zeigen sich gefährliche Massen, so ist für deren Beseitigung zu sorgen und der Betrieb an der betreffenden Stelle solange einzustellen, bis die dem Einsturz drohende Masse beseitigt ist.

Um den schädlichen Einfluß von Regengüssen abzuschwächen, ist das Tagewasser, wo erforderlich, oberhalb des Bruches abzuleiten.

Gehen andererseits offene Ton- und Kalkgesteinslager, was besonders bei Kalkmergeln vielfach der Fall, nach und nach bei stärkerem Abbau sehr in die Tiefe, so stellt sich der Gewinnung in dem aufdrängenden Grund- oder Grubenwasser ein böser Uebelstand entgegen. Solches Grubenwasser, das oft sehr reichlich auftritt, muß dann unbedingt beseitigt werden. Dies geschieht mittels Kolben- oder Zentrifugalpumpen, einfacher aber noch mittels der sogenannten Pulsometer, wie sie z. B. Hausmann-Burg/Magdeburg in vorzüglicher Ausführung und Leistungsfähigkeit liefert. Sie sind besonders überall da am Platze, wo der Abbau sich ziemlich weit von der Betriebsmaschine des Werkes befindet. Die Pulsometer brauchen nämlich keine besondere Kraftmaschine, sondern nur eine Dampfzuleitung. Sie sind allerdings etwas teurer im Dampfverbrauch, bedürfen dafür aber wieder keinerlei besonderer Wartung, um tadellos zu funktionieren.

*Abbau, Unterhöhlen.* — Der Abbau des zu gewinnenden Materials in Steinbrüchen und Gräbereien hat, sofern die Lagerung des Materials dies irgend gestattet, von oben herunter in mäßigen Abtreppungen (Strossen) zu erfolgen.

Bei massigem, unzerklüftetem Gestein kann der Abbau der Bruchwand in einer Abbaustrosse mit senkrechter vorderer Wand vor sich gehen, sofern der Betrieb durch Abbau in Abtreppungen ungebührlich erschwert oder wirtschaftlich unmöglich gemacht werden würde.

In Steinbrüchen sollen unterhalb der Arbeitsstellen (an den Grubenwänden, Böschungen, Arbeits- und Abraumstrossen) während des Arbeitens Personen in der Regel nicht beschäftigt werden. In Gräbereien ist die Arbeit so einzurichten, daß an derselben Stelle nicht gleichzeitig Material gewonnen und abgefahren wird.

Das Unterhöhlen, sowie das Ueberhängenlassen der Wände oder des Abraums in Steinbrüchen und Gräbereien ist verboten. Wo bei festem Gestein die natürlichen Kluftflächen ein Ueberhängen der Abbaustöße hervorrufen, ist solches zulässig, sofern die Sicherheit der Arbeiter dadurch nicht bedroht ist.

In Steinbruchbetrieben kann auf Antrag des Unternehmers das Unterhöhlen, (Unterschaffen, Unterschießen) der Bruchwand nach Anhörung des Sektionsvorstandes vom Genossenschaftsvorstand zugelassen werden, wenn der Betrieb ohne Unterhöhlung technisch oder wirtschaftlich ungebührlich erschwert oder unmöglich gemacht würde. In solchen Fällen sind die besonderen Vorschriften für Unterhöhlungsarbeiten genau zu befolgen.

*Sicherung der Arbeiter auf hochgelegenen Arbeitsstellen.* — Werden Arbeiter auf oberhalb der Bruch- oder Grubensohle gelegenen Arbeitsstellen beschäftigt, so ist für einen sicheren und ausreichend großen Stand Sorge zu tragen, sodaß dieselben beim Bohren, sowie beim Ausgleiten der Brechstange oder sonstigen Arbeitsgerätes oder infolge von Glatteis nicht in den Bruch oder die Grube hinabstürzen können.

Überall da, wo die Höhe oder Beschaffenheit der Arbeitsstelle dem Arbeiter einen ausreichend sicheren Stand bei seinen Verrichtungen nicht gestattet, muß für eine ordnungsmäßige Verwendung von Notseilen Sorge getragen werden, welche stets in ausreichender Länge und in gutem Zustande zu sofortiger Verwendung vorrätig zu halten sind. Die Notseile müssen bei Gebrauch sorgfältig und sicher befestigt werden.

Bei Karrentransport unmittelbar am Rande des Bruches oder der Grube sind geeignete Vorkehrungen zu treffen, um das Hinabstürzen der Karrenführer in den Bruch oder in die Grube beim Ausgleiten zu verhüten.

*Gerüste, Geräte, Hebezeuge, Krane und Winden.* — Auf den Festigkeitszustand von Fördergerüsten, Laufbrücken und Stegen, überhaupt Rüstungen aller Art, auf und unter welchen Arbeiter beschäftigt sind, ist sorgsam zu achten, besonders auf solche Teile der Gerüste, Laufbrücken und Stege, welche im Erdboden liegen und durch Anfaulen leiden können.

Laufbrücken oder Stege sind mit einem festen Bohlenbelag und bei einer Höhe von mehr als 2 m über der Erde an beiden Seiten mit einem festen Geländer zu versehen. Laufbrücken oder Stege von 1—2 m Höhe über der Erde sind an den offenen Seiten mit 12—15 cm hohen Fußleisten zu versehen. Sofern unterhalb der Laufbrücken oder Stege Arbeiter beschäftigt sind oder verkehren, sind Schutzbekleidungen an den Seiten der Laufbrücken und Stege in solcher Höhe anzubringen, daß das Herabfallen von Material vermieden wird.

Leitern, welche in Steinbrüchen und Gräbereien benutzt werden, müssen stets in gutem Zustande und am unteren Ende so eingerichtet sein, daß das Ausgleiten und Abrutschen der Leiter verhütet wird. Wo Leitern zum Zu- und Abgang von Arbeitsstrossen dienen, müssen sie so lang sein, daß sie mindestens 1 m über die Arbeitsstrosse hinausragen. —

Hebezeuge, Krane und Winden mit Kurbelantrieb müssen, sofern sie nicht selbstsperrend sind, mit einer wirksamen Sperrvorrichtung versehen sein, damit ein Zurückschlagen der Windekurbeln oder ein plötzliches Niedergehen der Last vermieden wird. Die Einlaufstelle der Zahnräder eines Kranes ist, wenn nicht schon das Gestell Schutz gewährt, durch eine Blechhaube oder eine Blechscheibe an der Achse zwischen Kurbel und Zahnrädern zum Schutze des an der Kurbel tätigen Arbeiters zu sichern.

Sämtliche Hebevorrichtungen sind öfter auf ihre Tragfähigkeit zu untersuchen, wobei dem Zustande des Krangerüstes, der Ketten, Seile, Gurte und Klauen besondere Aufmerksamkeit zu schenken ist und schadhaft gewordene Stücke durch neue haltbare zu ersetzen sind.

Auf sichere Befestigung der Last an den Aufzugsseilen, Ketten, Gurten, Klauen ist besonders zu achten.

Während die Hebevorrichtung im Betriebe ist, bei schwebender Last, ist Sorge zu tragen, daß die Arbeiter sich nicht unterhalb oder in unmittelbarer Nähe derselben aufhalten, vielmehr seitwärts Stellung nehmen, damit sie von der unvermutet herabkommenden Last oder herabfallendem Gestein nicht getroffen werden können. Werden Lasten über Verkehrswege aufgezogen oder niedergelassen, so sind letztere während der Arbeit für nicht bei dieser beschäftigte Personen abzusperren.

*Sicherung der Wege und Einfriedigung von Gruben.* — Die Abfuhrwege sind, soweit dieselben innerhalb des Betriebes liegen, vom Unternehmer in gutem Zustande zu erhalten und müssen bei starkem Gefälle nach der Talseite hin mit hinlänglich starkem Schutzgeländer oder einem Stein- oder Erdwall versehen sein. Dieselben sind so breit zu halten, daß der Fuhrmann die Bremse bequem handhaben kann.

Ebenso sind zur Verhütung des Hinabstürzens oder Hineinfallens von Arbeitern gefährlich zu passierende Stellen oder vorhandene Wasserflächen, soweit dieselben im Verkehrsbereich der Arbeiter und innerhalb des Betriebes liegen, mit schützenden Einfriedigungen zu versehen, auch sind an steilen Aufgängen zu den Arbeitsstellen in und neben den Betrieben feste Geländer herzustellen.

Können zum Betriebe gehörige Wasserflächen nicht eingefriedigt werden, so sind, soweit die Möglichkeit des Ertrinkens gegeben ist, geeignete Rettungs- vorrichtungen, wie Stangen und Rettungsringe bereit zu halten.

Das Betreten und Verlassen der Betriebe ist den Arbeitern nur auf den dazu bestimmten Wegen gestattet. —

Für die Benutzung von Sprengstoffen beim Abbau härterer Materialien gelten wesentlich die folgenden Vorschriften:

Die Benutzung des reinen Sprengöls, der Schießbaumwolle, verdorbener oder gefrorener Sprengmittel zum Sprengen ist untersagt.

Das Sprengen mit losem Pulver ist in Bergwerken und unterirdischen Steinbrüchen und Gräbereien verboten; in Steinbrüchen und Gräbereien über Tage ist es nur unter bestimmten Bedingungen und nur bei in die Tiefe gehenden Bohrlöchern gestattet.

Die Anschaffung von Sprengmitteln ist nur dem Unternehmer oder dessen Beauftragten gestattet. Nur von diesen darf der Arbeiter Sprengmittel in Empfang nehmen und nur nach ihrer Anweisung darf er sie verwenden. An die Arbeiter sind Sprengmittel nur für den Tagesbedarf auszuhändigen. Die nicht verwendeten Sprengmittel muß der Arbeiter vor Verlassen der Arbeit dem Unternehmer oder dessen Beauftragten abgeben. Loses Pulver muß in feuersicheren Behältern verwahrt zur Verwendungsstelle gebracht werden.

Sprengmittel sind nach den bestehenden polizeilichen Bestimmungen zu lagern und aufzubewahren.

Zündhütchen oder sonstige Zündstoffe dürfen mit den Sprengmitteln nur abgesehen in demselben Raume aufbewahrt werden.

Aufbewahrungsräume für Sprengmittel dürfen nicht mit offenem Licht oder brennender Zigarre oder Pfeife betreten werden.

In den für die Arbeiter bestimmten Aufenthalts- und Unterstandsräumen dürfen Sprengmittel nicht niedergelegt werden.

Die Umarbeitung der Sprengpatronen und das Auftauen gefrorener Sprengmittel darf nur unter Leitung des Aufsehers oder seines Stellvertreters in gesondert gelegenen Räumen in angemessener Entfernung von der Betriebsstelle erfolgen.

Das Auftauen gefrorener Sprengmittel darf nie durch Auflegen auf Oefen, sondern muß in trockenen Behältern geschehen, welche von außen durch lauwarmes Wasser erwärmt werden, bei Dynamit nur in besonderen Dynamitauftauapparaten. Das Erwärmen und Tragen des Dynamits am Körper ist verboten.

Bei dem Transport der Sprengmittel, in den Aufbewahrungs- und Verausgabungsräumen, beim Fertigen und Umarbeiten der Patronen, beim Besetzen und Wegtun der Schüsse ist das Rauchen verboten.

Das Schießen mit losen Sprengstoffen ohne Patronenverpackung ist für gewöhnlich untersagt. Zur Anfertigung von Sprengpulverpatronen darf nur geleimtes Papier verwendet werden.

Das Besetzen der Bohrlöcher mit Sprengstoffen, sowie das Wegtun (Abbrennen) der Schüsse darf nur von der hierfür vom Betriebsunternehmer oder dessen Stellvertreter angestellten, in der Sprengarbeit erfahrenen Person (Schießmeister) vorgenommen werden.

Werden regelmäßig Sprengungen in größerem Umfange vorgenommen, so sind dieselben nach Möglichkeit in eine Zeit zu verlegen, während welcher Arbeiter im Betriebe nicht beschäftigt werden. (Frühstücks-, Mittags-, Vesperpause.)

Beim Nebeneinanderliegen mehrerer Betriebsstellen dürfen Sprengungen nur dann außerhalb der Arbeitspausen erfolgen, wenn nicht zu befürchten ist, daß die Arbeiter der benachbarten Betriebsstellen durch umherfliegende Sprengstücke gefährdet werden.

Die verantwortlichen Leiter (Unternehmer, Aufseher u. s. w.) solcher Betriebsstellen haben sich gegebenenfalls unter einander über die Sprengzeiten zu verständigen.

Züandschnüre müssen von bester Beschaffenheit sein und sind vor der Verwendung auf Bruch und Beschädigung zu untersuchen.

Die Patronen dürfen erst unmittelbar vor ihrer Verwendung mit dem Zündhütchen oder der Züandschnur versehen werden.

Bei Verwendung von losem Pulver ist dasselbe mittels eines zinkenen Trichters, welcher mindestens so lang sein muß wie der Raum über der Ladung, einzuschütten. Bei Schnür-, Lassen- und Kesselschießen darf das

Bohrloch vor Ablauf von 30 Minuten nach dem letzten Schuß nicht wieder besetzt werden. Das Gleiche gilt für ohne Wirkung gelöste Schüsse (ausgeblasene, Lochpfeifer).

Als Besatzmittel dürfen nur solche Materialien, welche keine Funken reißen, benutzt, und diese ebenso wie die Patrone dürfen nur mittels hölzerner, kupferner, messingener oder mit kupfernem oder messingener Schuh versehener Dämmen (Ladestöcke) in die Bohrlöcher gebracht werden. Die Verwendung eiserner Ladestöcke, sowie eiserner Nadeln bei dem Besetzen ist verboten.

Das Zünden der Schüsse darf nur mittels Zündschnur oder elektrisch oder auf eine andere gleich zuverlässige und sichere Weise erfolgen. Das Zünden mittels Halmen, Holz- oder Papierröhren oder Schwefelfäden ist verboten; die Zündungen sind so einzurichten, daß den dabei beschäftigten Arbeitern genügend Zeit bleibt, einen sicheren Ort aufzusuchen.

Die Schüsse sind vor dem Abbrennen, wo dies möglich und notwendig ist, so mit geflochtenen Hürden, Faschinen, Wirrdraht, Ketten oder in ähnlicher gleich wirksamer Weise zu decken, daß die Sprengstücke nicht in gefahrbringender Weise umherfliegen können.

Der Befehl zum Anzünden der Schüsse darf nur von dem Aufseher oder einem ausdrücklich von demselben hierzu bestellten Vertreter und zwar erst dann erteilt werden, nachdem ein dreimaliges Warnungszeichen vermittels eines Signalthornes, einer Glocke oder Pfeife gegeben worden ist und nachdem der Aufseher sich überzeugt hat, daß alle nicht bei der Sprengarbeit beschäftigten Personen in Sicherheit sind. Bei unterirdischen Betrieben kann das Warnungszeichen auch durch dreimaligen Zuruf gegeben werden.

Bei dem ersten Zeichen haben sich die Arbeiter nach den Anordnungen des Aufsehers in eine gehörige Entfernung zurückzuziehen, bzw. sich in den vorgesehenen Schutzraum zu begeben und müssen dort bleiben, bis nach erfolgter Sprengung wiederum ein Zeichen gegeben worden ist.

Die bei der Sprengarbeit beschäftigten Personen haben nach Anzündung der Schüsse den Sprengort schleunigst zu verlassen und sich in sichere Deckung zurückzuziehen. Der Weg vom Sprengort zu der Schutz bietenden Stelle ist von allen Verkehrshindernissen frei zu halten.

Hat ein Schuß versagt, so darf das Zeichen zum Verlassen der geschützten Stellen erst gegeben werden, nachdem seit dem Anzünden des letzten Schusses wenigstens 15 Minuten verflossen sind. Bei direkten elektrischen Zündungen ohne Anwendung von Zündschnur bedarf es einer solchen Pause nicht.

Bei den mit Sprengstoffen besetzt gewesenen Bohrlöchern ist das Ausbohren der Sprengladung unbedingt verboten, ebenso das Tieferbohren etwa stehengebliebener Pfeifen (Bohrlöcherreste).

Hat ein mit Sprengpulver geladener Schuß versagt, so ist derselbe durch ein Zeichen erkennbar zu machen und baldtunlichst durch einen daneben gesetzten neuen Schuß wegzutun. Das Entfernen des Besatzes behufs Ersäufens der Ladung ist bei Verwendung von Sprengpulver unstatthaft.

Hat ein mit Dynamit oder einem anderen brisanten Sprengstoff geladener Schuß versagt, so ist derselbe, nachdem er durch ein Zeichen erkennbar gemacht worden, entweder durch einen daneben gesetzten neuen Schuß oder — nach teilweiser Entfernung des Besatzes — durch Einführung einer Dynamitschlagpatrone wegzutun. Letzteres Verfahren ist nur dann zulässig, wenn ein sachverständiger Aufseher oder Schießmeister zugegen und die Tiefe des Besatzes genau bekannt ist. In diesem Falle darf der Besatz unter sachverständiger Aufsicht entfernt werden, jedoch nur mittels Werkzeuges aus Weichkupfer, Weichmessing oder Holz und nur soweit, daß die Länge des über den Patronen im Bohrloch verbleibenden Besatzes nicht weniger als 10 cm beträgt. Nach vorschriftsmäßiger Entfernung des Besatzes, wobei die Anwendung von Stoßbewegungen nicht stattfinden darf, ist durch eine Schlagpatrone der Schuß zum Abgehen zu bringen.

Beim Wegtun des Versagers (Sprengpulver, Dynamit oder andere brisante Sprengstoffe) durch einen danebengesetzten neuen Schuß ist darauf zu achten, daß der neue Schuß in angemessener Entfernung von dem alten Bohrloch niedergebracht und der Schußkanal des versagten Schusses nicht angebohrt wird. Der Aufseher oder der mit der Sprengarbeit Beauftragte hat sich nach Abtun des neuen Schusses davon zu überzeugen, daß der alte Schuß mit zur Explosion gebracht worden ist und Reste desselben weder im Bohrloch noch im Geröll vorhanden sind.

\* \* \*

Von dem auf diese Weise gebrochenen oder gegrabenen Material werden zunächst die größten Stücke gleich im Bruch etwa mit einem Vorschlaghammer zertrümmert. Zugleich erfolgt, wenn es sich z. B. um eine Kalkbrennerei handelt, ein Sortieren der Stücke nach ihrer Größe, um event. die großen für sich im Ringofen, die kleinen ebenso im Schachtofen zu brennen.

Leider erweisen sich viele Kalksteine als sehr spröde und splintern daher in kleine Stücke. Dieser Schutt im Bruch, der bis zu 20 % und mehr ausmachen kann, bildet einerseits ein unbequemes Hindernis im Bruch, besonders wenn man später mehr in die Tiefe gehen will. Aber er erhöht andererseits auch die Bruchkosten. Man sollte also diesen Abfall stets in besonderen Öfen, etwa im Rotierer, brennen, um damit wenigstens die Bruchkosten zu decken und den Bruch stets schutfrei zu erhalten.

Für gewöhnlich wird nun der Bruch nicht direkt am Werk, speziell also für Kalkwerke beim Ofen liegen. Man wird also besonderer Hilfsmittel bedürfen, um das gebrochene Material zum Werk zu transportieren. Es entsteht also hier die Frage nach dem jeweilig rationellsten *Beförderungsmittel*. Natürlich kann es sich nur um mechanische Förderanlagen handeln; denn Menschenkraft stellt sich unverhältnismäßig teuer.

Nehmen wir z. B. an, daß ein Arbeiter mit einem Stundenlohn von 30 Pfg. auf mäßig ebenem und glattem Wege mit der Karre 2 Ctr. etwa



2 km weit befördern kann, so kostet diese Transportart pro Tonnenkilometer 1,50 M.

Auf der Feldbahn wird derselbe Arbeiter auf der gleichen Strecke bequem 15 Ctr. bewältigen können, also nur 20 Pfg. Kosten pro Tonnenkilometer verursachen.

Nehmen wir statt Menschenkraft die eines Pferdes, so wird dieses auf einem glatten, festen (chaussierten) Wege in der Stunde 40 Ctr. 4 km weit transportieren können. Und rechnen wir die Kosten für Pferd und Führer zu 80 Pfg. in der Stunde, so stellt sich ein Tonnenkilometer auf 10 Pfg.

Dasselbe Pferd wird aber auf einer Feldbahn für dieselbe Strecke als Nutzlast ungefähr das 90fache seiner Zugkraft von 80 kg, also  $\frac{4 \times 90 \times 80}{1000} =$  rund 30 Tonnenkilometer leisten. Bei einem Stundenaufwand von 100 Pfg. (also unter Berücksichtigung der Verzinsung der Anlagekosten für die Bahn) kostet das Tonnenkilometer nur noch etwa 3 Pfg.

Greifen wir schließlich zum rein mechanischen Transport, also zur Lokomotive, so wird eine solche von 20 P.S. auf einer Strecke von 10 km als Nutzlast ungefähr das 100fache ihrer Zugkraft von 500 kg, also  $\frac{10 \times 100 \times 500}{1000} = 500$  Tonnenkilometer leisten. Unter entsprechender Aufrechnung der Anlage-

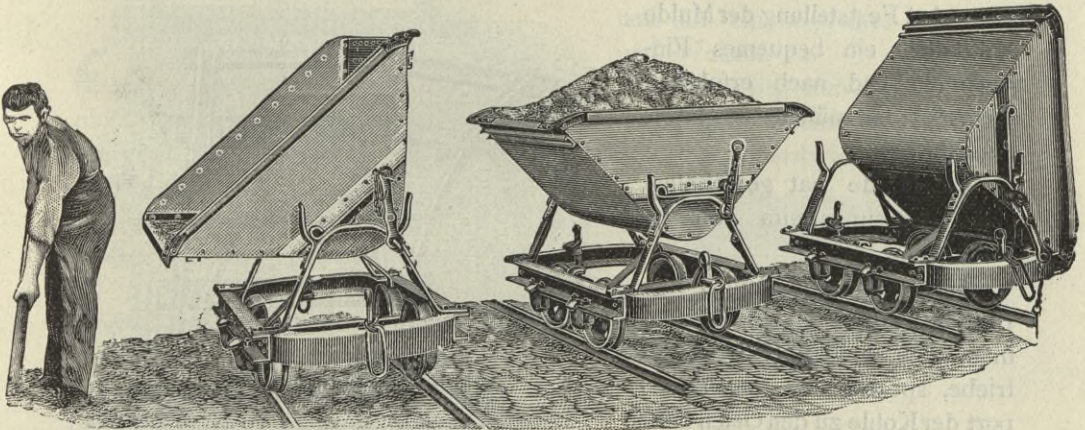


Fig. 1.

kosten etc. wird der Lokomotivbetrieb stündlich etwa 3 M., das Tonnenkilometer also  $\frac{3}{5}$  Pfg. kosten.

Natürlich steigern sich die vorstehenden Transportkosten bei welligem oder ansteigendem Terrain unter Umständen ganz erheblich. Immerhin zeigt die Aufstellung die ganz bedeutende Minderkeit resp. Kostspieligkeit menschlicher Arbeit gegen Pferd oder gar Maschine. Und ebenso zeigt sich deutlich die Ueberlegenheit einer Feldbahn gegenüber einem selbst gut chausseiertem Wege.

Man wird also auf einem Werk immer die Anlage eines Schienenweges ins Auge zu fassen haben. Maßgebend hierfür und für die Wahl der entsprechenden Förderungsart sind eine ganze Reihe von individuellen Umständen.

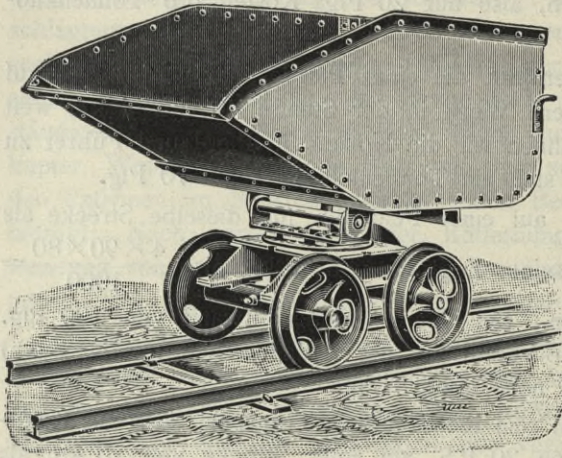


Fig. 2.

Diese *Kippwagen* tragen an den Stirnseiten auf zwei festen Böcken die bewegliche Mulde, welche mittels eines Vorsteckbolzens befestigt werden kann. Diese Art Feststellung der Mulde ermöglicht ein bequemes Einschaufeln und nach erfolgtem Transport ein müheloses, glattes Auskippen.

Die Mulde hat gewöhnlich einen Fassungsraum von  $\frac{1}{2}$  bis 1 cbm.

Statt der meist seitlich kippenden Muldenkipper benutzt man auch wohl im inneren Betriebe, speziell also zum Transport der Kohle zu den Oefen oder ins Kesselhaus, die sogenannten Schnabelkipper (Fig. 2), welche meist nach vorn auskippen.

Die gefüllten Wagen werden von Pferden nach dem Werk gezogen und dort z. B. auf die verschiedenen Oefen verteilt.

Als *Spurweite* der Gleise von Terrainbahnen nimmt man übrigens für den Außenbetrieb gewöhnlich eine solche von 60 cm, für den Innenbetrieb eine solche von 50 cm. —

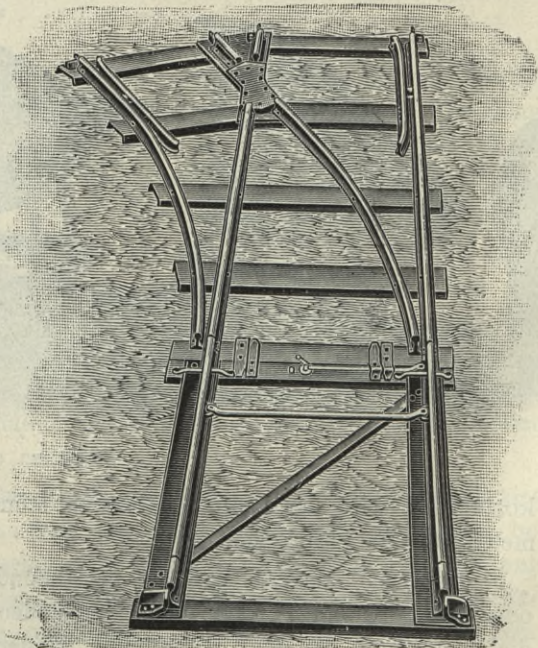


Fig. 3.

Um das Verteilen zu ermöglichen, bedient man sich der *Weichen* und *Drehscheiben*. Als *Weichen* werden gewöhnlich die Schleppweiche (Fig. 3) oder die Zungenweiche (Fig. 4) benutzt. Verf. zieht letztere vor, weil die

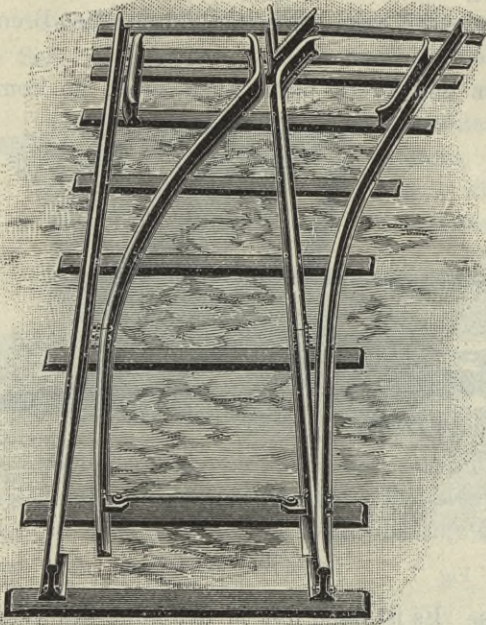


Fig. 4.

bei unrichtiger Stellung ein Abrollen des Wagens verursacht. Die Zungenweiche dagegen wird, selbst wenn man bei falscher Stellung (also geschlossen) aus ihr herausfährt, meistens von dem Randkranz aufgeschnitten und damit von selbst geöffnet resp. richtig gestellt. Ein Abrollen des Wagens erfolgt also viel seltener als bei der Schleppweiche. — Als *Drehscheibe* wird überwiegend die glatte Scheibe gewählt (Fig. 5 u. 6), ohne zwangsläufige Schienen, die sich auf Kugeln oder Rollen um einen Zapfen im Mittelpunkte dreht. Eine solche Drehscheibe braucht nie gestellt zu werden und läßt ein bequemes Auffahren und Wenden zu.

Meistens liegt nun aber der Bruch nicht derartig günstig. Oft ist er höher oder tiefer gelegen und zuweilen überschreitet der Weg zu ihm unwegsames Gelände oder auch wohl fremdes Terrain.

Handelt es sich um einen mäßig steilen Kalksteinberg, auf dessen Höhe der Bruch gelegen ist, so ist die Anlage eines *Bremsberges* geboten. Es werden gewöhnlich zwei Gleise nebeneinander angeordnet, von der Spitze des Berges bis hinter in das Werk. Zwischen den Schienen jedes Geleises läuft auf Rollen ein Drahtseil, welches oben um eine größere Scheibe gewunden ist. Die Scheibe ihrerseits ist mit einer Bremsvorrichtung, meist Bandbremse, versehen, die durch einen Hebel betätigt wird, wie aus Fig. 7 zu ersehen ist.

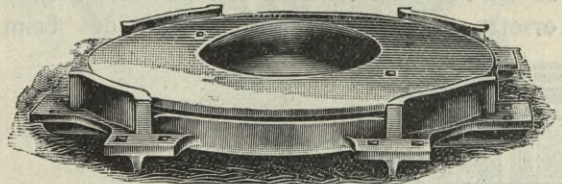


Fig. 5.

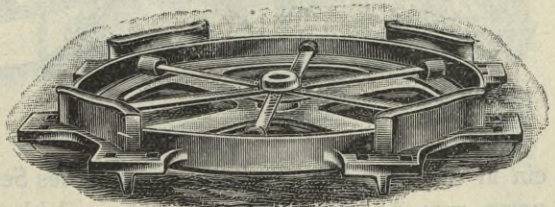


Fig. 6.

Der Betrieb erfolgt in der Weise, daß man an das obere Ende des Seiles den vollen, an das untere Ende den leeren Wagen ankuppelt. Dann schiebt

der Arbeiter den vollen Wagen auf die Neigung. Der volle Wagen wird nunmehr beim Herabrollen auf dem einen Gleis mittels des Drahtseiles den leeren Wagen auf dem anderen Gleis heraufziehen, indem beide Wagen sich das Gleichgewicht halten und die Füllung des einen Wagens als Zuglast dient. — Die Schnelligkeit des Herabrollens wird vom Arbeiter durch die Bremse geregelt.

Ist die Entfernung von Bruch und Werk nicht allzu groß, so kommt

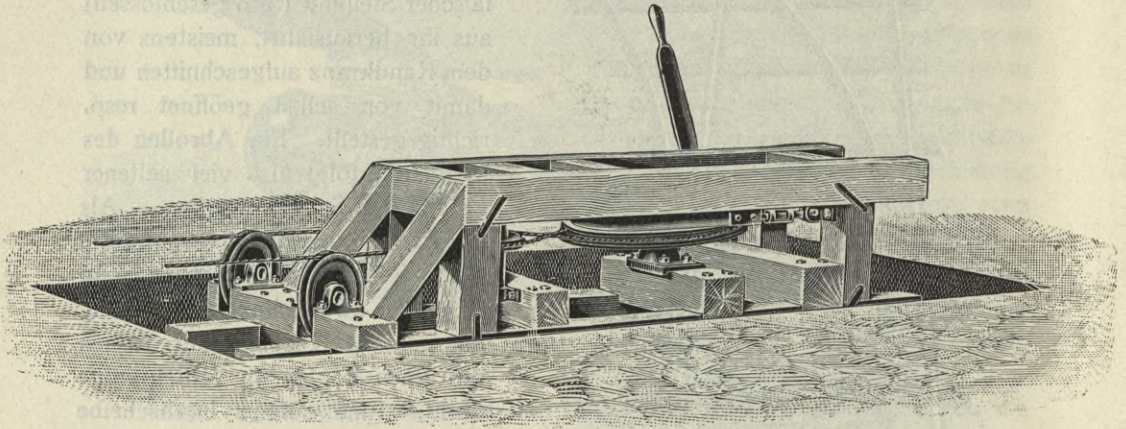


Fig. 7.

man auch wohl mit einem Gleis aus. Es ist dann nur in der Mitte des Weges, also am Treffpunkt des auf- und abgehenden Wagens, eine automatische Ausweichstelle einzurichten.

Haben wir es dagegen mit einem Bruch zu tun, der in die Tiefe geht, so wird der im Betriebe fast kostenlose Bremsberg durch die *schräge Ebene* ersetzt. In diesem Falle ist statt des beim Bremsberge offenen Drahtseiles

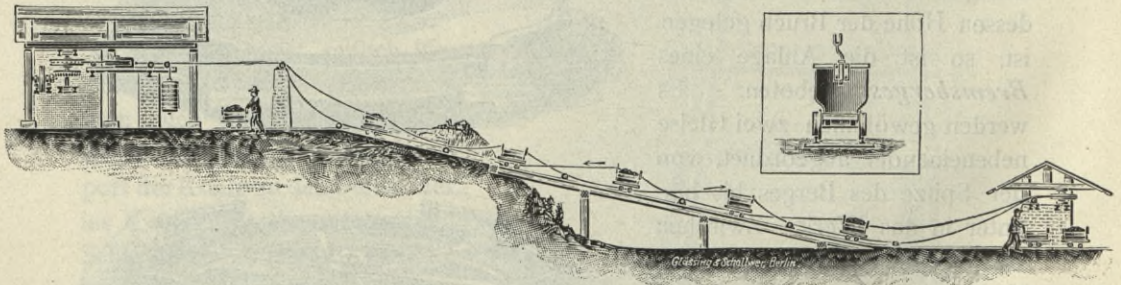


Fig. 8.

ein in sich zurücklaufendes, geschlossenes Seil nötig. Ferner muß eine Station unten zum Ankuppeln der Wagen und oben ebenso zum Abkuppeln eingerichtet werden. Unten läuft das Drahtseil um eine lose Scheibe, während die obere Scheibe durch irgendwelche maschinelle Kraft gedreht wird und damit die zum Heraufziehen des Wagens nötige Kraft hergibt.

Eine solche schräge Ebene zeigt Fig. 8. —

Wir haben rechts unten die Ankuppel-, links oben die Abkuppel- resp. die Kraftstation. Im übrigen ist auch hier ein Doppelgleis vorgesehen, sodaß die einzelnen Wagen sich im Gleichgewicht halten und nur das Material selbst Kraft zur Beförderung nötig macht.

Zur Uebermittlung der Zugkraft nimmt man entweder eine Kette oder ein Seil. Für erstere wird an der Stirnwand der Wagen eine feste zweiteilige

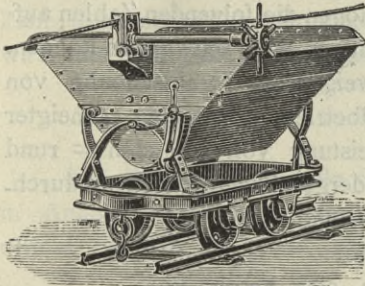


Fig. 9.

Gabel angebracht. In diese legt sich ein aufrechtes Glied der Kette, während das nächste, um  $90^0$  verstellte Glied sich quer gegen die Gabel legt und damit bei laufender Kette die Bewegung des Wagens bewirkt. Der gefüllte Wagen wird unten im Bruche unter die laufende Kette geschoben und von dieser mit nach oben genommen. Oben kuppelt sich der Wagen von selbst ab, indem die höher gehende Kette sich aus der Gabel löst.

Hat man ein Drahtseil als Zugmittel, so wird statt der festen Gabel an der Stirnwand des Wagens eine doppelt gebogene, bewegliche Gabel<sup>1)</sup> befestigt. (Vergl. in Fig. 8 die Abbildung des Wagens.) Schiebt der Arbeiter dann den gefüllten Wagen unter das Seil, so legt sich dieses in die Gabel. Infolge der Kröpfung der Gabel dreht sich diese beim Anziehen des Seiles etwas um sich selbst und klemmt sich dadurch an das Seil an. Oben hebt sich das Seil ebenso wie die Kette aus der Gabel von selbst heraus, sodaß auch hier das Abkuppeln ein automatisches ist.

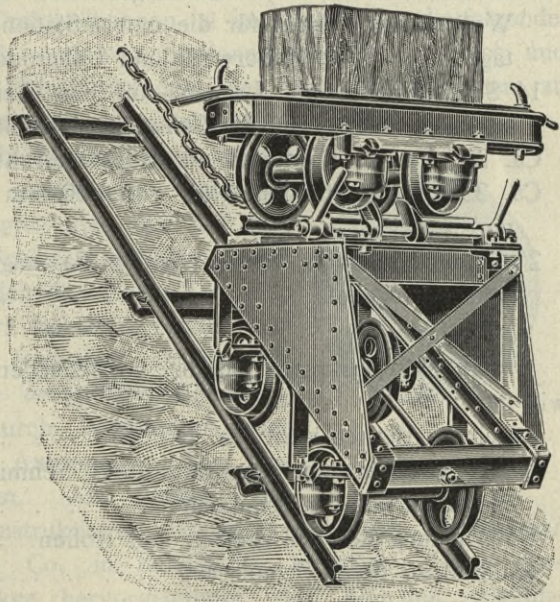


Fig. 10.

Die früher beliebten Klemmkuppelungen (Fig. 9) werden heute weit seltener genommen. Auch hier ist nur das Ankuppeln nötig. Oben läuft das Rad mit seinen Außenspeichen oder Daumen auf eine entsprechend geformte Laufschiene auf, in welche die Daumen eingreifen und durch Zurückdrehen des Klemmrades das Seil aus der Klemmvorrichtung loslassen. —

<sup>1)</sup> Bekannt auch unter der Bezeichnung als „englische“ Gabel.

Ist übrigens der Abfall des Bruches vom Werk sehr steil, sodaß ein Ueberkippen der Wagen nach hinten und dadurch ein Herausfallen des Materials aus dem Wagen zu befürchten wäre, so wird der Wagen nicht direkt befördert, sondern auf einen entsprechend gebauten Unterwagen (Fig. 10) geschoben und auf diesem zum Werk befördert. Erforderlich sind demgemäß hierzu zwei Unterwagen, welche fest an das Drahtseil oder die Kette angekuppelt werden.

Als *Kosten der Anlage und des Betriebes* mögen die folgenden Zahlen aufgeführt werden, die natürlich je nach den Verhältnissen stark schwanken können.

Nehmen wir einmal als Beispiel eine zweigleisige Drahtseilbahn von 600 mm Spurweite und geschlossenem Oberseilbetrieb auf mäßig geneigter Strecke von ca. 100 m Länge für eine Tagesleistung von 150 cbm = rund 4,000 Ztr. (200,000 kg) Kalkstein bei einer Fördergeschwindigkeit von durchschnittlich 1 Sekundenmeter und 15 m Wagenabstand.

Eine solche Anlage kostet mit allem Zubehör:

Antriebsvorrichtung für Riemenbetrieb (durch eine bereits vorhandene Dampfanlage), bestehend aus Riemenscheibe mit Riemen, Zahnräderübersetzung, Antriebseilscheibe mit Gegenscheibe und Seilspannvorrichtung, Seilleitrolle zur Führung des Drahtseiles auf die Gleismitten, mit Wellen und Lagern für die obere Station, ferner Seilrückleitungsscheibe mit Führungsrollen, Wellen und Lagern für die untere Station, einschließlich Montage, aber ohne Mauerwerk und Ueberdachung . . . . .	M. 1,500
14 Seiltragrollen, mit Lagern, auf den Gleisschwellen montiert und gleichmäßig auf die Schwellen verteilt . . . . .	„ 120
Ca. 250 lfd. m. Förderseil aus Gußstahldraht . . . . .	„ 200
Ca. 250 lfd. m Stahlbahngleis von 600 mm Spurweite, montiert und verlegt . . . . .	„ 750
20 Stahlförderwagen von ca. $\frac{3}{5}$ cbm Fassungsvermögen, mit Seilmitnehmergabeln . . . . .	„ 2,200
Gesamte Einrichtung	M. 4,770

Die Betriebskosten dieser vorstehenden Anlage stellen sich jährlich wie folgt:

Anteil an Betriebskraft (ca. 5 P.S.) . . . . .	M. 180
Anteil an Wartung, Reparatur und Schmierung der Betriebsmaschine und Transmission . . . . .	„ 120
Unterhaltung der Seilscheiben und Rollen . . . . .	„ 40
Material zu deren Schmierung . . . . .	„ 10
Seilverschleiß . . . . .	„ 30
Reparatur der Mitnehmer . . . . .	„ 20
Unterhaltung und Schmierung der Förderwagen . . . . .	„ 220
2 Arbeiter zum Einstellen und Abnehmen der Förderwagen . . . . .	„ 1,600
Ca. 10 % Abschreibung . . . . .	„ 480
M.	2,700

Bei einer Jahresleistung von  $300 \times 150 = 45,000$  cbm kostet demnach 1 cbm 6 Pf.

\* \* \*

Auf Wegen mit etwas Gefälle müssen, gemäß Vorschrift der Steinbruchs-Berufsgenossenschaft, alle Wagen mit einer sicheren und eventl. automatisch wirkenden Bremsvorrichtung versehen werden. An den kleinen Muldenkippern kann man sich solche Bremse nach Fig. 11 leicht selbst anbringen. Dieselbe wird mit dem Fuß bedient, sodaß der Arbeiter beide Hände freibehält.

\* \* \*

Die Förderung mittels Schienenweges auf ebener Erde ist naturgemäß in Anlage und Betrieb am billigsten und bequemsten. Indessen finden sich oftmals einzelne Umstände, welche diese Art Transportmittel unmöglich machen.

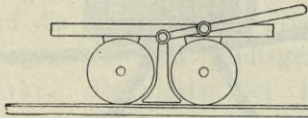


Fig. 11.

Haben wir z. B. öffentliche Straßen, Wasserläufe, tiefe Terrain-Einschnitte oder fremde Ländereien zu überschreiten, so wird eine andere Beförderungsweise zu wählen sein: die *Drahtseil-Luftbahn*, auch wohl *Schwebebahn* genannt.

Die Einrichtung solcher Drahtseilbahnen ist im allgemeinen die folgende.

Zwischen zwei oder auch mehreren Stationen, also etwa Bruch und Kalkofen, werden in *gerader* Linie zwischen den einzelnen Stationen an verschiedenen Stellen Gerüste aufgeführt, welche zwei starke Drahtseile tragen. Diese beiden Drahtseile, welche also immer je zwei Stationen miteinander verbinden, stellen ein schwebendes Doppelgleis dar, nur mit dem Unterschiede, daß statt zweier Schienen nur eine solche, das Trag- oder Laufseil, vorhanden ist. Diese Tragseile sind an den Stationen nicht starr befestigt, sondern erhalten ihre Spannung durch Belastung mittels freischwebender Gewichte. Diese *bewegliche* Spannung ist nötig, um dem Seil die durch Temperatur- oder sonstige Einflüsse verursachte Ausdehnung oder Zusammenziehung zu ermöglichen. Als Tragseil hat

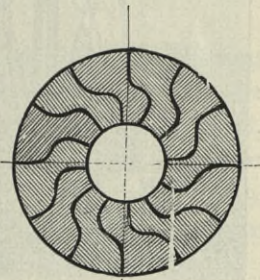


Fig. 12.

sich neben anderen guten Konstruktionen besonders auch das *Simplexseil* (Fig. 12) der Firma Otto & Co. in Schkeuditz bewährt. Seine Anwendung ist aus dem Gedanken hervorgegangen, daß bei den gewöhnlichen Spiralseilen oftmals die Innendrähte brechen, während die Außendrähte scheinbar noch unversehrt sind. Ein derartiges einseitiges Reißen oder Brechen ist aber immer zu befürchten, da es wohl ausgeschlossen ist, Innen- und Außendrähte, selbst wenn sie von vornherein auf gleichmäßige Beanspruchung konstruiert sind, auch darin zu erhalten. Denn die Außen-

drähte werden meist durch das direkte Darüberfahren der Wagen stärker gedehnt und damit in ihrer Zugkraft beeinflusst. Dem gegenüber besteht das Simplexseil nur aus einer einzigen Lage von Drähten, die alle auf Zug, Biegung, Torsion und Streckung durchaus gleichmäßig beansprucht werden. Hierzu kommt noch der Vorteil einer vollkommen glatten Oberfläche.

Die Tragseile werden auf den Holmen, hölzernen oder eisernen, auf Armen befestigt. Diese Auflager waren früher starr, sodaß beim Auflaufen des Wagens das Tragseil an dieser Stelle stark geknickt wurde. Neuerdings (vergl. dazu Fig. 13) sind die Auflager im Mittelpunkte beweglich und ermöglichen damit ein glattes und stoßreies Auffahren der Wagen auf das Auflager.

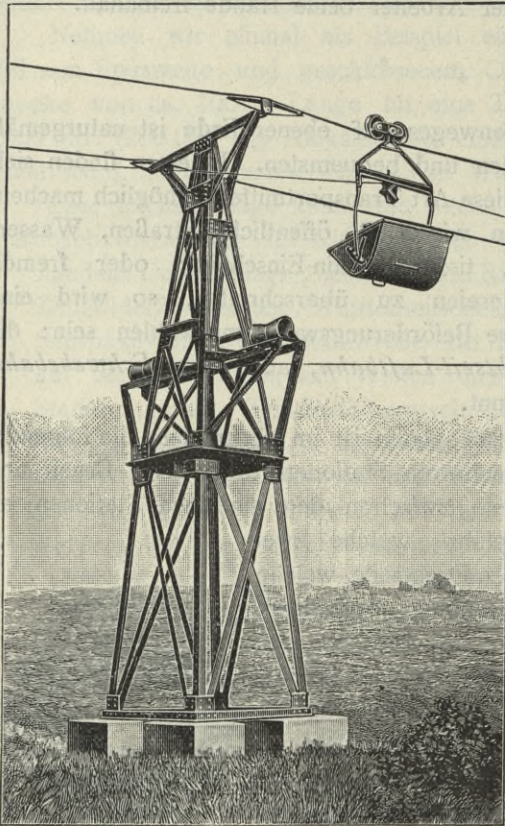


Fig. 13.

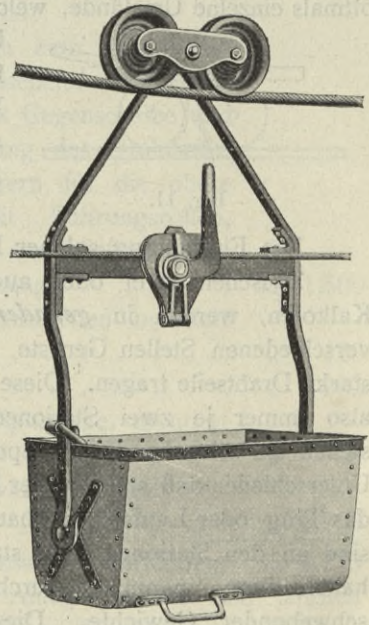


Fig. 14.

Auf den Tragseilen laufen die einzelnen Wagen (Fig. 14), und zwar, um die Arme der Holme glatt passieren zu können, einseitig nach außen. Der Wagen selbst besteht aus einem Laufwerk, zwei Rillenrollen an einer Traverse, an welcher an einem Drehbolzen das Gehänge mit dem Wagenkasten frei beweglich aufgehängt ist. Der Wagenkasten ist mit seinem Zapfen im Gehänge ebenfalls beweglich und zum Kippen eingerichtet; die Feststellung erfolgt durch eine einfache Arretiervorrichtung.

Die Fortbewegung der Wagen erfolgt durch ein besonderes zweites, dünneres Seil, das *Zugseil*. Dieses ist auf den Stationen, geradeso wie beim Bremsberge, um meist horizontal gelagerte Seilscheiben geführt und durch



diese resp. durch eine auf sie mittels Vorgelege übertragene Betriebskraft in Bewegung gesetzt.

Zur Befestigung der Wagen an die Zugseile dienen verschiedene Arten von Kuppelungen, wie eine solche z. B. auch aus Fig. 14 ersichtlich ist. Leider wird nur durch die meisten derselben das Zugseil etwas geknickt. Man wendet deshalb, besonders auch bei stärkeren Steigungen, statt der üblichen Hebelkuppelungen lieber einen als Schraubstock ausgebildeten Friktionsapparat an.

Die Lage des Zugseiles erhellt ebenfalls aus Fig. 14. Es ist das die gewöhnliche, die man auch als *Unterseilbetrieb* bezeichnet. Dieser Unterseilbetrieb hat indessen verschiedene Mängel. So wird z. B. bei stärkeren Steigungen, über 1:3, das Zugseil auf das Wagengehänge hebelartig einwirken. Der Wagen wird dann nicht mehr lotrecht oder wenigstens annähernd lotrecht hängen. Die Wagenkasten können nicht mehr voll beladen werden und die Knickung der Tragseile beim Auflaufen der Wagen auf das Auflager wird eine bedenklich starke. Besonders bei etwas weiter auseinander stehenden Holmen tritt dieser Uebelstand sehr unangenehm auf. Auch soll beim Kurvenfahren die Geschwindigkeit beim Unterseilbetrieb nicht sehr über 1 Sekundenmeter hinausgehen.

Zur Vermeidung von diesen Uebelständen ist man daher in letzter Zeit zum *Oberseilbetrieb* übergegangen, der sich ausgezeichnet bewährt hat.

Die Anordnung des Seiles zum Tragseil und die Kuppelung des Wagens ist aus Fig. 15 ersichtlich. Es geht daraus ohne weiteres hervor, daß der Wagen selbst bei stärksten Steigungen vollkommen senkrecht hängen wird. Das Oberseil muß dabei immer innerhalb der Tragseilspur liegen und zwar möglichst nahe der Lauffläche der Traversenlaufräder. Die praktisch erreichbar größte Nähe des Angriffs des Zugseiles zur Lauffläche der Traversenrollen liegt naturgemäß dicht am Aufhängungspunkte des Gehänges. —

Die Geschwindigkeit der einzelnen Wagen resp. die Zugseilgeschwindigkeit richtet sich ganz nach der Höhe des Förderquantums und den an die Bahn gestellten Anforderungen, ferner nach der Wagengröße. Diese letztere ist naturgemäß von dem spezifischen oder Raum-Gewichte des zu fördernden Materials abhängig. Bei normalem Förderquantum wird man den Wagen resp. Wageninhalt so groß nehmen, daß die Arbeitskraft des Arbeiters, der den Wagen anschiebt und abnimmt, eben ausgenutzt wird. Andererseits soll der Wageninhalt nicht zu groß sein, da sonst die Tragseile sehr stark und schwer werden müßten. Die Geschwindigkeit nimmt man natürlich, besonders bei langen Strecken, um nicht allzu viel Wagen beschaffen zu müssen, so groß wie möglich, doch nicht über 3 Sekundenmeter hinaus.

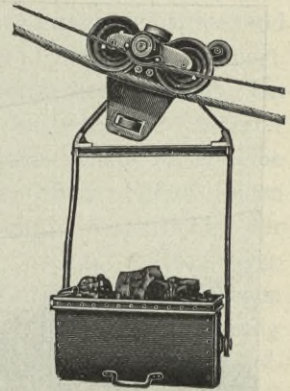


Fig. 15.

Haben wir nun z. B. eine Bahn von 1,200 m Länge, bei einer Steigung von 60 m, also 1 : 20, und sollen täglich innerhalb 10 Stunden 500 Tonnen = rund 400 cbm Kalkstein befördert werden, so ergibt sich hierfür die folgende Aufstellung.

Bei 0·3 cbm = 375 kg Wageninhalt sind pro Stunde 133 Wagen zu fördern, oder alle 27 Sekunden 1 Wagen. Bei 2·5 Sekundenmeter-Zugseilgeschwindigkeit betragen demnach die Wagenabstände 67·5 m, sodaß sich also auf der Strecke  $2 \left( \frac{1.200}{67.5} + 1 \right) =$  rund 38 Wagen befinden. Unter der Annahme, daß bei Seilbahnwagen der Reibungskoeffizient 0·02 ist, berechnet sich die Betriebskraft zu 24 P.S. als rein für die auf der Strecke befindlichen Wagen zu leistende Arbeit. Rechnet man dazu für Reibungsverluste auf den

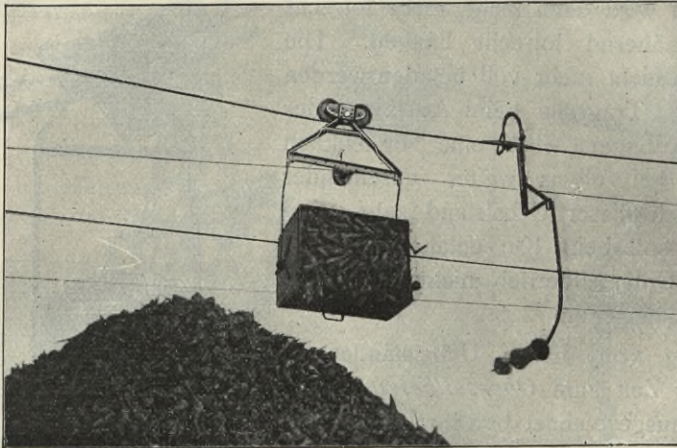


Fig. 16.

beiden Stationen und für Anfahren 3 P.S., so ergibt sich eine Bruttoleistung von ca. 27 P.S. — Bei dieser Anlage sind nur 2 Stationen in Betracht gezogen.

Für jede Kurve wird nun meistens eine besondere Station erforderlich, sodaß bei mehreren Stationen der für das

Umkuppeln erforderliche Arbeiter den Betrieb entsprechend verteuert. Auch auf der Strecke selbst richtet man bisweilen Stationen ein, um event. die einzelnen Materialien auf bestimmten Plätzen gesondert entladen zu können. Will man hier den Arbeiter für das Ab- und Ankuppeln sowie das Entleeren der Wagen sparen, so wird auf der Strecke über dem hierzu ausgewählten Platz eine automatische Entleerungs-Vorrichtung angebracht (Fig. 16). Dieselbe löst nur die Arretierung des Wagenkastens, welch' letzterer dann sofort umschlägt und seinen Inhalt von selbst auskippt. Die Bewegung des Wagens wird dadurch nicht weiter aufgehalten. —

Am Ende der Drahtseilbahn, auch wohl schon auf den Zwischenstationen wird der Förderwagen meist vom Seil auf eine feste Schiene übergeleitet (Fig. 17), um auf dieser weiter durch das Werk geführt zu werden. Diese Art Schwebbahn oder *Hängebahn* auf fester Schiene ist besonders im inneren Betriebe in letzter Zeit sehr üblich geworden, da sie den Boden freiläßt. Sie hat z. B. für den Transport der Klinker vom Ofen zum Klinkerlager und andere derartige Transporte die Terrainbahn nahezu verdrängt.

Schwierigkeiten im Betriebe dieser Schwebbahn stellten sich, und besonders im Beginn ihrer Einführung, eigentlich nur bei der Ueberführung der Wagen durch eine Weiche ein. Aber auch dieser Uebelstand wurde bald

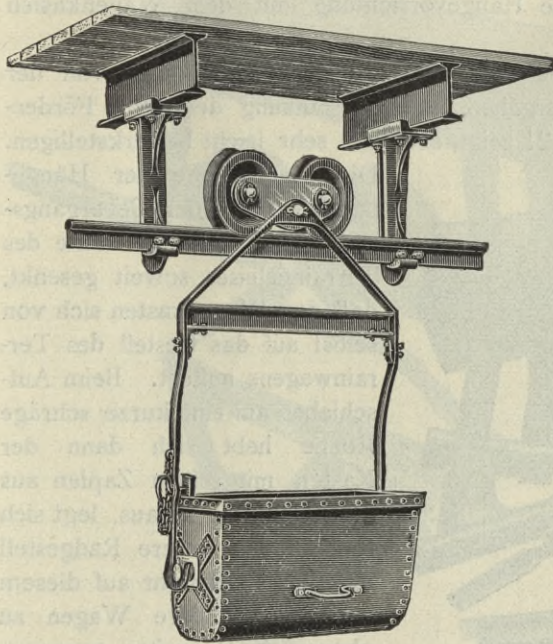


Fig. 17.

durch eine überaus einfache und sinnreiche Weiche der Firma Otto & Co., Schkeuditz, behoben. Diese Patentweiche (Fig. 18—20) besteht aus dem geraden bezw. gebogenen Herzstück und dem gebogenen bezw. geraden Anschlußstück. Das Herzstück ist den ausgekehlten Laufrädern der Hängebahnwagen entsprechend gerade und gebogen ausgespart. Durch einfaches Drücken am Kasten, an dem der Arbeiter den Wagen schiebt, ist derselbe imstande, ohne irgend einen Griff behufs Verstellung der Weiche tun zu müssen, also ohne Aufenthalt den Wagen von einem zum andern Strang überzuführen. Das Anschlußstück ist vom Herzstück durch einen kleinen Zwischenraum getrennt, damit das Durchfahren der Wagen, bei welchen die Gehänge in hierzu passender Weise konstruiert sind, möglich ist. Das Anschlußstück ist ebenso wie das Herzstück den Laufrädern der Hängebahnwagen entsprechend ausgespart.

Die Art der Ueberführung der Wagen durch die Weichen zeigen die Fig. 19 und 20; auf ersterer befindet sich der die Weiche durchfahrende Wagen auf dem Bogen - (Herz -) Stück, auf letzterer befindet

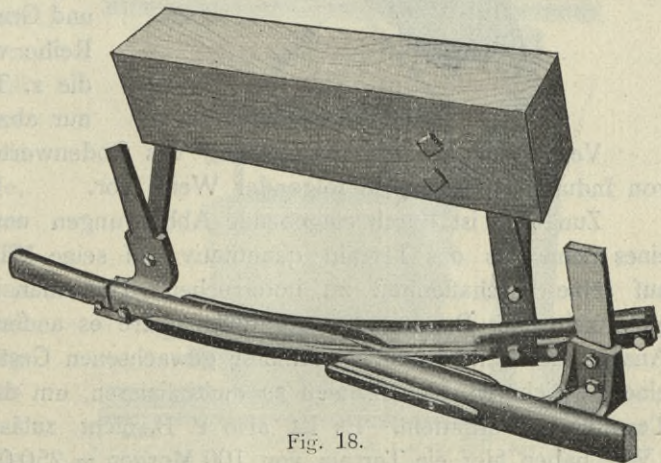


Fig. 18.

er sich auf dem geraden Anschlußstück und dem Bogen-(Herz-)Stück.

Tatsächlich funktioniert diese Weiche ganz ausgezeichnet: ein Herabfallen der Wagen ist bei nur etwas Aufmerksamkeit des Arbeiters nahezu ausgeschlossen.

Eine andere Weiche für Hängebahnen von Beck & Henkel findet sich in No. 136 der Tonindustrie-Zeitung von 1902 beschrieben. Hier wird ein I-Träger als Laufschiene verwendet, an welcher an je 2 Laufrollen (an Traversen) auf beiden Seiten die Hängevorrichtung mit dem Wagenkasten hängt. —

Will man schließlich, wie es wohl mal erwünscht sein kann, von der Hängebahn zur Terrainbahn übergehen, unter Benutzung derselben Fördergefäße, so läßt sich das, wie Fig. 21 zeigt, ebenfalls sehr leicht bewerkstelligen.

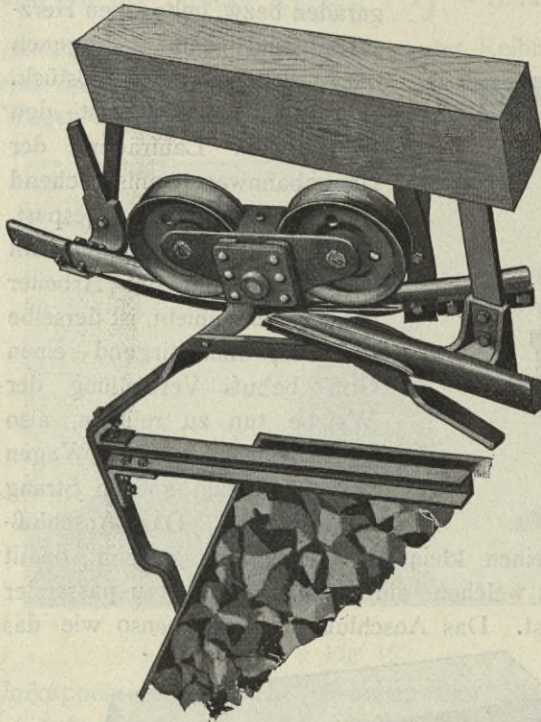


Fig. 19.

Die Laufschiene der Hängebahn wird an der Uebergangsstelle direkt über die Mitte des Terraingeleises soweit gesenkt, daß der Wagenkasten sich von selbst auf das Gestell des Terrainwagens auflegt. Beim Aufschieben auf eine kurze schräge Ebene hebt sich dann der Kasten mit seinen Zapfen aus dem Gehänge heraus, legt sich fest auf das untere Radgestell und kann nunmehr auf diesem wie jeder andere Wagen zu ebener Erde weiter transportiert werden.

#### b. Bewertung.

Bei der Bewertung der Rohmaterialien resp. der Brüche und Gruben kommt eine ganze Reihe von Punkten in Betracht, die z. T. individuell und daher nur abzuschätzen sind.

Verf. geht bei der Feststellung des Bodenwertes resp. der Taxierung von Industrie-Geländen in folgender Weise vor.

Zunächst ist durch eingehende Abbohrungen und Abteufung wenigstens eines Schachtes das Terrain quantitativ auf seine Mächtigkeit und qualitativ auf seine Beschaffenheit zu untersuchen. Hat man so einerseits die Ausgiebigkeit eines Bruches festgestellt, so wäre es andererseits ganz falsch, die Anzahl der gefundenen Cubikmeter gewachsenen Gesteins ohne weiteres mit einem beliebigen Koëffizienten zu multiplizieren, um danach den Geldwert des Terrains zu ermitteln. Es ist also z. B. nicht zulässig, einfach zu sagen: „Wir haben hier ein Terrain von 100 Morgen = 250,000 qm. Die Mächtigkeit des Bruches geht bis zu 12 m, also haben wir 3 Millionen Cubikmeter gewachsenen Stein. Jedes Cubikmeter setzen wir mit 10 Pf. ein, demnach ist der betreffende Bruch 300,000 M. wert.“

Diese Rechnung stimmt nur bis zu den 3 Millionen Cubikmeter. Aber der Wertfaktor von 10 Pf. pro Cubikmeter gewachsenen Stein entbehrt voll-

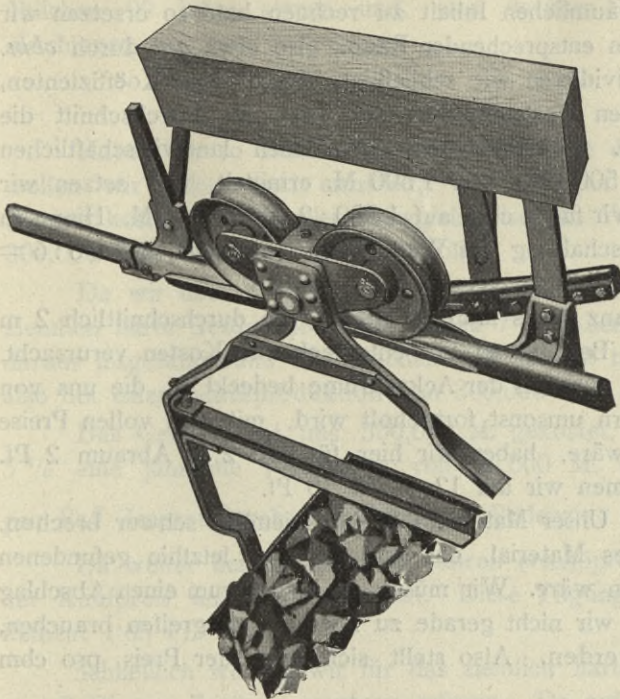


Fig. 20.

ständig der Begründung. Wie aber kommen wir zu einem brauchbaren Wertfaktor? — Nehmen wir einmal an, das Gelände soll das Rohmaterial für eine Portlandzementfabrik hergeben. Da werden wir uns entweder von der Qualität des Rohmaterials durch chemisch-analytische Untersuchung, Probebrände und mechanisch-technische Prüfung des erbrannten Zementes ein sicheres Bild machen, oder wir werden uns bei Taxationen schon im Betrieb befindlicher Werke von der Güte des erzeugten Zementes überzeugen.

fest, daß ein Zement von 20 kg Zugfestigkeit (1 : 3 Sand) nach 28 Tagen vorliegt, während die deutschen Normen nur 16 kg beanspruchen. Ein Zement von nur 16 kg gilt aber sehr wenig im Handel. Also legen wir die bessere Qualität von 18 kg als Handelsnorm zu Grunde, für welche wir 1 cbm gewachsenen Stein mit 10 Pf. als Grundpreis einsetzen. Unser Material stellt sich mit 2 kg höherer Zugfestigkeit also auf  $10 + 2 = 12$  Pf.

Hier fehlt aber noch die Begründung der Preishöhe von 10 Pf. pro cbm gewachsenen Bodens. Für

Wir stellen also etwa

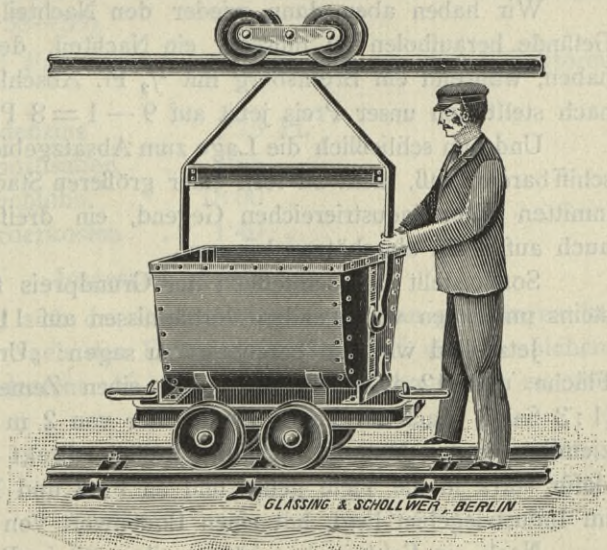


Fig. 21.

diese Begründung gehen wir zunächst vom land-

wirtschaftlichen Bodenwerte der betreffenden Gegend aus. Da aber die Landwirtschaft nur mit der Fläche des Geländes, die Industrie in unserem Falle dagegen mit dem räumlichen Inhalt zu rechnen hat, so ersetzen wir weiter die Fläche durch den entsprechenden Raum, also etwa *qm* durch *cbm*. Die so gewonnene Zahl dividieren wir schließlich durch einen Koeffizienten, für welchen nach vielfachen Feststellungen des Verf. im Durchschnitt die Ziffer „6“ anzunehmen ist. — Haben wir also einen landwirtschaftlichen Bodenwert pro Morgen (2,500 *qm*) von 1,500 M. ermittelt, und setzen wir *cbm* statt *qm*, so kommen wir für 1 *cbm* auf  $1,500 : 2,500 = 0,60$  M. Hiernach stellt sich 1 *cbm*, unter Einschaltung des Wert-Koeffizienten „6“, auf  $0,6 : 6 = 0,10$  M. resp. 10 Pf.

Nun aber ist unser ganz gutes Material leider von durchschnittlich 2 m Abraum überlagert, dessen Beseitigung uns entsprechende Kosten verursacht. Während ein Material, das nur von der Ackerkrume bedeckt ist, die uns von den umliegenden Bauern gern umsonst fortgeholt wird, mit dem vollen Preise von 12 Pf. zu bewerten wäre, haben wir hier für die 2 m Abraum 2 Pf. abzuschlagen. Damit kommen wir auf  $12 - 2 = 10$  Pf.

Nun zur Brucharbeit! Unser Material läßt sich ziemlich schwer brechen. schwerer als normal hartes Material, das voll mit dem letztthin gefundenen Werte von 10 Pf. einzusetzen wäre. Wir müssen also wiederum einen Abschlag vornehmen, den wir, weil wir nicht gerade zu Dynamit zu greifen brauchen, auf nur 1 Pf. bemessen werden. Also stellt sich jetzt der Preis pro *cbm* auf  $10 - 1 = 9$  Pf.

Dagegen haben wir den Vorteil, daß unser Bruch direkt am Werk liegt; wir dürfen also hier an den 9 Pf. festhalten.

Wir haben aber dann wieder den Nachteil, das Material aus tieferem Gelände heraufholen zu müssen, ein Nachteil, den wir mit 1 Pf. zu büßen haben, während ein Bremsberg mit  $\frac{1}{2}$  Pf. Abschlag einzusetzen wäre. Demnach stellt sich unser Preis jetzt auf  $9 - 1 = 8$  Pf.

Und nun schließlich die Lage zum Absatzgebiet! Wir liegen an Bahn und schiffbarem Fluß, nicht zu fern einer größeren Stadt und nahezu konkurrenzlos inmitten einer industriereichen Gegend, ein dreifacher Vorteil, den wir also auch auf 3 Pf. einschätzen können.

Somit stellt sich schließlich der Grundpreis für 1 *cbm* gewachsenen Gesteins unter den vorliegenden Verhältnissen auf 11 Pf.

Jetzt sind wir also berechtigt zu sagen: „Unser Bruch von 100 Morgen, Fläche und 12 m Mächtigkeit, der einen Zement von 20 kg Zugfestigkeit (1:3 Sand) nach 28 Tagen ergibt, der von 2 m Abraum überlagert ist, der ziemlich hartes Material ausgibt, freilich direkt am Werk gelegen ist, aber dafür stark in die Tiefe geht, und an Fluß und Bahn fast ohne Konkurrenz im Industriegebiet liegt, hat einen Bodenwert von 330,000 M.“

Noch ein Faktor aber ist zuweilen mit in Rechnung zu stellen. Oftmals wird von den Verkäufern als besonderer Vorzug hervorgehoben, daß der Bruch Material für mehrere Jahrhunderte hergäbe. Das ist völlig nichtssagend;

denn wir wissen gar nicht, ob wir z. B. nach 100 Jahren überhaupt noch Zement machen werden. Wir werden vielmehr hier als Höchstgrenze die üblichen 99 Jahre setzen und, was darüber hinaus geht, prozentualiter abschlagen.

\* \* \*

Haben wir so die Frage nach dem Werte des Bruches beantwortet, so wollen wir sofort auch ermitteln, was uns das Material nunmehr pro Faß Zement kostet. Wir wollen beispielsweise ein Werk einrichten, das jährlich 300,000 Faß Zement produzieren soll.

Da wir über 3 Millionen cbm gewachsenes Gestein verfügen und dieses ziemlich harte Gestein pro cbm nahezu 7 Faß Zement hergibt, so können wir daraus insgesamt rund 20 Millionen Faß Zement herstellen. Der Bruch reicht also bei einer Jahresproduktion von 300,000 Faß rund etwa 66 Jahre.

Das Gelände hat uns 330,000 M. gekostet, die bei einem Zinsfuß von 5 % eine jährliche Verzinsung von 16,500 M. verursachen. Das bedeutet pro Faß Zement durchschnittlich einen Bodenzins von  $\frac{5.5}{2} = 2.75$  Pf.

Da weiter der Bruch in 66 Jahren erschöpft ist, so muß in dieser Zeit der Kaufpreis amortisiert werden. Diese Tilgung kostet uns also pro Faß Zement 1.65 Pf.

Schließlich werden wir für das ziemlich harte Material einen Bruchlohn von 3 Pf. pro Zentner ansetzen müssen. Da auf 1 Faß Zement aber rund 6 Zentner Rohstein zu rechnen sind, so kostet uns der Bruchlohn 18 Pf., wozu noch 1.4 Pf. als Förderkosten aus dem Bruch zum Werk aufzuschlagen sind (vergl. hierzu auch S. 38—39).

Das Rohmaterial für 1 Faß Zement setzt sich also aus den 4 Faktoren zusammen:

Bodenzins . . .	2.75 Pf.
Amortisation . . .	1.65 „
Bruchlohn . . .	18.00 „
Förderkosten . . .	1.40 „
Insgesamt	<u>23.80 Pf.</u>

Wesentlich teurer stellt sich das Rohmaterial, wenn man gezwungen ist, es anderweitig zu kaufen. Nach den Erfahrungen des Verf. sind in solchem Falle pro Faß Zement mindestens 45—50 Pf. für das Rohmaterial zu veranschlagen.

dem wir wissen gar nicht ob wir a. B. nach 100 Jahren überhaupt noch  
 Zement machen werden. Wir werden vielleicht hier als Halbfabrikate die  
 übrigen 99 Jahre setzen und was darüber hinaus geht, proportional  
 zueinander. Das heißt man hat ein Verhältnis von 100 zu 100000000  
 und man kann sich das vorstellen wie ein Verhältnis von 100 zu 100000000  
 und man kann sich das vorstellen wie ein Verhältnis von 100 zu 100000000  
 und man kann sich das vorstellen wie ein Verhältnis von 100 zu 100000000

Es ist über 3 Millionen ein gewisses Gewicht verbleibt und dieses  
 ziemlich feste Gestein pro ein Kubikmeter 7 Mill. Zement ergibt, so können wir  
 daraus ungefähr rund 30 Millionen Fall Zement herstellen. Der Rest bleibt  
 also bei einer Jahreproduktion von 300.000 Fall rund etwa 66 Jahre.  
 Das Gewicht hat nur 230.000 M. Gewicht, die bei einem Kubikmeter von  
 2,4 eine jährliche Verzehrung von 18.000 M. vorzunehmen. Das bedeutet

man hat Zement durchschnittlich einen Verbrauch von 2,75 Pf.  
 Da weiter der Bruch in 66 Jahren eintreten ist, so muß die Zement  
 der Zement im Verhältnis werden. Diese Fertigung kann nur das pro Fall  
 Zement 1,6 Pf. pro Zement, so kann man die Fertigung des Zement

Schlusßlich werden wir für das Zement feste Material einen Bruchteil  
 von 2,7 Pf. pro Zement ansetzen müssen. Da auf 1 Fall Zement aber rund  
 6 Zement Kubikmeter zu rechnen sind, so kostet uns der Bruchteil 18 Pf.  
 wenn noch 1,4 Pf. als Förderkosten aus dem Bruch zum Werk auszubringen  
 sind (vergl. hierzu auch S. 38-39)

Das Rohmaterial für 1 Fall Zement setzt sich also aus den 4 Faktoren

Bodenmasse	2,75 Pf.
Amortisation	1,60
Bruchteil	18,00
Förderkosten	1,40
<hr/>	
Gesamt 23,80 Pf.	

Wesentlich kann sich das Rohmaterial, wenn man gewünscht ist  
 es anderwärts zu kaufen. Nach den Erfahrungen des Vork. sind in folgenden  
 Ballen pro Fall Zement mindestens 45-50 Pf. für das Rohmaterial zu ver-

anschlagung...



### III.

Die chemischen und technischen Untersuchungsmethoden zur Prüfung der Rohstoffe und fertigen Produkte sowie der Brennmaterialien.

## Die chemischen und technischen Untersuchungsmethoden zur Prüfung der Rohstoffe und fertigen Produkte sowie der Brennmaterialien.

- I. Bestimmung des Kohlenstoffgehalts der Brennmaterialien.
- II. Bestimmung des Sauerstoffgehalts der Brennmaterialien.
- III. Bestimmung des Wasserstoffgehalts der bei 1000°C. produzierten Substanz, meist (besonders bei Hochdruckgasen):
  - a) gravimetrisch,
  - b) volumetrisch.
- IV. Exakte Analyse der abgasförmigen Bestandteile im:
  - a) Gasstrom des heißen und kalten Abgases,
  - b) Röhrenanalyse.
- V. Aufschließen mit Kalium-Nachweisreagenzien:
  - a) Kieselsäure,
  - b) Tonerde- und Bismutoxid,
  - c) Manganoxydul,
  - d) Kalk.



### III.

## Die chemischen und technischen Untersuchungsmethoden zur Prüfung der Rohstoffe und fertigen Produkte sowie der Brennmaterialien.

Der Typus der exakten und technischen Analysen der Mörtelrohmaterialien und Substanzen ist in seinen Grundzügen ein sich ziemlich gleichbleibender: fast alle lassen sich auf die Analyse des Tones zurückführen. Selbst die Bestimmungen des Wassers und der Kohlensäure können füglich wie bei den Hochofenschlacken, wo solche unbedingt getrennt erfolgen müssen, auch beim Ton in Anwendung kommen. Die Analysen des Gipses, der Kalksteine und des Kalkes, der Zemente und ihrer Rohmischungen fallen aber ganz und gar mit der des Tones zusammen, nur daß dieser gewöhnlich noch umfangreicherer Vorarbeiten, Schlämmen, Aufschließen etc. bedarf. Für die Einzelanalysen soll die folgende Aufstellung und Einteilung maßgebend sein:

- I. Bestimmung der Grubenfeuchtigkeit der Rohmaterialien;
- II. Ausscheidung von Sand durch den Schlämmpreß;
- III. Bestimmung des Glühverlustes der bei 105° C. getrockneten Substanz, event. (besonders bei Hochofenschlacken):
  1. Bestimmung des Wassers,
  2. Bestimmung der Kohlensäure,
    - a) gravimetrisch,
    - b) volumetrisch;
- IV. Exakte Analyse der abgeschlammten Tonsubstanz etc.
  1. Bestimmung des löslichen und unlöslichen Anteiles,
    - a) Löslicher Anteil,
    - b) Rationelle Analyse,
  2. Aufschließen mit Kalium-Natriumkarbonat,
    - a) Kieselsäure,
    - b) Tonerde und Eisenoxyd,
    - c) Manganoxydul,
    - d) Kalk,

- e) Magnesia,
- f) Trennung von Tonerde und Eisenoxyd,
- g) Schwefelsäure;
- V. Trennung des Eisenoxyduls vom Eisenoxyd;
- VI. Bestimmung des Schwefels;
- VII. Bestimmung der Alkalien und Trennung des Kaliums vom Natrium;
- VIII. Vereinfachte Methoden für technische Zwecke:
  - 1. Bestimmung der Magnesia im abgekürzten Verfahren (Segger),
  - 2. Restbestimmung in der Zementroh Mischung,
  - 3. Bestimmung des hydraulischen Moduls im Zement,
  - 4. Titration von Kalk, nebst Tabellen des Gehaltes von Salzsäure und Natronlauge;
- IX. Untersuchungen der Brennstoffmaterialien:
  - 1. Feuchtigkeitsgehalt,
  - 2. Aschenbestimmung,
  - 3. Verkokungsfähigkeit der Kohlen,
  - 4. Schwefelgehalt,
  - 5. Bestimmung des Heizwertes;
- X. Rauchgasanalyse.

I. Die *Bestimmung der Grubenfeuchtigkeit* hat ausschließlich bei natürlich vorkommenden Rohstoffen zu erfolgen und zwar an frisch der Lagerstätte entnommenem Material. Sie geschieht durch Trocknen einer größeren Menge von mindestens 100 g auf einer vorsichtig erwärmten Eisenplatte oder im Trockenschrank; die Temperatur soll dabei 105° C. nicht übersteigen.

Kalksteine enthalten gewöhnlich je nach ihrer Dichte resp. Porosität 3—12 % Wasser, Ton bis zu 27—30 %, Kreide und Wiesenkalk bis zu 34 bis 46 %.

Die Gewichts Differenz ergibt die natürliche Grubenfeuchtigkeit. Nach dem Trocknen der Materialien können diese entweder direkt zu den weiteren Versuchen benutzt werden, oder sie werden erst gröblich im Diamantmörser zerstoßen und dann in einem Porzellan- und Achatmörser fein gerieben, bis jedes Knirschen unter dem Pistill aufgehört hat. Für größere Mengen kann man sich auch einer kleiner Laboratoriumskugelmühle bedienen, die entweder mit der Hand oder durch Gas- resp. Wasserkraft betrieben wird. Speziell bei vorhandenen Wasserleitungen sind die heutzutage recht kompensiösen und leistungsfähigen kleinen Wassermotoren sehr zu empfehlen.

II. *Der Schlammprozeß*. Die Trennung des wirksamen Tonanteiles von dem gewöhnlich mehr oder minder beigemengten Sande von verschiedener Korngröße erfolgt durch Abschlämmen.

Etwa 50 g der getrockneten Masse werden in einer geräumigen halbkugelförmigen Porzellanschale von ca. 150 mm Durchmesser mit Wasser angerührt, mit Salzsäure übergossen und etwa eine Stunde lang gekocht. Die trübe Flüssigkeit wird vorsichtig abgegossen (in ein Becherglas, wenn sie weiter geprüft werden soll) und das Kochen mit einer neuen Menge verdünnter Salzsäure so oft wiederholt, bis ziemlich alle Tonsubstanz, die im Wasser jedesmal suspendiert wird, entfernt ist und fast nur noch die reinen Sandkörner nachgeblieben sind. Den letzten Tonrest schlämmt man unter einem schwachen Wasserstrahl derartig ab, daß man den Rückstand dabei mit dem Finger unter mäßigem Druck verreibt. Ist aller Ton auf diese Weise entfernt, so wird der Sand vorsichtig auf ein Uhrglas gespült, das überstehende Wasser abgegossen und der Sand getrocknet und gewogen.

Läßt sich ein Ton auf diese Weise schwer resp. nur unvollkommen zersetzen, so ist es nach Dr. Michaëlis erforderlich, ihn mit starker Schwefelsäure (2:1) abzurauen. Die dadurch ausgeschiedene Kieselsäure löst man in heißer 5 % Sodalösung (auf dem Wasserbade), und nun erst behandelt man den Ton wie oben mit Salzsäure. Das Abschlämmen wird alsdann oftmals leichter und vollständiger von statten gehen.

Immerhin erfordern diese Operationen einen nicht unbedeutenden Zeitaufwand; man hat infolgedessen versucht, das Abschlämmen rein mechanisch resp. automatisch zu bewerkstelligen.

Von den Apparaten, deren man sich dazu bedient, kommt in erster Reihe der Apparat von Schöne (Fig. 22) in Frage. Auch er freilich beansprucht im Gegensatz zu anderen derartigen Apparaten eine verhältnismäßig lange Zeit; dafür aber arbeitet er auch tadellos genau und beansprucht nur äußerst geringe Wartung.

Der Schöne'sche Schlämmapparat besteht im wesentlichen aus zwei Teilen, dem eigentlichen Schlämmtrichter und dem Druckmesser (Piezometer). Letzterer,

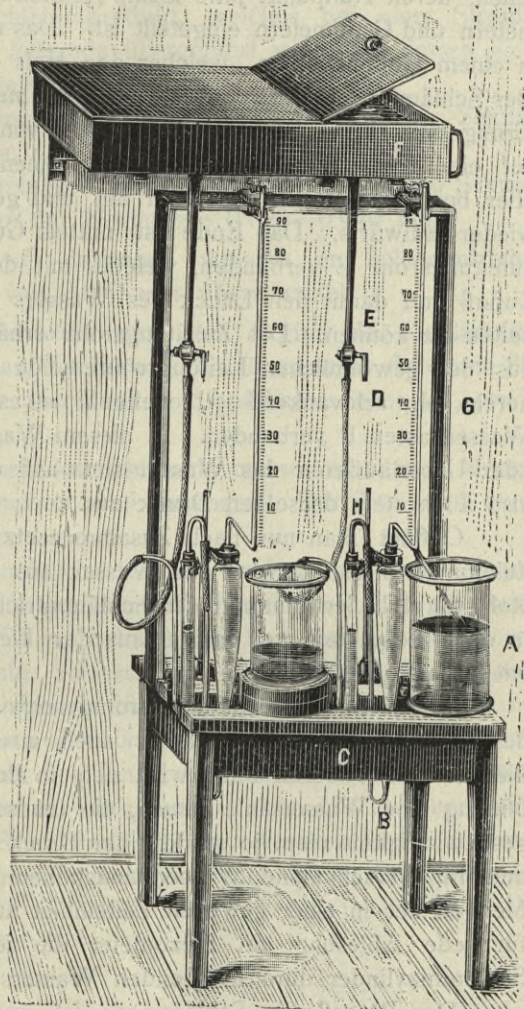


Fig. 22.

ca. 1000 mm lang, aus starkem, dickwandigem Glase (Barometerrohr) angefertigt, ist an seinem unteren Ende zweimal knieförmig gebogen. An dem ersten Knie ist genau im Scheitel eine kleine, vollkommen runde Oeffnung von etwa  $1\frac{1}{2}$  mm Durchmesser gebohrt, deren Ränder absolut rund sein müssen, was durch vorsichtiges Abschmelzen erreicht wird. Das Piezometer ist mit einer Skala versehen, deren Nullpunkt jene kleine Ausflußöffnung ist, und welche nach Millimetern und Centimetern eingeteilt ist. Das untere Ende des Piezometers steckt in einem Gummistopfen, welcher den Hals des Schlämmtrichters verschließt. Der Schlämmtrichter ist vom Halse an 100 mm abwärts zunächst genau zylinderförmig, mit einem lichten Durchmesser von 50 mm. Dann verzüngt er sich auf eine Länge von 500 mm bis auf einen lichten Durchmesser von 5 mm. Hier bei B biegt sich das Rohr um und geht, stets im selben Durchmesser, wieder aufwärts. Das Ende ist mittels Gummischlauches mit dem Wasserzuleitungsrohr E verbunden, welches mit dem Hahn D versehen ist, um den Zufluß und damit den Druck des Wassers genau regulieren und konstant erhalten zu können. Das Zuleitungsrohr erhält sein Wasser zweckmäßig nicht aus den gewöhnlichen Leitungsröhren, da bei diesen der Druck von vornherein sehr schwankend ist; vielmehr ist es am besten mit einem besonderen Wasserkasten F verbunden. In diesem Wasserkasten wird mittels Schwimmer oder Ueberlaufrohr das Wasser stets auf demselben Niveau erhalten; es übt also auch stets denselben Druck aus.

Oeffnet man nun nach Zusammensetzung des Apparates den Hahn des Zuleitungsrohres, so wird das Wasser aus dem Wasserkasten zunächst dieses Rohr durchfließen, dann in den Schlämmtrichter eintreten und aus diesem wieder in das Piezometer, um darauf aus der kleinen Oeffnung in dem einen Knie wieder auszutreten.

Ist der Druck resp. die Stromgeschwindigkeit nur ganz gering, so wird das gesamte zulaufende Wasser auch aus der Austrittsöffnung wieder ausfließen. Im anderen Falle wird sich in dem Piezometer über der Austrittsöffnung eine Wassersäule stauen, die um so höher ist, je schneller die Stromgeschwindigkeit resp. je stärker der Druck des Wassers wird. Bestimmt man nun für verschiedene Wasserstandshöhen im Piezometer die verschiedenen Mengen des in einer gewissen Zeiteinheit ausfließenden Wassers, so kann man für jede Ablesung am Piezometer die jeweilige Geschwindigkeit des den Schlämmzylinder durchströmenden Wassers berechnen.

Der Prozeß des Schlämmens ist nun ein unendlich einfacher. Wieder werden 50 g der Substanz mit verdünnter Salzsäure gekocht, etwa 1—2 Stunden, und dann die trübe Flüssigkeit zusammen mit dem Rückstande durch ein Sieb von 0.20 mm Maschenweite in den Schlämmtrichter eingegossen. Dann wird mit dem Gummistopfen das Piezometer fest aufgesetzt und der Hahn des Zuleitungsrohres geöffnet. Durch das aufdrängende Wasser werden dabei die feineren Tonpartikelchen mitgerissen und behufs weiterer Bestimmung in einem Becherglase aufgefangen; der schwerere Sand hingegen setzt sich in dem unteren, konischen Teile des Schlämmtrichters ab. Erst bei schnellerer Stromgeschwindig-

keit, also stärkerem Druck gehen auch Teile des Sandes mit über, sodaß man es ganz in der Hand hat, Sand von bestimmter Korngröße abschlämmen zu können. Nach dem dabei beanspruchten Druck resp. der entsprechenden Sekundenstromgeschwindigkeit hat man darum auch die Einteilung der Korngröße und Nomenklatur des Sandes vorgenommen (Seger).

Man heißt:

*Tonsubstanz* dasjenige Schlämmprodukt, welches bei einer Stromgeschwindigkeit von 0·18 mm pro Sekunde übergeführt wird und dessen Korngröße von 0—0·010 mm hinaufgeht,

*Schluff* das bei einer Stromgeschwindigkeit von 0·70 mm pro Sekunde übergehende Schlämmprodukt von der Korngröße 0·010—0·025 mm,

*Staubsand* das bei einer Stromgeschwindigkeit von 1·50 mm pro Sekunde übergehende Schlämmprodukt von der Korngröße 0·025—0·040 mm,

*Feinsand* (auch *Streusand*) dasjenige, welches im Schlämmtrichter zurückbleibt und die Korngröße von 0·040 mm überschreitet.

Der etwa vorhandene *Grobsand* wird vor Beginn des Schlämmens entfernt resp. bestimmt, indem man die gesamte Schlämmmasse durch ein Sieb von 0·20 mm Maschenweite gießt. Der Rückstand auf diesem Siebe ist „*grober Sand*“.

Die aus den einzelnen Phasen des Schlämmprozesses erhaltenen Mengen an Ton resp. Sand werden getrocknet und gewogen. Der Ton wird event. dann noch weiter untersucht.

Leider ist es sehr oft nicht möglich, den Ton im Apparate zu schlämmen. Die Wirkung des erweichenden (macerierenden) Wassers ist eben zu gering. In solchen, fast den meisten Fällen, behilft sich Verf. damit, daß er, wie schon erwähnt, den mit verdünnter Salzsäure (3 : 1) gekochten Ton in einer mitteltiefen Porzellanschale unter einem mäßigen Strahl der Wasserleitung und stetigem Umrühren mit den Fingern abschlämmt. Die Finger vertreten dann in günstiger Weise das Rechenwerk bei den großen Tonschlämmen der Praxis. Der Erfolg dieses überaus einfachen Verfahrens ist ein überraschend nachdrücklicher und schneller. Der Sand wird gut reingewaschen und kann event. nach dem Trocknen und Wägen noch gesiebt und nach seiner Korngröße bestimmt werden.

\* \* \*

III. *Glühverlust*: 1 g des bei 105° C. getrockneten Materials wird in einem Platintiegel über einer Bunsenlampe vorsichtig und anfangs nicht zu rasch erhitzt. Die Verstärkung der Glühhitze bis zur Vollflamme soll in einem Zeitraum von ca. 10 Minuten erfolgen. Die volle Flamme läßt man etwa 10 Minuten einwirken und glüht dann schließlich noch 30 Minuten über dem Gebläse.

Verf. möchte hierbei nicht verfehlen, für solche Laboratorien, die nicht mit Gas arbeiten, auf die ganz vorzüglichen Barthel'schen (Dresden)

Benzinbrenner ohne Docht hinzuweisen. Dieselben ersetzen durchaus die Bunsenflamme und sind in ihrer Handhabung derselben vollkommen gleich. Die größte Lampe hat etwa die Wirkung von vier vollen Bunsenflammen und entwickelt eine intensive Gebläsehitze. Verfasser pflegt dieselbe noch durch aufgesetzte Tonessen zusammenzuhalten und zu verstärken. Zu diesen Vorzügen kommt noch, daß diese starke Gebläselampe, wie auch die anderen, absolut keiner Wartung bedarf und somit das lästige Treten des Blasebalges fortfällt.

Die Lampen arbeiten durchaus nicht teuer: bei stärkster Gebläseflamme beträgt der Benzinverbrauch pro Stunde nur etwa 200 ccm Benzin.

Nachdem nun der Tiegel von der Lampe genommen ist, läßt man ihn im Exsikkator erkalten und wägt: der Verlust ist Wasser, Kohlensäure und Bitumen.

Die Anwesenheit von *Bitumen* kann man leicht durch Erhitzen der trockenen Substanz in einem Schmelzröhrchen ermitteln und an dem sich dabei entwickelnden brenzlichen Geruch erkennen.

Im übrigen ist die Bestimmung des Glühverlustes fast niemals richtig, da stets Nebenprozesse einhergehen. Es finden, besonders bei Hochofenschlacken, Oxydationen statt, die das Resultat derart beeinflussen, daß man manchmal statt des Verlustes sogar eine Gewichtszunahme konstatieren kann.

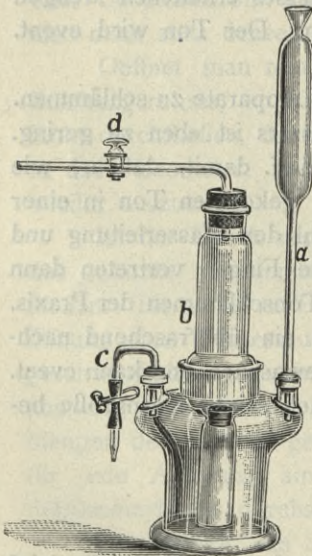


Fig. 23.

Für solche Fälle ist es unbedingt erforderlich, Wasser und Kohlensäure getrennt und direkt zu bestimmen. Diese Bestimmungen erfolgen, will man ganz exakt arbeiten, in einer Form, wie sie ähnlich die sogenannte Elementaranalyse organischer Stoffe aufweist.

1. *Wasserbestimmung*: Der dazu nötige Apparat besteht aus einem kleinen Gasometer, einigen Absorptionsgefäßen mit Schwefelsäure und Kalilauge, um die Preßluft des Gasometers zu trocknen und ihre Kohlensäure zu entfernen, einem Verbrennungsrohr aus schwer schmelzbarem Kalilgase sowie den eigentlichen Wasser-Absorptionsröhrchen. Letztere sind mit Chlorcalcium gefüllt, das vorher sorgfältig carbonisiert ist, um den etwa vorhandenen freien Aetzkalk unschädlich und so jede Aufnahme von Kohlensäure während des Ganges der Analyse unmöglich zu machen. Dieses Carbonisieren erfolgt in der Weise, daß man mittels Kipp'schen Apparates Kohlensäure in die Röhrchen einleitet und 24 Stunden unter Druck darin stehen resp. einwirken läßt. Die überschüssige Kohlensäure wird dann durch einen Luftstrom entfernt.



Statt des Kipp'schen Apparates nimmt man besser noch den von Barge<sup>1)</sup>, welcher die frische Salzsäure von der gesättigten Lauge getrennt enthält und darum ausgiebiger arbeitet (Fig. 23).

Man wägt 2 g<sup>2)</sup> der bei 105° C. getrockneten Substanz ab, mischt dieselben sorgfältig in einem kleinen Mischröhrchen mit 20 g ausgeglühtem Bleisuperoxyd und gibt das Gemenge in eine Kali-Glasröhre, die dann durch Gummistopfen gut verschlossen wird. Letztere sind durchbohrt und stehen mit den Absorptionsröhren vorn und hinten in Verbindung. Zunächst wird nun der Apparat auf seine Dichtigkeit geprüft, indem man das letzte Chlorcalciumröhrchen verschließt und den Gasometerhahn öffnet: es dürfen dann keine Blasen in die Standgefäße mit Schwefelsäure und Kalilauge eintreten.

Ist der Apparat dicht, so nimmt man die beiden Absorptionsröhrchen mit Chlorcalcium ab und wägt sie. Nachdem sie wieder angesetzt sind, läßt man aus dem Gasometer einen langsamen Strom von Luft durch den Apparat gehen und erhitzt das Kali-Glasrohr mit Substanz und Bleisuperoxyd. Bei stärkerem Erhitzen gibt die Substanz ihre Kohlensäure und ihr Wasser ab, ferner noch (besonders bei Hochofenschlacken) ihren Schwefel, der dabei sofort in Bleisulfat übergeht. Die Kohlensäure entweicht unabsorbiert in die Luft, während allein das Wasser in den vorgelegten Chlorcalcium-Röhrchen aufgefangen wird. Das Ende der Reaktion ist leicht zu erkennen: das Wasser setzt sich nämlich zunächst am kühlen Ende des Kali-Glasrohres ab, dicht am Gummistopfen, und muß von dort mittels einer besonderen Flamme übergetrieben werden. Ist dies geschehen und sind keine Tropfen mehr am Glase wahrzunehmen, so kann man annehmen, daß alles Wasser aus der Substanz ausgetrieben ist. Man löscht dann nach und nach die Flammen, läßt im Luftstrom erkalten, nimmt die Chlorcalcium-Röhrchen ab und wägt: die Gewichtszunahme gibt direkt den Wassergehalt der Substanz in Grammen an. — Resultate sehr scharf.

2. *Kohlensäurebestimmung*: Dieselbe kann in zweifacher Art ausgeführt werden, einmal für exakte Analysen gravimetrisch, das andere Mal für mehr technische Zwecke volumetrisch.

a) *Die gravimetrische Bestimmung der Kohlensäure* kann in verschiedener Weise erfolgen; will man ganz scharfe Resultate, also für wissenschaftliche Zwecke, haben, so ist einzig und allein die Methode von Fresenius-Classen (nach Kolbe) zu empfehlen, wobei die Kohlensäure durch Natronkalk absorbiert wird.

Ein Erlenmeyer-Kölbchen von ca. 250 ccm Fassung wird mit einem dreifach durchbohrten Gummistopfen versehen. Durch die erste Oeffnung geht ein bis auf den Boden reichendes Zuleitungsrohr, durch welches mittels des Gasometers kohlensäurefreie Luft zur Verdrängung der später im Kolben sich

1) Tonindustrie-Ztg., 1896, Seite 887.

2) Es ist zu empfehlen, stets in runden Zahlen abzuwägen: das erleichtert die folgende Berechnung. Bei den volumetrischen Apparaten ist es so wie so oft erforderlich.

entwickelnden Kohlensäure eingeleitet werden kann. Zwischen Kolben und Gasometer sind wieder Absorptionsgefäße mit Schwefelsäure und Kalilauge eingeschaltet, um die Luft zu trocknen und zu entsäuern, ebenso wie bei der Wasserbestimmung. Durch die zweite Oeffnung geht ein mit einem Hahn versehenes Trichterrohr, durch welches man die Zersetzungssäure einfließen läßt. Durch die dritte Oeffnung geht ein Kühlrohr. An dieses schließen sich hintereinander 2 U-Röhren, die zum Trocknen der Gase dienen. Die erste ist mit Glasperlen oder Glaswolle und konzentrierter Schwefelsäure, die zweite mit carbonisiertem Chlorcalcium gefüllt. Auf diese folgen die beiden eigentlichen Absorptionsröhren mit Natronkalk, deren hintere auch noch etwas Chlorcalcium enthält, um etwa aus dem vorderen entweichende Feuchtigkeit zurückzuhalten. Den Abschluß bildet nochmals ein Chlorcalciumrohr, um einen eventuellen Rückfluß des Gasstromes unschädlich zu machen. — Vor Beginn der Analyse ist der Apparat auf seine Dichtigkeit zu prüfen, indem man Luft durchleitet und diese eine Weile unter Druck darin stehen läßt.

Man wägt wieder 2 g der Substanz ab, gibt dieselben in den Zersetzungskolben, übergießt mit etwas Wasser und schließt den Stopfen. Sodann läßt man verdünnte Salzsäure (1 : 2) zufließen, erhitzt und kocht ca. 10—12 Minuten. Dann entfernt man die Flamme und läßt nun während des Erkaltsens etwa eine Stunde lang einen mäßigen Strom von Luft durch den Apparat gehen. Danach nimmt man die Natronkalk-Röhren ab und wägt sie zurück: die Gewichtszunahme ergibt den Gehalt der Substanz an Kohlensäure in Grammen.

Enthält die Substanz, wie z. B. fast alle Schlacken, merkliche Spuren von Schwefel, so schaltet man zwischen dem Kühler und dem ersten U-Rohr mit den in Schwefelsäure getränkten Glasperlen noch ein U-Rohr ein, das Bimssteinstückchen enthält, welche mit einer Lösung von Kupfersulfat genetzt sind. In diesem Rohr schlägt sich der aus dem Schwefel entwickelte Schwefelwasserstoff als Schwefelkupfer nieder. Bei stärkerem Schwefelgehalt soll man besser auch gleich noch in den Zersetzungskolben etwas Kupfersulfat-Lösung eingeben, um die Hauptmenge des Schwefelwasserstoffes sofort bei der Entstehung unschädlich zu machen. — Resultate sehr scharf.

Kommt es nicht auf allzugroße Genauigkeit an, so kann man sich den eben beschriebenen, immerhin umfangreichen Apparat ersparen und die Prüfung auf Kohlensäure in einfacherer Weise und zwar dann gewöhnlich durch Gewichtsverlust vornehmen. Es gibt dafür eine große Anzahl kleiner, handlicher Apparate, meist in einem Stück und vor der Lampe geblasen, bei denen man durch Ansaugen oder Lüften eines kleinen konischen Verschlusses die Säure zu der mit etwas Wasser übergossenen Substanz treten läßt. Die entweichende Kohlensäure muß natürlich auch hier durch Schwefelsäure oder carbonisiertes Chlorcalcium getrocknet werden. Vor und nach der Operation wägt man den ganzen Apparat mit Substanz, Wasser und Säure und findet aus dem Gewichtsverluste die entbundene Kohlensäure. Solche Apparate kann man sich selbst herrichten; ein sehr einfacher ist der folgende, nach Mohr, den Verf. etwas modifiziert hat.

Man nimmt ein kleines Kölbchen (Fig. 24) von 50—70 ccm Fassung, dessen Gummistopfen doppelt durchbohrt ist. In die eine Oeffnung ist ein Kugeltrichter-Rohr mit Hahn eingesetzt, für die Zersetzungssäure, in die andere ein Glasrohr, das sich oberhalb des Stopfens etwas erweitert und mit carbonisiertem Chlorcalcium angefüllt ist.

Man wägt 1 g Substanz in den Kolben ein und gießt etwas Wasser auf, so daß die Substanz vollständig damit bedeckt ist. Dann füllt man den Kugeltrichter mit Säure, schließt diesen und das Chlorcalciumrohr mit einem Korkstopfen und bringt den ganzen Apparat auf die Wage. Nach der Wägung entfernt man die beiden Korkstopfen und läßt nun tropfenweise die Säure zu der Substanz fließen, indem man dabei vorsichtig etwas umschüttelt. Ist alle Säure zugeflossen, so wird der Hahn geschlossen und der letzte Rest der Kohlensäure durch gelindes Erwärmen bis auf 50—60° C. ausgetrieben. Während des

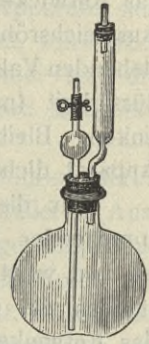


Fig. 24.

Erkaltens saugt man einen schwachen Luftstrom durch den Apparat, setzt die beiden Korkstopfen wieder auf und wägt den ganzen Apparat wieder zurück: der Gewichtsverlust gibt den Gehalt an Kohlensäure in Grammen resp. gleich direkt in Prozenten an.

Die etwas zu niedrigen Resultate schwanken freilich bis zu  $\frac{1}{2}\%$ . Und da es zudem bei diesen kleinen Apparaten auf eine große Handfertigkeit ankommt, so sind sie für häufiges Arbeiten nicht sonderlich zu empfehlen. Besser sind für diese mehr technischen Zwecke die folgenden volumetrischen Apparate.

b) Solcher volumetrischen Apparate zur Kohlensäure-Bestimmung gibt es eine ganze Reihe. Bei ihnen allen wird die Substanz durch Salzsäure (spez. Gewicht 1.124) zersetzt und die entwickelte Kohlensäure in einer Meßröhre aufgefangen.

α. Apparat nach Scheibler-Dietrich (Fig. 25). Der Apparat setzt sich zusammen aus der feststehenden Meßröhre a und der beweglichen Gleichgewichtsröhre b, die beide durch einen dickwandigen Gummischlauch mit einander in Verbindung stehen. Das obere Ende der Meßröhre ist zusammengezogen und mit einem Dreiwegehahn d versehen. Es ist mittels Gummischlauches mit dem Sicherheitsrohr c verbunden und steht durch dieses und einen zweiten Gummischlauch mit dem Entwicklungsgefäß in Kommunikation. Am Apparate ist gleich noch ein kleines

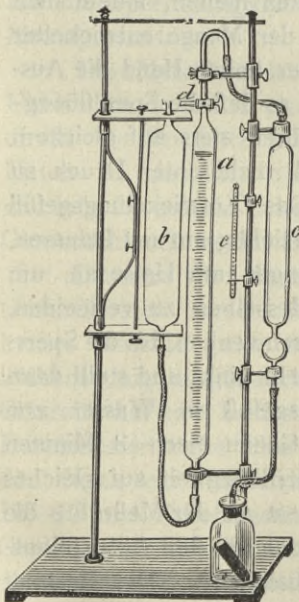


Fig. 25.

Thermometer e angebracht.

Die Meßröhre ist in 200 Teile eingeteilt, welche ihrerseits nochmals halbiert sind.

Man prüft den Apparat zunächst auf sein Dichtsein, indem man bei entsprechender Stellung des Dreiwegehahnes den Gummistopfen auf das Entwicklungsgefäß fest aufsetzt. Dann dreht man den Hahn so, daß nunmehr das Entwicklungsgefäß mit der Meßröhre kommuniziert und läßt dann die Ausgleichsröhre vollständig herunter. Infolge des in der Meßröhre dabei entstehenden Vakuums wird die anfangs genau auf den Nullpunkt eingestellte Sperrflüssigkeit (mit 1 % Borsäure abgekochtes Wasser) nur wenig Teilstriche sinken. Bleibt sie alsdann während 5 Minuten nahezu konstant, so ist der Apparat dicht.

Für die Ausführung des Versuches stellt man zunächst wieder bei entsprechender Stellung des Dreiwegehahnes die Flüssigkeit auf den Nullpunkt ein und wägt unter Beobachtung des jeweiligen Barometer- und Thermometerstandes die dafür in der beigefügten Tabelle angegebene Menge Substanz in das Entwicklungsgefäß ein. Dann füllt man das Säuregläschen mit 5 ccm Salzsäure vom spezifischen Gewicht 1.124, setzt es vorsichtig in das Entwicklungsgefäß ein und schließt dieses fest mit dem Gummistopfen. Nun dreht man den Dreiwegehahn wieder so, daß das Entwicklungsgefäß mit der Meßröhre kommuniziert. Darauf läßt man durch Neigen des Entwicklungsgefäßes die Säure langsam zur Substanz fließen, indem man zugleich je nach der Menge entwickelter Kohlensäure mit der linken Hand die Ausgleichsröhre senkt, so daß die Sperrflüssigkeit in beiden Röhren stets auf gleichem Niveau bleibt und nicht unter Druck zu stehen kommt. Das Entwicklungsgefäß faßt man dabei vorsichtig nur mit Daumen, Zeige- und Mittelfinger am Halse an, um jede Erwärmung desselben zu vermeiden, schüttelt unter Umschwenken, bis die Sperrflüssigkeit nicht mehr sinkt und stellt dann das Entwicklungsgefäß in Wasser von Lufttemperatur. Genau nach 3 Minuten stellt man die Sperrflüssigkeit auf gleiches Niveau ein und liest an der Meßröhre die

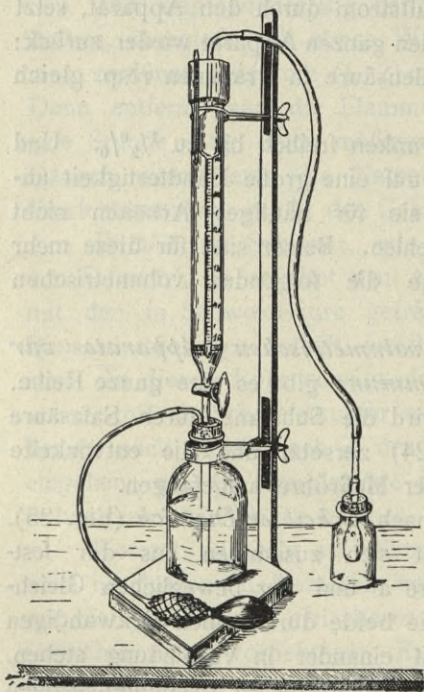


Fig. 26.

gefundenen Menge Kohlensäure ab. Dieselbe ist dann noch um den Absorptions-Koeffizienten zu erhöhen und die ganze Summe zu halbieren. Das Resultat gibt den in der Substanz enthaltenen kohlensauren Kalk in Prozenten an.

Nach Beendigung des Versuches lüftet man zunächst den Gummistopfen des Entwicklungsgefäßes, stellt die Sperrflüssigkeit gleich wieder auf Null ein und dreht den Dreiwegehahn sofort in die entsprechende Richtung. Damit ist der Apparat zu einem zweiten Versuch fertig.

Früher wurde als Sperrflüssigkeit vielfach Quecksilber genommen. Dasselbe zerstört aber sehr bald die Gummischläuche. Auch ist der Apparat schwer dicht zu bekommen.

β. Apparat nach *Baur-Cramer* (Fig. 26). Bei diesem Apparate sind Meß- und Ausgleichröhre nicht neben, sondern in einander stehend, sonst aber auch natürlich mit einander kommunizierend angeordnet. Dabei soll die äußere Ausgleichröhre gleichsam als Schutzmantel für die innere Meßröhre dienen und Temperatureinflüsse von ihr abhalten.

Der Apparat besteht also aus zwei ineinanderstehenden Röhren, deren innere, das Meßrohr, durch Korken genau in der Mitte der äußeren Ausgleichröhre gehalten wird. Diese letztere dient nur als Gleichgewichtsröhre für die Sperrflüssigkeit. Sie ist oben entweder erweitert und offen oder mit einem Stopfen bedeckt, durch den ein Trichter geht, um event. Flüssigkeit bequem eingießen zu können. Unten endigte diese Röhre ursprünglich in ein enger zusammengezogenes Ausflußrohr, das durch einen Hahn zu verschließen war. Dieses Ausflußrohr nun hat Cramer verlängert und läßt es in eine 1½-Literflasche (bis auf den Boden) einmünden, die andererseits noch mit einem Gummipressball in Verbindung steht. Statt, wie früher, umgießen zu müssen, kann man nun weit einfacher und bequemer mittels Druckluft die Sperrflüssigkeit in die beiden Röhren hinaufpressen.

Die Meßröhre ist in 120 ccm (nebst Unterteilen in halbe ccm) eingeteilt und gibt direkt die Procente kohlensauen Kalk an. Unten ist sie offen, oben zusammengezogen und mündet mittels Uebertragung durch einen Gummischlauch in das Entwicklungsglas ein.

Dasselbe wird durch einen durchbohrten Gummistopfen verschlossen, durch den ein kurzes Glasrohr geht, das am unteren Ende kolbenförmig ausgebaucht ist. Dieses kleine Glasrohr hat zwei Löcher, eines von 1—2 mm Durchmesser nahe über dem Gummistopfen, das durch ein Stückchen Gummischlauch verschließbar ist, das andere von 10—12 mm Durchmesser etwa in halber Höhe des Kolbenteiles. An dieses Glasrohr schließt sich der Gummischlauch zu der Meßröhre an.

Man wägt nun unter Berücksichtigung des Barometer- und Thermometer-Standes<sup>1)</sup> in das Entwicklungsglas diejenige Menge Substanz ab, welche die beigefügte Tabelle dafür angibt, und füllt mit einer ebenfalls von Cramer eigens dazu konstruierten Pipette 3 ccm Salzsäure vom spez. Gewicht 1.124

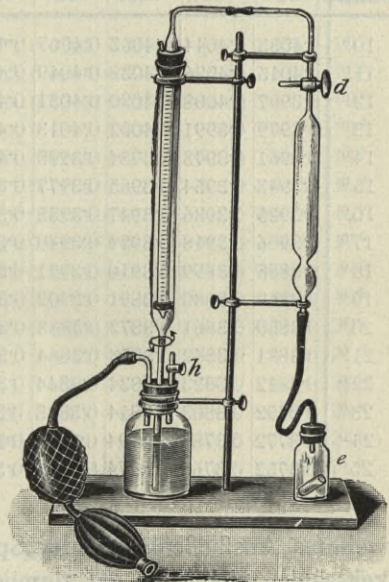


Fig. 27.

<sup>1)</sup> Das Thermometer hängt zwischen den beiden kommunizierenden Röhren.

in das Kolbenröhrchen. Dann dreht man den Stopfen fest auf und verschließt das bis dahin offen gebliebene kleine Loch über dem Stopfen durch Ueberstreifen des Stückchens Gummischlauch.

Vor dem eigentlichen Versuch prüft man den Apparat noch auf seine Dichtigkeit, indem man den Hahn des Ausflußrohres öffnet und die Sperrflüssigkeit bis zum Teilstrich 100 ausfließen läßt. Dabei darf die Flüssigkeit im Meßrohr nur um wenige Cubikcentimeter sinken und muß dann konstant auf gleicher Höhe bleiben.

Ist der Apparat dicht, so läßt man durch Neigen des Entwicklungsglases die Säure tropfenweise zur Substanz treten, indem man wieder entsprechend der Menge entwickelter Kohlensäure durch Oeffnen des Abflußrohres und

Gewichte der zu  
wenn ein Kubikcentimeter ein Prozent kohlen-sauren Kalk anzeigen soll,

Temp. nach Celsius	Millimeter												
	720	722	724	726	728	730	732	734	736	738	740	742	744
10 <sup>o</sup>	0.4033	0.4044	0.4055	0.4067	0.4078	0.4090	0.4101	0.4112	0.4124	0.4135	0.4146	0.4158	0.4170
11 <sup>o</sup>	0.4015	0.4026	0.4038	0.4049	0.4060	0.4072	0.4083	0.4094	0.4106	0.4117	0.4128	0.4140	0.4151
12 <sup>o</sup>	0.3997	0.4008	0.4020	0.4031	0.4042	0.4054	0.4065	0.4076	0.4087	0.4099	0.4110	0.4121	0.4132
13 <sup>o</sup>	0.3979	0.3991	0.4002	0.4013	0.4024	0.4036	0.4047	0.4058	0.4069	0.4080	0.4092	0.4103	0.4114
14 <sup>o</sup>	0.3961	0.3973	0.3984	0.3995	0.4006	0.4017	0.4029	0.4040	0.4051	0.4062	0.4074	0.4085	0.4096
15 <sup>o</sup>	0.3943	0.3954	0.3965	0.3977	0.3988	0.3999	0.4010	0.4021	0.4032	0.4044	0.4055	0.4066	0.4077
16 <sup>o</sup>	0.3925	0.3936	0.3947	0.3958	0.3969	0.3980	0.3992	0.4002	0.4014	0.4025	0.4036	0.4047	0.4058
17 <sup>o</sup>	0.3906	0.3918	0.3929	0.3940	0.3951	0.3962	0.3973	0.3984	0.3995	0.4006	0.4017	0.4023	0.4039
18 <sup>o</sup>	0.3888	0.3899	0.3910	0.3921	0.3932	0.3943	0.3954	0.3965	0.3976	0.3987	0.3998	0.4009	0.4020
19 <sup>o</sup>	0.3869	0.3880	0.3891	0.3902	0.3913	0.3924	0.3935	0.3946	0.3957	0.3968	0.3979	0.3990	0.4001
20 <sup>o</sup>	0.3850	0.3861	0.3872	0.3883	0.3894	0.3905	0.3916	0.3927	0.3938	0.3949	0.3960	0.3971	0.3982
21 <sup>o</sup>	0.3831	0.3842	0.3853	0.3864	0.3875	0.3886	0.3897	0.3908	0.3919	0.3929	0.3940	0.3951	0.3962
22 <sup>o</sup>	0.3812	0.3823	0.3834	0.3844	0.3855	0.3866	0.3877	0.3888	0.3899	0.3910	0.3921	0.3932	0.3943
23 <sup>o</sup>	0.3792	0.3803	0.3814	0.3825	0.3836	0.3847	0.3857	0.3868	0.3879	0.3890	0.3901	0.3912	0.3922
24 <sup>o</sup>	0.3772	0.3783	0.3794	0.3805	0.3816	0.3826	0.3837	0.3848	0.3859	0.3870	0.3881	0.3891	0.3902
25 <sup>o</sup>	0.3752	0.3763	0.3774	0.3785	0.3796	0.3806	0.3817	0.3828	0.3839	0.3850	0.3860	0.3871	0.3882

weiteres Ausfließenlassen der Sperrflüssigkeit dafür sorgt, daß beide Flüssigkeitssäulen sich stets auf ziemlich gleiches Niveau stellen: auf keinen Fall soll die Sperrflüssigkeit unter Druck stehen. Zur Beendigung der Reaktion schüttelt man das Entwicklungsglas etwas, wobei man sorglich jegliche Erwärmung durch die Hand zu vermeiden hat, stellt auf gleiches Niveau ein und liest nach einer Minute direkt die Prozente kohlen-sauren Kalk ab.

γ. Den vorstehenden Apparat hat Verf. dann nochmals umgemodelt (Fig. 27), und zwar nach der Art des Scheibler-Dietrich-Apparates. Der Korkstopfen des Standgefäßes ist durch einen Gummistopfen ersetzt, der noch eine dritte Bohrung hat. In dieser steckt ein Gummihahn h, um nach Bedarf das Standgefäß geschlossen oder mit der Atmosphäre kommunizierend zu haben. Ferner ist das Cramer'sche Säuregläschen durch ein gleiches wie beim Schreiber-

Dietrich ersetzt, da dieses leichter und rascher zu reinigen ist. Sonst arbeitet der Apparat genau so wie der nach Cramer.

\* \* \*

Für den jeweiligen Barometer- und Thermometerstand sind nun Tabellen ausgearbeitet, aus welchen man sofort die abzuwägende Menge Substanz ablesen kann. Für die Apparate unter β und γ sei diese Tabelle hier angefügt.

Für den Scheibler-Dietrich sind die gefundenen Zahlenwerte nur zu verdoppeln.

Bei all den drei vorstehend beschriebenen Apparaten ist dem wirklich

untersuchenden Substanz,  
bei 720—770 mm Barometerstand und den Temperaturen von 10—25 Grad Celsius.

Temp. nach Celsius	Millimeter												
	746	748	750	752	754	756	758	760	762	764	766	768	770
10 <sup>o</sup>	0.4180	0.4192	0.4203	0.4214	0.4226	0.4237	0.4248	0.4260	0.4271	0.4282	0.4294	0.4305	0.4317
11 <sup>o</sup>	0.4162	0.4173	0.4185	0.4196	0.4207	0.4219	0.4230	0.4241	0.4253	0.4264	0.4275	0.4286	0.4298
12 <sup>o</sup>	0.4144	0.4155	0.4166	0.4177	0.4189	0.4200	0.4211	0.4222	0.4234	0.4245	0.4256	0.4267	0.4279
13 <sup>o</sup>	0.4125	0.4137	0.4148	0.4159	0.4170	0.4182	0.4193	0.4204	0.4215	0.4227	0.4238	0.4249	0.4260
14 <sup>o</sup>	0.4107	0.4118	0.4130	0.4141	0.4152	0.4163	0.4175	0.4186	0.4197	0.4208	0.4220	0.4231	0.4241
15 <sup>o</sup>	0.4088	0.4099	0.4110	0.4122	0.4133	0.4144	0.4155	0.4166	0.4177	0.4188	0.4200	0.4211	0.4222
16 <sup>o</sup>	0.4069	0.4081	0.4092	0.4103	0.4114	0.4125	0.4136	0.4147	0.4158	0.4169	0.4181	0.4192	0.4203
17 <sup>o</sup>	0.4050	0.4061	0.4072	0.4083	0.4095	0.4106	0.4117	0.4128	0.4139	0.4150	0.4161	0.4172	0.4183
18 <sup>o</sup>	0.4031	0.4042	0.4053	0.4064	0.4075	0.4086	0.4097	0.4108	0.4120	0.4131	0.4142	0.4153	0.4164
19 <sup>o</sup>	0.4012	0.4023	0.4034	0.4045	0.4056	0.4067	0.4078	0.4089	0.4100	0.4111	0.4122	0.4133	0.4144
20 <sup>o</sup>	0.3993	0.4004	0.4015	0.4025	0.4036	0.4047	0.4058	0.4069	0.4080	0.4091	0.4102	0.4113	0.4124
21 <sup>o</sup>	0.3973	0.3984	0.3995	0.4006	0.4017	0.4028	0.4039	0.4050	0.4061	0.4072	0.4082	0.4093	0.4104
22 <sup>o</sup>	0.3953	0.3964	0.3975	0.3986	0.3997	0.4008	0.4019	0.4030	0.4041	0.4052	0.4062	0.4073	0.4084
23 <sup>o</sup>	0.3933	0.3944	0.3955	0.3966	0.3977	0.3988	0.3998	0.4009	0.4020	0.4031	0.4042	0.4053	0.4064
24 <sup>o</sup>	0.3913	0.3924	0.3935	0.3945	0.3956	0.3967	0.3978	0.3989	0.3999	0.4010	0.4021	0.4032	0.4043
25 <sup>o</sup>	0.3893	0.3904	0.3914	0.3925	0.3936	0.3947	0.3958	0.3968	0.3979	0.3990	0.4001	0.4012	0.4022

gefundenen Resultate noch ein spezifischer Absorptions-Koeffizient zuzuzählen. Denn ein kleiner Teil der entwickelten Kohlensäure bleibt in der sich bildenden Lauge gelöst und könnte nur durch Erwärmung entfernt resp. ausgetrieben werden, was bei allen volumetrischen Apparaten sich schlechterdings von selbst verbietet.

Es wird deshalb allen Apparaten eine sogenannte Absorptionstabelle beigegeben, aus welcher die entsprechenden Absorptionsziffern sofort zu ersehen sind. Leider sind fast alle diese Tabellen, weil nach der Schablone aufgestellt, falsch. Man muß vielmehr für jeden Apparat eine solche Tabelle selbst ausarbeiten. Das geschieht in folgender einfacher Weise.

Man bestimmt durch je 5 Einzelversuche mit reinstem kohlen-saurem Kalk, isländischem Doppelspat, für 100 %, 75 %, 50 %, 25 % und 10 % die

jeweilige Absorption und ermittelt dann die Zwischenwerte durch Rechnung und Interpolation.

Hat man z. B. einen Scheibler-Dietrich-Apparat zu prüfen und etwa 750 mm Druck und 20<sup>o</sup> C. Temperatur abgelesen, so sind folgende fünf Wägungen zu machen:

1. für 100 % =  $\frac{4}{4} \times 0.8030 = 0.8030$  g,
2. „ 75 % =  $\frac{3}{4} \times 0.8030 = 0.6023$  „
3. „ 50 % =  $\frac{2}{4} \times 0.8030 = 0.4015$  „
4. „ 25 % =  $\frac{1}{4} \times 0.8030 = 0.2008$  „
5. „ 10 % =  $\frac{1}{10} \times 0.8030 = 0.0803$  „

Bei Ausführung der fünf Einzelversuche für jeden Punkt findet man dann im Durchschnitt vielleicht:

1. 194 ccm CaCO<sub>3</sub>, resp. 6 ccm Absorption,
2. 145 „ „ „ 5 „ „
3. 96 „ „ „ 4 „ „
4. 47 „ „ „ 3 „ „
5. 18 „ „ „ 2 „ „

Differenz zwischen den einzelnen Punkten 1 ccm, welches z. B. auf 194—145 = 49 ccm zu verteilen ist. Die Abnahme der Absorption zwischen beiden

Punkten ist demnach für jedes einzelne ccm =  $\frac{1.00}{49} = 0.0204$ .

Die Absorptions-Tabelle lautet also für obigen sehr einfachen Fall.

Entwickelt: 200 ccm, Absorbiert: 6.1224 ccm,

„	199	„	„	6.1020	„
„	198	„	„	6.0816	„
„	197	„	„	6.0612	„
„	196	„	„	6.0408	„
„	195	„	„	6.0204	„
„	<b>194</b>	„	„	<b>6.0000</b>	„
„	193	„	„	5.9796	„
„	192	„	„	5.9592	„

etc. etc.

In der gleichen Weise berechnet man die Zwischenwerte zwischen den anderen Punkten und stellt eine fortlaufende Absorptionsreihe für jeden am Apparat gefundenen Wert auf.

\* \* \*

Das Arbeiten mit diesen volumetrischen Apparaten, den sog. *Calcimetern*, hat übrigens eine Schwierigkeit. Abgesehen davon, daß die Ablesungen natürlich immer ganz exakt nach derselben Zeiteinheit, also etwa 3 Minuten nach erfolgter Entwicklung, erfolgen müssen, um stets richtige Resultate zu erhalten, so liegt auch ein event. direktes Hindernis im Material selbst, falls

dieses außer kohlenurem Kalk noch andere kohlenure Salze enthält, meistens also kohlenure Magnesia. Da die Apparate nur für kohlenuren Kalk hergestellt sind, die kohlenure Magnesia aber im Verhaltis mehr Kohlenure enthält, so wird das Resultat falsch werden. Gewöhnlich hat nun aber wenigstens das Portlandzement-Rohmehl selten über 2 % Magnesia, sodaß der Fehler hier nur gering ist und vernachlässigt werden kann. Auch kann man bei gleichmäßigem Material die Mengen kohlenurer Magnesia event. in Rechnung ziehen.

Andererseits gibt das Calcimeter über das Vorhandensein kohlenurer Magnesia besonders in größeren Mengen über 3 % hinaus untrüglichen qualitativen Aufschluß. Die kohlenure Magnesia entwickelt nämlich im Gegensatz zum kohlenuren Kalk ihre Kohlenure sehr träge. Findet also nach erfolgter Entwicklung und provisorischer Einstellung (auf gleiches Niveau) statt eines Zurucksteigens der Sperrflüssigkeit im Meßrohr ein Stillstand oder gar eine Weiterentwicklung, also fortgesetztes Sinken der Sperrflüssigkeit statt, so deutet das unfehlbar auf Anwesenheit von kohlenurer Magnesia. Und zwar bewirken schon 2 % einen Stillstand, also einen Ausgleich zwischen Zurücksteigen der Sperrflüssigkeit und Weiterentwicklung der Substanz, dagegen 3 % und mehr bereits ein weiteres Sinken der Sperrflüssigkeit.

\* \* \*

Will man ohne jegliche Tabellen arbeiten, so bedient man sich zweckmäßig des Lunge'schen Kohlenurebestimmungs-Apparates (Fig. 28 und 29).

Dieser Apparat gestattet mit größter Leichtigkeit und Schnelligkeit die Bestimmung der Kohlenure sowohl in den daran ärmeren, als auch in den daran reichsten Kalksteinen mit vollkommener Genauigkeit, ohne Thermometer- und Barometerbeobachtung, und ohne alle Tabellen vorzunehmen.

Das „Entwickelungsflaschchen“ A fat 30 ccm; es besitzt ein seitliches Füllrohr a mit Glashahn b und Trichter c. Der Helm d ist luftdicht eingeschliffen und führt zu dem „Meßrohr“ B. Dieses fat 150 ccm; die Einteilung beginnt unter der Kugel mit 100 ccm und geht bis 150 ccm in  $\frac{1}{10}$  ccm fort. Der oben sitzende Glashahn f hat zwei Bohrungen, wovon die eine zu dem mit d kommunizierenden Seitenrohrchen e, die andere zu dem „Absorptionsgefäß“ E führt, unter Vermittelung des Zweigrohrchens g und des Doppelbohrungshahnes h. E ist mit einer Lösung von 1 Teil Aetznatron in 3 Teilen

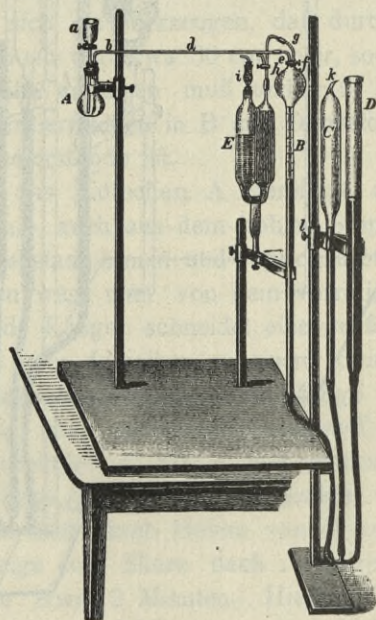


Fig. 28.



Wasser etwas mehr als zur Hälfte gefüllt; auf seinem äußeren Schenkel sitzt ein mit Natronkalk gefülltes Röhrchen i. Unten kommuniziert B durch ein T-Rohr und starke Kautschukschläuche mit dem „Reduktionsrohr“ C, welches unterhalb der Erweiterung eine Teilung von 100 bis 130 ccm besitzt, und mit dem als Pumpe dienenden „Niveauröhr“ D, welches in einer und derselben Gabelklammer 1 mit C sitzt, sodaß C und D sich sowohl einzeln wie gemeinschaftlich verschieben lassen. Die Röhren B C D sind mit Quecksilber gefüllt.

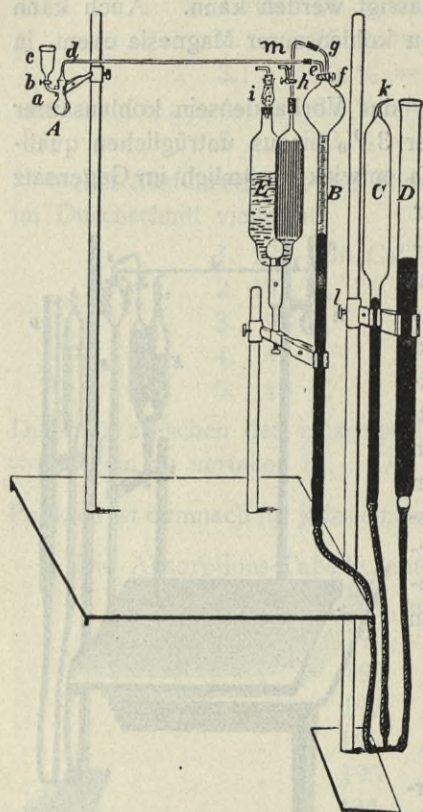


Fig. 29.

Hierzu muß das Reduktionsrohr C so behandelt werden, daß es ein für alle Mal eine solche Menge feuchter Luft enthält, daß diese im trockenen Zustande bei 0° C. und 760 mm Barometerstand das Volumen 100 ccm einnehmen würde. Man füllt B, C und D etwa zur Hälfte mit Quecksilber, wobei der Hahn f und die Kapillare k offen bleiben, bringt in C ein einziges Tröpfchen Wasser, am besten durch Einsaugen bei der (nachher durch vorsichtiges Erwärmen wieder zu trocknenden) Kapillare k, und hebt oder senkt D, bis das Quecksilber in C auf dem Punkte steht, welchen 100 ccm feuchte Luft im trockenen Zustande bei 0° und 760 mm einnehmen würden. Dieser Punkt wird aus dem Stande eines dicht neben C aufgehängten (hundertteiligen) Thermometers = t, und demjenigen des Barometers = b (wobei die direkte Ablesung bei Temperaturen unter 12° um 1 mm, bei 13 bis 19° um 2 mm, bei 20 bis 25° um 3 mm

zu verringern ist) nach folgender Formel berechnet:<sup>1)</sup>

zu verringern ist) nach folgender Formel berechnet:<sup>1)</sup>

$$\frac{100 \times (273 + t) 760}{273 (b - t + 2)}$$

Beispiel: Thermometer = 18° C., Barometer = 755 mm, also b = 753 mm. Dies eingetragen in obige Formel gibt:

$$\frac{100 \times (273 + 18) 760}{273 (753 - 18 + 2)} = 109.9.$$

Man stellt also dann D so ein, daß das Quecksilber in C auf der berechneten Höhe (in unserem Beispiele also auf 109.9) steht, in D natürlich

<sup>1)</sup> Die Ableitung dieser Formel sowie ausführlichere Beschreibung, Vergleichung mit anderen Methoden, Beleganalysen usw. findet sich in der Zeitschr. f. angewandte Chemie 1891, S. 229.

auf gleicher Höhe. Dann schmilzt man die Spitze der Kapillare *k* zu, was schon mit einer Spirituslampe leicht angeht, währenddessen man am besten den Hohlraum von *C* durch ein Pappschild vor Erwärmung schützt. Man überzeugt sich, daß das Quecksilber auch nach dem Zuschmelzen noch auf derselben Höhe steht und hat nun das Reduktionsrohr *C* ein für allemal eingestellt, sodaß man später das Thermometer und Barometer garnicht mehr braucht. *k* wird am besten vor zufälligem Zerschneiden durch ein übergestreiftes Kautschukröhrchen geschützt.

Wenn man kein Barometer zur Hand hat, kann man in folgender Weise den Apparat selbst zum Barometer machen. Man verschließt die, natürlich bis dahin noch offene Kapillare *k* für den Augenblick mit einem Wachs-kügelchen oder dergl., treibt durch Heben von *D* alle Luft aus *B* aus, schließt den Hahn *f*, senkt *D* etwa um 0·5 m, um sich zu überzeugen, daß durch *f* keine Luftblasen eindringen, senkt dann *D* noch um etwa 30 cm tiefer, sodaß das Quecksilber in *B* jetzt allerdings den Hahn verlassen muß und mißt nun den Vertikalabstand zwischen den Quecksilberoberflächen in *B* und *D*, welcher natürlich gleich dem augenblicklichen Barometerstande ist.

Zur Ausführung des Versuches wird das Kölbchen *A* gereinigt und namentlich alle Säure herausgewaschen, ebenso auch aus dem hohlen Stopfen von *d*. Dann bringt man die abgewogene Substanz hinein und fügt dazu etwa 0·08 g feinsten Aluminiumdraht. (Am besten wägt man von dem vorrätigen Draht einmal 0·08 g aus, mißt die betreffende Länge, schneidet eine größere Anzahl gleich langer Stückchen ab, wickelt jedes derselben zu einem kleinen Bündel und benutzt immer ein solches für jede Bestimmung. Die Menge des Aluminiums soll hinreichen, um ein wenig über 100 ccm Wasserstoff zu entwickeln.) Man setzt den Stopfen auf, verbindet *d* mit *e* und evakuiert möglichst die Luft aus *A* durch 3 bis 4 maliges Absaugen mittels Senken von *D* und Ausstoßen der nach *B* übergetretenen Luft durch Heben von *D* unter Oeffnung von *f*. Nun läßt man durch *b* einige ccm Säure nach *A* eintreten und erwärmt mit der Spirituslampe gelinde etwa 2 Minuten. Hierauf läßt man wieder etwas Säure eintreten, erwärmt nochmals 2 Minuten und wiederholt dies nochmals. Dabei wird die Kohlensäure freigemacht, zugleich aber aus dem Aluminium eine Menge von Wasserstoff entbunden, und hierdurch, sowie durch die Luftverdünnung alle in der Flüssigkeit gelöste Kohlensäure ausgetrieben. Während dessen muß *D* immer so gestellt sein, daß das Quecksilber darin immer tiefer als in *B* steht. Wenn die Gasentwicklung zu stürmisch wird, hört man mit dem Erwärmen auf. Wenn alles Aluminium gelöst und die Flüssigkeit klar geworden ist, läßt man durch *b* so viel Säure eintreten, bis sie nahe an den Hahn *f* kommt, schließt *f* und wartet 10 Minuten zur Temperatúrausgleichung. Während dieser Zeit kann man *A* und *d* abnehmen, für einen neuen Versuch reinigen, Substanz für diesen abwägen u. s. w. Nun stellt man *C* und *D* so, daß das Quecksilber in *C* auf 100 ccm und zugleich genau so hoch wie in *B* steht, liest den Stand von *B* ab, führt behufs Absorption der Kohlensäure das Gas dreimal nach *E* hin und zurück,

läßt schließlich die Lauge wieder bis h steigen, stellt C und D wieder auf das neue Volumen in B (C natürlich wieder zugleich auf 100) ein und liest ab. Bei größeren Mengen von Kohlensäure wartet man auch diesesmal einige Minuten zur Ausglei chung der Temperatur.

Wenn beim Erwärmen von A ein wenig Wasser nach B hinübergekommen ist, so kümmert man sich darum nicht, sondern liest in B vor und nach der Absorption der Kohlensäure immer bei den Quecksilberkuppen ab.

Der Unterschied der beiden Ablesungen vor und nach Behandlung mit Natronlauge = n bedeutet die ccm von Kohlensäure, reduziert auf 0° und 760 mm oder  $n \times 1.966$  mg CO<sub>2</sub> oder  $n \times 4.454$  mg CaCO<sub>3</sub>. Wenn das angewendete Gewicht der Substanz = p ist, so enthält sie  $\frac{n \times 0.1966}{p}$  Prozent Kohlensäure oder  $\frac{n \times 0.4454}{p}$  kohlensauren Kalk.

Um jede Rechnung zu ersparen, wägt man gleich passende Gewichtsmengen der zu prüfenden Substanz ab. Will man die Procente von Kohlensäure direkt ablesen, so wägt man ab:

- bei an CO<sub>2</sub> reichen Substanzen . . . 0.1966 g; 1 ccm = 1 % CO<sub>2</sub>
- „ „ „ weniger reichen Substanzen 0.3932 „; 1 „ = 0.5 „ „
- „ „ „ armen Substanzen . . . 1.966 „; 1 „ = 0.1 „ „

Will man gleiche Procente von kohlensaurem Kalk ablesen, so wägt man ab:

- bei reinem Kalkstein . . . . . 0.1782 g; 1 ccm = 2.5 % CaCO<sub>3</sub>
- bei kalkreichen Mergeln . . . . . 0.2227 „; 1 „ = 2.0 „ „
- bei kalkarmen Mergeln . . . . . 0.4454 „; 1 „ = 1.0 „ „
- bei sehr wenig Karbonate enthaltenden  
Substanzen, Zementen etc. . . . . 2.227 „; 1 „ = 0.2 „ „

Beispiel.

a) Kalkreicher Mergel:

Einwage: 0.2227 g. Erste Ablesung: 145.3 ccm; zweite Ablesung (nach Absorption der CO<sub>2</sub>): 103.7; Unterschied: 41.6, multipliziert mit 2, gibt 83.2% kohlensauren Kalk.

b) Portlandzement:

Einwage: 2.227 g. Erste Ablesung: 116.9; zweite Ablesung: 110.4; Unterschied = 6.5, multipliziert mit 0.2, gibt 1.3% kohlensauren Kalk.

Oder aber: Einwage 1.966 g. Erste Ablesung: 116.1; zweite Ablesung 110.4; Unterschied = 5.7, multipliziert mit 0.1, gibt 0.57% Kohlensäure.

\* \* \*

IV. *Exakte Analyse*: 1. Zur *Bestimmung des Löslichen resp. Unlöslichen* soll man keinesfalls ausgeglühtes Material nehmen. Durch das Glühen erfolgt in sehr vielen Fällen, z. B. bei Mergeln, die Ton und Kalk

in bereits entsprechenden Mengen fertig vorgemischt enthalten, ferner bei Zementrohnmischungen bei stärkerem Feuer ein mehr oder weniger vollständiges Aufschließen und würde infolgedessen das Ergebnis der Untersuchung ein falsches sein.

a) Man trennt also das *Lösliche* vom Unlöslichen, indem man 2 g Substanz wiederholt etwa 10 Minuten mit verdünnter Salzsäure (1 HCl vom spezif. Gewichte 1.19 auf 3H<sub>2</sub>O) auskocht, dekantiert und filtriert, bis dieselbe nicht mehr gefärbt erscheint. — Besser noch und schärfer erfolgt die Trennung im Soxhlet-Apparat. Da dieser aber selten zur Hand ist, so genügt das öftere Auskochen. Nach mehrfachem Dekantieren bringt man den Rückstand aufs Filter und wäscht zuerst mit Salzsäure und danach reichlich mit heißem Wasser aus, bis das ablaufende Waschwasser bei Zusatz von Silbernitratlösung keine Trübung mehr zeigt.

Das *Filtrat*, also der lösliche Teil, wird eingedampft und für sich weiter untersucht.

Der *Rückstand* auf dem Filter, das *Unlösliche*, wird entweder direkt eingeäschert und gewogen oder auch gleich zur Bestimmung des Quarzsandes und nicht verwitterter Mineralteile weiter verarbeitet (*Rationelle Analyse*). Man vermeidet damit für letztere die Bildung von Calciumsulfat, welches sich außerordentlich schwierig auswaschen läßt.

b) *Rationelle Analyse*: Man erhitzt nach Post (chem.-techn. Analyse) 2 g der Substanz während 10—12 Stunden in einer Platinschale mit einer reichlichen Menge Schwefelsäure derart, daß die letztere zum Schluß beinahe, aber doch nicht vollständig verdampft ist. Man läßt erkalten, verdünnt mit Wasser, wäscht den ungelösten Rückstand (A + B) aus, bringt ihn noch feucht in eine Platin- oder Porzellan-Schale und behandelt ihn mit heißer Sodalösung. Diese Behandlung mit Schwefelsäure und Soda wiederholt man so oft, bis die heiße Sodalösung aus dem Rückstand keine Kieselsäure mehr auflöst. Man filtriert jedesmal sehr heiß (Heißwassertrichter!) durch ein gewogenes Filter. Das Ungelöste wäscht man erst mit heißem Wasser, dann, um jede Spur von anhaftender Soda zu entfernen, mit ganz verdünnter Salzsäure und schließlich wieder mit destilliertem Wasser aus. Den Rückstand auf dem Filter trocknet man bei 120° C. und wägt ihn (A). Das alkalische Filtrat säuert man mit Salzsäure an und bestimmt die darin enthaltene Kieselsäure, wie noch S. 70—71 angegeben wird. — Ist nun A + B gleich dem Kieselsäuregehalt, der durch Aufschließen der Substanz mit Kaliumnatriumkarbonat ermittelt worden ist, so ist das Unlösliche (A) reiner Quarzsand. Ist A + B größer als der in der Gesamtanalyse gefundene Kieselsäuregehalt, so ist dies ein Beweis, daß ein Teil des Sandes aus unverwittertem oder nur oberflächlich angegriffenen Feldspat, Glimmer- etc. Trümmern besteht.

\* \* \*

2. Kommt es nicht sowohl auf die Trennung des Löslichen vom Unlöslichen an, als vielmehr darauf, überhaupt die einzelnen Bestandteile des zu

prüfenden Materials zu ermitteln, so empfiehlt es sich mehr, dasselbe sofort mit Kaliumnatriumkarbonat<sup>1)</sup> aufzuschließen. Das Verfahren wird dadurch wesentlich beschleunigt und vereinfacht.

Man wägt in einen recht geräumigen, nicht zu breiten, sondern lieber etwas hohen Platintiegel ungefähr 10 g eines Gemisches von gleichen Teilen Kaliumkarbonat und Natriumkarbonat ein und dazu 2 g der zu untersuchenden Substanz, also etwa des Tones, und zwar event. des vom Sande abgeschlammten Tones. Mittels eines dünnen Platinspatels rührt man Substanz und Alkalikarbonate gut durcheinander, bis ein vollkommen gleichmäßiges Gemisch entstanden ist. Dann wird der Platintiegel in derselben Weise, wie bereits bei der Bestimmung des Glühverlustes beschrieben, langsam und sehr vorsichtig, um jedes Spritzen zu vermeiden, zum Glühen gebracht (bis zur Krustenbildung des Inhalts) und erst 30 Minuten über der einfachen Bunsenlampe, sodann 15 Minuten über vollem Gebläse geglüht, bis die Masse geschmolzen ist und einen ruhigen Fluß bildet.<sup>2)</sup> Nach dem Erkalten wird der Inhalt des Tiegels in heißem Wasser aufgeweicht und die trübe Flüssigkeit in einer halbkugelförmigen Porzellanschale unter Zusatz von Salzsäure auf dem

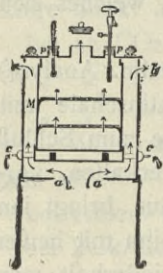


Fig. 30.

Wasserbade zur Trockne gedampft, wobei man den mehr und mehr heraustretenden Rückstand mit einem Glasstabe gut durcheinander rührt. Die lockere Masse darf auf keinen Fall feucht aussehen, sondern muß pulvertrocken sein. Zur vollständigen Entfernung der überschüssigen Salzsäure wird die Schale in einen Trockenschrank gebracht und das Trocknen noch zwei Stunden bei 110–115° C. fortgesetzt. Diese Temperatur muß genau innegehalten werden, da unter 105° nicht alle Salzsäure ausgetrieben werden würde, über 120° aber Eisenchlorid sich in merklichen Spuren verflüchtigt. Andererseits genügt aber das Eintrocknen allein auf dem Wasserbade keinesfalls zur vollständigen Abscheidung der Kieselsäure.

Als Trockenschrank benutzt man weitaus am besten den von Thörner (Fig. 30), welcher aus Porzellan und darum dem Rosten nicht ausgesetzt ist. Er faßt zwei Schalen auf einmal und hält mittels einer (vom Verf. eingefügten) 10 cm starken Eisenplatte im Boden und mittels eines Thermoregulators die Wärme ganz vorzüglich auf konstantem Niveau.

a) Die vollständig ausgetrocknete Masse wird mit mäßig starker Salzsäure befeuchtet, mindestens eine Stunde stehen gelassen und dann mit heißem

<sup>1)</sup> Will man das beim Schmelzen leicht eintretende Spritzen der Masse vermeiden, so nimmt man nur Natriumkarbonat, das freilich, weil erst bei höherer Temperatur schmelzend, stärkerer Erhitzung bedarf.

<sup>2)</sup> Ist die erkaltete Masse grünblau gefärbt, so deutet das auf Anwesenheit von Mangan hin. — Qualitativ kann man dasselbe auch bei Abwesenheit von Chlorverbindungen feststellen, wenn man 0,5 g Substanz mit 1 g Mennige (Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>), 3 ccm Salpetersäure und 7 ccm Wasser behandelt. Die dabei event. durch Bildung von Permangansäurehydrat entstehende Rottfärbung eignet sich ganz gut zu vergleichenden kalorimetrischen Prüfungen

Wasser aufgenommen. Anfangs dekantiert man die Flüssigkeit unter Zusatz von etwas Salzsäure durch ein Filter, bis nach wiederholtem Dekantieren sich die Salzsäure nicht mehr färbt. Nur auf diese Weise erreicht man die vollständige Trennung des Eisenchlorids von der ausgeschiedenen Kieselsäure: einmal aufs Filter gebracht, läßt sich dasselbe niemals vollständig durch Auswaschen entfernen. Bleibt also die Flüssigkeit wasserhell, so spült man die Kieselsäure aufs Filter und wäscht sie reichlich mit heißem Wasser aus. Als Filter wendet man stets nur solche an, die mit Salzsäure und Flußsäure ausgezogen sind. — Das Filtrieren erfolgt gleich in einen Literkolben<sup>1)</sup> hinein, der nach der Abkühlung dann bis zur Marke aufgefüllt wird. Die auf dem Filter gesammelte Kieselsäure wird sehr vorsichtig (sonst tritt leicht Verstäubung ein!) eingeäschert und geglüht, zuletzt noch ca. 5 Minuten auf dem Gebläse, und dann gewogen.

Bei dieser *Bestimmung der Kieselsäure* wird natürlich die gesamte Kieselsäure gewonnen, also auch die aus Quarzsand herkommende.

Hat man nun aber bereits (z. B. durch den fabrikmäßigen Brennprozeß aufgeschlossene Materialien zu untersuchen, z. B. Zement, Beton etc. etc., so fällt natürlich das Schmelzen mittels Alkali fort und man hat in dem Kieselsäure-Filter zwei Substanzen resp. zwei Kieselsäure-Modifikationen, die aufgeschlossene, lösliche und event. Sand (z. B. aus dem Beton) oder Aschenrückstände etc. (z. B. aus dem Zement).

Die *Trennung beider Substanzen resp. Kieselsäure-Modifikationen* erfolgt wieder derart, daß man den Gesamtniederschlag nebst dem Filter auf dem Wasserbade etwa eine Stunde mit 5% Sodalösung behandelt. Nur die Silikat-Kieselsäure geht in Lösung, Sand und Aschenreste bleiben ungelöst und werden direkt abfiltriert, mit heißem Wasser ausgewaschen, geglüht und gewogen. Im Filtrate wird die gelöste Silikat-Kieselsäure wieder mittels Salzsäure ausgeschieden, wie oben zur Trockne gedampft usw.

Zur Trennung darf nur Sodalösung genommen werden, da, wie Lunge nachgewiesen hat,<sup>2)</sup> kaustische Alkalien (Natronlauge) auch die quarzige Modifikation der Kieselsäure stark angreifen.

Sogar Sodalösung vermag kochend die Quarzkieselsäure merklich anzugreifen, wenn dieselbe in staubfeinstem Zustande vorhanden ist. Man darf also im Zerkleinern solcher Materialien nicht zu weit gehen.

Alle Einäscherungen der Kieselsäure können übrigens bei genügender Vorsicht im nassen Filter und zwar im unbedeckten Platintiegel erfolgen, ebenso die der anderen Substanzen, ausschließlich der Magnesia. Bei letzterer

<sup>1)</sup> Man gibt in den Literkolben zuvor etwa 50 ccm destilliertes Wasser, um die heiße Filterflüssigkeit etwas abzukühlen. Anderenfalls würde der Kolben bei häufigem Gebrauche infolge abwechselnder Dehnung und Zusammenziehung bald seine Elastizität verlieren und schließlich dauernd deformiert bleiben. — Von Zeit zu Zeit sind deshalb auch alle Kolben mittels geäichter Meßpipette genau auf exaktes Maß zu prüfen und event. umzutarieren.

<sup>2)</sup> Lunge & Millberg, Zeitschrift f. angew. Chemie, 1897, Heft 13 und 14.

ist das Trocknen des Filters unumgänglich, da sonst dasselbe nicht vollständig zur Einäscherung gelangen würde.

Im ersten Filtrat der Kieselsäure befinden sich Tonerde, Eisenoxyd, Manganoxydul, Kalk, Magnesia, Schwefelsäure, Alkalien etc., also etwa dieselben Bestandteile wie z. B. auch bei der Trennung des Löslichen vom Unlöslichen. Zur Weiterbehandlung teilt man den Inhalt des Literkolbens, nachdem man ihn durch Schütteln gut gemischt hat, in drei Teile zu je 400 ccm, 300 ccm und 300 ccm. Man braucht wegen dieser Trennung um die Genauigkeit der Resultate nicht ängstlich zu sein. Da ein Tropfen ungefähr  $\frac{1}{20}$  ccm entspricht, so würde bei Verpritzen eines solchen erst ein Fehler von  $\frac{1}{10000}$  g auftreten.

Die 400 ccm benutzt man zur Bestimmung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  und  $\text{MgO}$ , die ersten 300 ccm zur Trennung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  und die zweiten 300 ccm zur Bestimmung von  $\text{SO}_3$ .

b) Die 400 ccm werden in einem Becherglase bis zum Kochen erhitzt, mit Salpetersäure oxydiert und mit etwas überschüssigem Ammoniak versetzt. Den dadurch entstehenden Niederschlag von *Tonerde-Eisenoxyd* löst man vorsichtig mit möglichst wenig Salzsäure auf und fällt nun nochmals mit nur ein paar Tropfen Ammoniak. Man ist auf diese Weise sicher, vollständig ausgefällt und doch die Wiederlösung der Tonerde verhindert zu haben; ein Zusatz vom Ammoniumchlorid, um die gleichzeitige Fällung von Magnesia zu verhindern, kann zugleich dadurch entbehrt werden. Der Niederschlag wird aufs Filter gebracht, mit heißem Wasser ausgewaschen und bei Rotglut geglüht. Eine höhere Temperatur würde das Eisenoxyd in Eisenoxydoxydul verwandeln.

Es kann bei dieser Bestimmung nicht nachdrücklich genug betont werden, daß einerseits die Flüssigkeit, selbst während des Fällens und auch noch kurze Zeit nachher, wirklich siedet, andererseits aber das Kochen nicht allzu lange andauern darf, vielleicht 1—2 Minuten, da sonst der Niederschlag sich nur äußerst langsam absetzt und die Tonerde schleimig wird und dann das Filtrieren sehr erschwert, selbst wohl ganz unmöglich macht. Dann hilft eben nichts als nochmals in Salzsäure zu lösen und die Fällung zu wiederholen; das Filtrieren im Heißwasser-Trichter ist nur ein Notbehelf bei Zeitmangel und führt auch nicht immer zum Ziel.

c) Ist *Mangan* in größerer Menge vorhanden, was eine intensivere Blaufärbung der aufgeschlossenen Masse lehrt, etwa über 0,3%, so muß dasselbe von Tonerde und Eisenoxydul getrennt werden. Zu diesem Zwecke neutralisiert man das mit Salpetersäure oxydierte salzsaure Filtrat von der Kieselsäure sehr vorsichtig mit kohlensaurem Natron, wobei sich die Flüssigkeit nach und nach dunkel-rotbraun färbt: ein Niederschlag darf dabei nicht entstehen und muß event. durch ein paar Tropfen Salpetersäure oder Essigsäure wieder gelöst werden. Dann fällt man mit neutralem essigsauren Natron, erhitzt zum Kochen und läßt kurze Zeit im Sieden. Dabei löst sich die gleichfalls ausgeschiedene Manganverbindung wieder auf, während die Salze der Tonerde

und des Eisenoxydes ungelöst bleiben. Dieselben werden, am besten im Heißwasser-Trichter, so schnell wie möglich abfiltriert und nachdrücklichst mit heißem Wasser ausgewaschen, dem man besonders anfangs ein paar Tropfen essigsäuren Natrons zufügt. Da es außerordentlich schwer hält, die letzten Spuren des essigsäuren Natrons zu entfernen, so löst man besser den Niederschlag in Salzsäure und fällt Tonerde und Eisenoxyd nochmals mittels Ammoniak.

Im Filtrat vom Niederschlage (mittels Natriumacetat) oxydiert man das Mangan durch Brom, verjagt durch Erwärmen den Ueberschuß daran und filtriert das in schwarzen Flocken ausgeschiedene Mangansuperoxyd ab. Der Niederschlag muß auf dem Filter sehr lange und sorgfältig mit heißem Wasser ausgewaschen werden, da es äußerst schwierig ist, die letzten Spuren des essigsäuren Salzes zu beseitigen. Dann glüht man und wägt als Manganoxydoxydul, welches man auf einfaches Oxydul umrechnen muß.

Das Resultat wird aber infolge noch anhaftenden Natriumacetates fast immer unscharf sein. Besser ist es also, den Niederschlag nach Finkener in heißer Salzsäure wieder aufzulösen. Man bringt die Lösung zum Kochen und fällt bei Siedehitze mittels Schwefelammon und Ammoniak als Schwefelmangan. Nach weiterem Kochen während einiger Minuten filtriert man durch ein doppeltes Filter,<sup>1)</sup> glüht unter Zusatz von etwas Schwefel in einem Rose'schen Tiegel im Wasserstoff-Strom, zum Schluß über dem Gebläse, und wägt als Mangansulfür. — Noch vorteilhafter ist es, das Sulfür nach Volhard in das entsprechende Sulfat überzuführen. Man äschert dann in einem Platintiegel ein unter Zusatz von etwas konz. Schwefelsäure, raucht deren Ueberschuß vorsichtig ab, glüht bei mäßiger Rotglut und wägt als Mangansulfat.

Das Ganze erscheint als eine etwas umfängliche Operation; doch ist das damit nicht so schlimm, und man erhält für die aufgewandte Mühe auch tadellose Resultate.

d) Das Filtrat von Tonerde-Eisenoxyd resp. vom Mangan wird wiederum zum Kochen erhitzt, angesäuert (um die Bildung von kohlen-säurem Kalk zu verhindern, der leicht durch die Filter hindurchgeht) und der *Kalk* mittels fester Oxalsäure unter Zusatz von Ammoniak als oxalsaurer Kalk gefällt. Die nötige Menge von Oxalsäure kann man bei ungebrannten Rohmaterialien leicht aus dem Glühverlust berechnen. Sie beträgt etwa das Dreifache desselben. Bei der Fällung ist übrigens auch die Magnesia zu berücksichtigen und diese gleichfalls in oxalsäure Magnesia überzuführen, da oxalsaurer Kalk in Chlormagnesium etwas löslich ist.

Behufs völligen Niederschlagens des oxalsäuren Kalkes und besseren Filtrierens läßt man mindestens 3 Stunden in der Wärme (kalt noch länger!) stehen, filtriert dann und wäscht mit kaltem Wasser aus. Der oxalsäure Kalk

---

<sup>1)</sup> Will man das Durchgehen des Niederschlages durch das Filter vermeiden, so fällt man als wasserfreies Sulfür, das weniger leicht durchgeht. Man erreicht das, indem man vor der Fällung die Lösung kurze Zeit mit etwas oxalsäurem Kali kocht, und nach derselben noch längere Zeit in der Wärme digeriert (Classen).



wird im Platintiegel schließlich 30 Minuten auf dem Gebläse geglüht. Er geht dabei unter Abspaltung von CO und CO<sub>2</sub> in CaO über.

e) Das Filtrat vom Kalk wird mit Salzsäure angesäuert, eingedampft, dann mit etwa ein Drittel seines Volumens Ammoniak versetzt und die *Magnesia* mittels Natriumphosphat Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> als phosphorsaure Ammoniakmagnesia gefällt. Des Zusatzes von Chlorammon bedarf es nicht mehr, da solches schon durch die früheren Operationen in genügender Menge vorhanden ist. Ein kleiner Zusatz von Alkohol befördert die Ausscheidung; immerhin muß man derselben etwa 12 Stunden Zeit lassen. Der Niederschlag wird filtriert und mit ammoniakhaltigem Wasser (1:5) gut ausgewaschen. Im Gegensatz zu der sonstigen sofortigen Einäscherung des noch nassen Filters muß dasselbe hier erst getrocknet werden. Danach löst man den Niederschlag vom Filter ab und äschert zunächst das Filter für sich auf dem Deckel eines Platintiegels in der Flamme zweier Brenner ein (von unten und von oben!). Asche und Niederschlag werden vereinigt und nochmals zusammen geglüht, zum Schluß 3—4 Minuten auf dem Gebläse; vorzuziehen ist dazu ein Porzellantiegelchen. — Ist der Rückstand etwa von unverbranntem Filter noch grau, so befeuchtet man denselben mit einem Tropfen Salpetersäure und glüht nochmals, bis er rein weiß ist. Dann wägt man und rechnet die erhaltene pyrophosphorsaure *Magnesia* auf Magnesiumoxyd, MgO, um.

Die Magnesiabestimmung ist eine der unangenehmsten Analysen der Mörtelchemie: das Resultat ist z. B. bei 0,3% Differenz immer noch gut zu nennen.

f) Der zweite Teil des Literkolbens (300 ccm) wird zur *Trennung des Eisenoxydes von der Tonerde* benutzt.

Man kann das erreichen, indem man die zum Kochen erhitzte Flüssigkeit mit überschüssiger heißer Kalilauge versetzt, das ausgeschiedene Eisenoxyd abfiltriert und für sich bestimmt, während man die alkalische Lösung der Tonerde mit Salzsäure ansäuert und die Tonerde dann mit Ammoniak fällt. Aber der Vorteil, beide Komponenten direkt jeden für sich bestimmt zu haben, wird durch mancherlei Unbequemlichkeiten, wie meist schwieriges Filtrieren, stark eingeschränkt.

Einfacher und rascher gelangt man zum Ziele, wenn man Tonerde und Eisenoxyd zusammen mit Ammoniak fällt, den Niederschlag nach dem Auswaschen in warmer verdünnter Schwefelsäure (1:2) löst und in der klaren Flüssigkeit das Eisenoxyd mittels Zink (und etwas Platinblech) zu Oxydul reduziert. Die Reduktion ist beendet, wenn ein Tropfen der Flüssigkeit durch Rhodankalium nicht merklich gerötet wird. Man titriert mit Chamäleonlösung von bekanntem Gehalt (an KMnO<sub>4</sub>) und berechnet aus dem hierbei gefundenen Eisenoxyd und dem bereits bekannten Gesamtgehalt an Tonerde und Eisenoxyd (vergl. unter b) die Tonerde.

Man kann die Titration auch gleich in salzsaurer Lösung vornehmen. Dieselbe muß aber dann mit 20 ccm einer 5% Mangansulfat-Lösung versetzt

werden: indessen sind nach Fresenius die Resultate nur bei peinlichster Sorgfalt befriedigend.

Zu beachten ist noch, daß beim Titrieren in schwefelsaurer Lösung stets ein Gehalt an freier Schwefelsäure vorhanden sein muß.

g) Der dritte Teil der Literflüssigkeit (300 ccm) wird zur *Bestimmung der Schwefelsäure* benutzt. Man versetzt die kochend heiße Lösung mit heißer Baryumchlorid-Lösung und wäscht das ausgeschiedene Baryumsulfat auf dem Filter reichlich mit warmem oder kaltem Wasser aus und glüht mäßig im Platintiegel.

Das Baryumsulfat geht sehr gern selbst durch die besten Filter hindurch. Will man diesen Uebelstand vermeiden, so muß man das Filter mit etwas essigsauerm Ammon tränken.

\* \* \*

Man hat in den vorstehenden Methoden in fortlaufenden Operationen  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  und  $\text{SO}_3$  bestimmt. Nun aber enthält manches Material, besonders fast immer die Hochofenschlacken, noch Eisenoxydul. Dieses wird in einer besonderen Untersuchung ermittelt.

V. Die *Trennung des Eisenoxyduls vom Oxyd* ist nur unter den größten Vorsichtsmaßregeln auszuführen und zwar in einer stetigen Kohlensäure-Atmosphäre; ferner muß alles zur Benutzung kommende Wasser vollständig ausgekocht sein ( $\frac{1}{2}$  bis 1 Stunde), um die darin gelöste Luft zu entfernen.

Man leitet (z. B. mittels Barge'schen Apparates) einen stetigen Strom Kohlensäure in einen Kolben von 300 ccm Inhalt. Sobald alle Luft verdrängt ist, wägt man 1 g der zu untersuchenden Substanz hinein und übergießt dieselbe mit etwas Wasser und 150 ccm verdünnter Schwefelsäure (1:5). Unter fortwährendem Zuleiten von Kohlensäure wird die Substanz durch Erhitzen der Schwefelsäure, zuletzt ca. 5 Minuten bis zum Kochen, zersetzt und die trübe Flüssigkeit in einen  $\frac{4}{10}$ -Literkolben gespült, der gleichfalls mit Kohlensäure gefüllt ist, oder in den man vorher 1 g doppeltkohlensauren Natrons eingegeben hat.<sup>1)</sup> Nachdem man, immer im Kohlensäurestrom, hat erkalten lassen, füllt man mit *ausgekochtem* Wasser bis zur Marke und läßt 24 Stunden den Niederschlag absitzen.

Von der überstehenden, ziemlich klaren Flüssigkeit pipettiert man 200 ccm heraus und titriert diese sofort mit Chamäleonlösung: Resultat Eisenoxydul.

Die restierenden 200 ccm werden filtriert, mit Zink und Platinblech reduziert und auf Eisenoxyd + Eisenoxydul titriert. Aus dem Gesamtgehalt an Eisensalzen und dem eben ermittelten Oxydul ergibt sich als Differenz das Oxyd.

---

<sup>1)</sup> Arbeitet man gleich mit einem 400 ccm Meßkolben, so ist das Umfüllen unnötig. Dieser Vorteil wird aber dadurch gemindert, daß die Kolben bei häufigeren Operationen dieser Art sehr leiden.

Nur in dieser vom Verf. etwas modifizierten Weise nach Fresenius ist es möglich, scharfe Resultate zu erlangen. Man hüte sich auf jeden Fall, die Flüssigkeit nach dem Zersetzen direkt zu titrieren, ohne das Absetzen des Niederschlages abzuwarten. Es ist absolut unmöglich, in der trüben Lösung die Endreaktion feststellen zu können; der Farbumschlag ist ganz unmerklich. Aus ganzen Reihen dieser Untersuchungen, oft zu 3—4 Parallelversuchen, wurde festgestellt, daß beim Titrieren der noch trüben Flüssigkeit das Resultat bis zu 100% zu hoch wird.

\* \* \*

Die Herstellung der Titerflüssigkeit erfolgt in der üblichen Weise (z. B. nach Marguerite):

Man bereitet sich zunächst eine Lösung von Eisenoxydul, indem man 1·0035 g weichen Blumen- oder Klavierdraht (welcher 0·35% Kohlenstoff enthält), also genau 1·0000 g reinen Eisens in einen Literkolben bringt, 1 g doppeltkohlensauren Natrons zugibt, mit 150 ccm verdünnter Schwefelsäure (1:5) übergießt und den Kolben rasch mit einem Bunsen'schen Ventil<sup>1)</sup> verschließt. Dann erwärmt man gelinde, bis alles Eisen gelöst ist, läßt erkalten und füllt mit *ausgekochtem* Wasser bis zur Marke. Von der so bereiteten Lösung enthält jedes Cubikcentimeter genau 0·0010 g =  $\frac{1}{10}$ % Eisen und zwar in Form von Oxydul.

Dementsprechend kann man die Chamäleonlösung derart stellen, daß je 1 ccm derselben 1 ccm der Ferrosulfatlösung oder 0·0010 g =  $\frac{1}{10}$ % Eisen entspricht. Zu diesem Zwecke wägt man, zunächst für einen Tastversuch, 0·5850 g (theoretisch 0·5643 g) krystallisiertes Kaliumpermanganat ab, löst dasselbe in warmem Wasser und gibt die Lösung in eine gutschließende Literflasche aus dunklem Glase, die man bis zur Marke auffüllt. Nach dem Erkalten titriert man damit probeweise das schwefelsaure Eisenoxydul.

Man pipettiert zu diesem Behufe 100 ccm dieser Lösung in ein Becherglas, verdünnt mit 100—150 ccm ausgekochten Wassers und läßt langsam die Chamäleonlösung zufließen, indem man die Flüssigkeit dabei stets mit einem Glasstabe umrührt. Die Reaktion ist beendet, wenn die Flüssigkeit schwach rosa gefärbt ist und es während 3—4 Minuten auch bleibt.

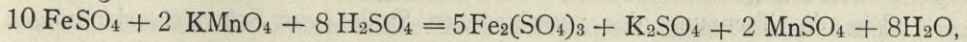
Ist das Kaliumpermanganat von der üblichen Reinheit, so wird man finden, daß bei dem Versuche genau 100 ccm verbraucht wurden, so daß beide Lösungen genau zu einander stehen. Es kommt also 1 ccm Chamäleonlösung genau 1 ccm Ferrosulfatlösung gleich, welche dem Reduktions-Koeffizienten von 0·585 (mg  $\text{KMnO}_4$ ) entspricht; es bedeutet also 1 ccm verbrauchter Chamäleonlösung gerade  $\frac{1}{10}$ % Eisen.

<sup>1)</sup> Ein Stückchen Gummischlauch, der oben mittels Quetschhahn verschlossen und in den ein dreieckiger Zipfel hineingeschnitten ist; durch diesen kann wohl Gas austreten, aber keine Luft eindringen.

Erweist sich die Chamäleonlösung als zu stark, so kann man sie durch Verdünnen entsprechend korrigieren. Anderenfalls berechnet man aus dem gefundenen Resultat diejenige Menge von  $\text{KMnO}_4$ , welche man abzuwägen hat, um das gewünschte Resultat zu erhalten, und titriert dann damit nochmals 100 ccm der Eisenlösung. Fast immer wird der berechnete Gehalt an  $\text{KMnO}_4$  prompt das gesuchte Resultat aufweisen.

Diese Titerstellung der Kaliumpermanganatlösung auf  $\frac{1}{10}\%$  Eisen für je 1 ccm macht später jede Umrechnung überflüssig. Die Flüssigkeit hält sich auch, gut verschlossen und ins Dunkle gestellt, längere Zeit unverändert.

Ebenso gut stellt man sich oft auch  $\frac{1}{10}$  Normallösung her, von der 1 l die Oxydation eines  $\frac{1}{10}$  Atomes Eisen bewirkt, also 1 ccm genau 0.0056 g Fe resp. 0.0080 g  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  entspricht. Da gemäß der Umsetzungs-Gleichung zwischen Permanganat und Eisen



10 Teile Fe = 2 Teilen  $\text{KMnO}_4$ , so müßte die  $\frac{1}{10}$  Normallösung im Liter

$$\frac{2 \times 158}{100} = 3.160 \text{ g reines Kaliumpermanganat enthalten. — Auch hier muß}$$

natürlich ein Tastversuch erfolgen (mit einer Eisenlösung von bekanntem Gehalt), da das Permanganat nie ganz rein ist.

Die käuflichen Lösungen sind übrigens meist auf  $\frac{1}{10}$  normal gestellt.

\* \* \*

VI. *Schwefel-Bestimmung*: Der Gehalt an Schwefel wird gewöhnlich in der Weise ermittelt, daß man die Sulfide in Sulfate überführt, diese als Baryumsulfat bestimmt und die gefundene Schwefelsäure in Schwefel umrechnet.

Die Schwefelbestimmung ist besonders bei Brennmaterialien und bei Hochofenschlacken am Platze. Für erstere ist die Methode von Eschka zu empfehlen, die noch später beschrieben ist. Für Schlacken, Zemente etc. geben die beiden folgenden Verfahren befriedigende resp. gute Resultate.

Kommt es nicht auf allzu große Genauigkeit an, so übergießt man 2 g der zu untersuchenden Substanz mit Bromwasser, bedeckt die Porzellanschale mit einem Uhrglas und läßt nach und nach in ganz geringen Mengen Salzsäure zufließen. Der dabei sich entwickelnde Schwefelwasserstoff wird durch das Brom zu Schwefelsäure oxydiert. Das überschüssige Brom wird durch Erhitzen verjagt und aus der filtrierten und zum Kochen gebrachten Lösung die Schwefelsäure als Baryumsulfat ausgefällt, gegläht und gewogen.

Man erhält so die sämtlichen Schwefelverbindungen und hat davon den bereits ermittelten Gehalt an eigentlicher Schwefelsäure abzuziehen. Der Rest an Schwefelsäure ist dann durch Oxydation aus Schwefel hervorgegangen und dementsprechend daraufhin umzurechnen. — Resultate befriedigend!

Will man ganz genau arbeiten, so wägt man die Substanz in ein Kochkölbchen, dessen Gummistopfen dreifach durchbohrt ist. Durch die erste Oeffnung geht ein Hahnen-Trichterrohr, durch die zweite ein Gas-Ableitungs-

rohr, das in eine Winkler'sche Absorptionsschlange einmündet, durch die dritte das Luft-Zuleitungsrohr eines Gasometers. Man übergießt die Substanz mit Bromwasser und läßt durch das Trichterrohr langsam und mit Pausen Salzsäure zufließen. Der dabei sich entwickelnde Schwefelwasserstoff wird größtenteils durch das Bromwasser bereits im Kölbchen oxydiert, der Rest dann von dem in der Absorptionsschlange befindlichen Bromwasser. Scheint die Zersetzung beendet, so erhitzt man bis zum Sieden und läßt dann im Luftstrom langsam erkalten. Während des Zersetzungsprozesses ist der Inhalt des Kölbchens zuweilen etwas durchzuschütteln. Alsdann werden die Inhalte vom Kölbchen und der Schlange vereinigt, das überschüssige Brom abgedampft und der Rückstand filtriert. Aus dem zum Kochen erhitzten Filtrat fällt man wieder die Schwefelsäure mittels Chlorbaryums. Die Umrechnung erfolgt in der bereits angegebenen Weise. — Resultate gut!

Für die Trennung der verschiedenen Stufen von Schwefelverbindungen gibt Kämmerer eine recht brauchbare Methode an; sie würde uns aber hier zu weit führen.

VII. *Bestimmung und Trennung der Alkalien.* 1. Nach Dr. Michaëlis: Von dem möglichst fein gepulverten Material werden 2 g in einer kleinen Platinschale mit etwas Wasser aufgeweicht und mit 1 ccm konzentrierter Schwefelsäure und 15—20 ccm Flußsäure übergossen. Der Ueberschuß an Flußsäure wird auf dem Wasserbade abgedampft, derjenige an Schwefelsäure durch schwaches Glühen über freiem Feuer abgeraucht. Der mit etwas Wasser und Salzsäure aufgenommene Rückstand wird erhitzt, bis Alles in Lösung gegangen ist, und Tonerde, Eisenoxyd und Kalk durch Ammoniak im Ueberschuß und etwas reinsten Oxalsäure gefällt. Das Filtrat davon wird in einer geräumigen Platinschale eingedampft und die Ammoniaksalze unter stetigem Umrühren durch schwaches Glühen entfernt. Der Rückstand, mit möglichst wenig Wasser gelöst, wird mit ca. 15 ccm Schaffgot'scher Lösung<sup>1)</sup> übergossen und 24 Stunden stehen gelassen. Die abgeschiedenen Magnesiumsalze werden abfiltriert und mit etwa 30 ccm Schaffgot'scher Lösung ausgewaschen. Filtrat und Waschflüssigkeit werden vereint zur Trockne gedampft und schwach geglüht, der Rückstand dann wieder gelöst, mit etwas Ammoniak versetzt und wieder filtriert. Im Filtrate sind nunmehr nur noch die Alkalisalze als Sulfate vorhanden. Ihre Lösung wird in einen geräumigen Platintiegel gespült, eingedampft und der Rückstand schwach geglüht (am besten über einer heißen Eisenplatte.) Resultat  $K_2SO_4 + Na_2SO_4$ .

2. Wenn Alkalien in größerer Menge vorhanden sind, werden, nach Bischof-Wiesbaden, 2 g Ton mit Salzsäure und gasförmiger Flußsäure aufgeschlossen und hierauf mit Schwefelsäure zur Trockne eingedampft, wobei kein oder höchstens ein kohliges, aber keinesfalls knirschendes Absatz bei

<sup>1)</sup> Schaffgot'sche Lösung: 235 g  $(NH_4)_2CO_3 + 180$  ccm  $NH_4.OH$  vom spezif. Gewicht 0.92 + 1000 g  $H_2O$ .

nachheriger Lösung in Salzsäure sich zeigen darf. Hierauf werden mit reiner, wenig überschüssiger Aetzbarytlösung die Schwefelsäure, Tonerde, Eisenoxyd wie Magnesia abgeschieden. Das Filtrat der Fällungen wird mit kohlen-saurem Ammoniak bei gelinder Wärme behandelt. Nach dem Abfiltrieren des neuen Niederschlages wird die angesäuerte Flüssigkeit eingedampft, der Salmiak bei gelindem Glühen verjagt, dann der gelöste Rückstand nochmals mit kohlen-saurem Ammoniak (Schaffgot'sche Mischung) ebenso behandelt, bis die Chlor-alkalien rein erhalten werden.

3. Diese Bestimmungen, die allerdings sehr scharfe Resultate liefern, können für mehr technische Arbeiten einfacher nach Kopp derartig ausgeführt werden, daß man die zu prüfende Substanz in einer Schale mit kohlen-saurem Wasser verreibt, absitzen läßt und die klare überstehende Flüssigkeit dekantiert. Dann leitet man durch diese einen Strom von Kohlensäure, wodurch der gelöste Aetzkalk als kohlen-saurer Kalk niedergeschlagen wird, dampft zur Trockne, zieht den Rückstand mit Wasser aus, filtriert und dampft unter Zusatz von etwas konzentrierter Schwefelsäure in einem Platintiegel auf dem Wasserbade zur Trockne und raucht dann den Ueberschuß an Schwefelsäure ab. Die Alkalien bilden als Sulfate den Rückstand, den man wägt. — Resultate nur für technische Zwecke und bei viel Alkali brauchbar! —

Zur *Trennung der Alkalisulfate* werden (nach Dr. Michaëlis) diese wieder in Wasser und Salzsäure gelöst, mit Platinchlorid versetzt und die Lösung bis auf 1 ccm eingedampft. Dann löst man durch Zusatz einer Mischung aus 3 Teilen absolutem Alkohol und 1 Teil Aether das Natriumsalz, filtriert das Kaliumsalz ab und wäscht es mit derselben Alkohol-Aether-Mischung aus. Das Filter wird nun zusammen mit dem Niederschlage eingäschert und im Wasserstoffstrom schwach geglüht, wobei das Kaliumplatinchlorid sich zu metallischem Platin reduziert, während das frei werdende Chlor sich teils mit Kalium verbindet, teils als Chlorwasserstoff in die Luft entweicht. Das eingäscherte Filter mit dem Platin und dem Kaliumchlorid wird auf ein neues Filter gebracht und das Kaliumchlorid durch Wasser ausgelaugt. Auf dem Filter bleibt also schließlich nur metallisches Platin zurück, das getrocknet und in einem Porzellantiegel geglüht und gewogen wird. Aus seinem Gewicht berechnet man zunächst den Gehalt an Kalium. Dieses wird dann auf Sulfat umgerechnet und von dem Gesamt-Alkalisulfat abgezogen. Den Rest an Sulfat rechnet man wieder auf Natrium um. — Resultate scharf!

\* \* \*

VIII. Die vorstehenden Untersuchungsmethoden berücksichtigen sämtlich alle vorkommenden Einzelheiten. In der Technik kommt es aber oft gar nicht auf alle Details an; es ist oft wichtiger, rasch zu arbeiten und eine größere Reihe von Parallel-Versuchen neben einander verfolgen zu können.

So z. B. gibt es Portlandzement-Fabriken, die ihr Rohmaterial täglich mehrere Male auf Magnesia untersuchen müssen. Rechnet man aber nur 3

exakte Analysen, die jede etwa 5 Tage beanspruchen, so würde man nicht sehr weit damit kommen. Für diese und ähnliche Fälle wählt man zweckmäßig die abgekürzte Form.

1. *Magnesia-Bestimmungen*: Für Reihenbestimmungen von Magnesia haben Seger und Cramer ein recht bequemes und einfaches Verfahren vorgeschlagen, das in einem, längstens anderthalb Tagen zum Ziel führt. Man zersetzt 2 g Rohmaterial durch Salzsäure in einer Porzellanschale, verdünnt mit Wasser, läßt aufkochen und fällt mit Ammoniak (im Ueberschuß) und Oxalsäure Tonerde, Eisenoxyd und Kalk. Die mit den Niederschlägen durchsetzte Flüssigkeit wird in einen Literkolben gespült, der in etwa  $\frac{1}{3}$  Höhe einen kleinen Abfaßhahn hat. Man kühlt rasch unter der Wasserleitung ab, füllt zur Marke auf, schüttelt gut um und läßt etwas absitzen. Letzteres vollzieht sich sehr rasch, sobald man nur recht heiß gefällt und recht rasch abgekühlt hat. Dann zieht man mittels des Abfaßhahnes 500 ccm ab. — Statt eines solchen präparierten Kolbens kann man einen einfachen Kolben nehmen und abpipettieren oder mittels Heberrohres die 500 ccm entnehmen. — Dieselben werden filtriert und mit Ammoniak und phosphorsaurem Natron versetzt, um die Magnesia auszuschcheiden. Alle diese Operationen beanspruchen etwa 2 Stunden. Man kann die gefällte Magnesia entweder durch Vergleich mit ein paar Kontrollproben (in fest geschlossenen Gläsern) abschätzen oder genau bestimmen; zum mindesten hat man 3 Tage gespart.

2. *Restbestimmungen im Zement-Rohmehl*: Dieselben sind nach Dr. W. Michaëlis derart auszuführen, daß man die bei  $105^{\circ}$  C. getrocknete Rohmehlmischung, wie sie später noch beschrieben wird, etwa 15 Minuten mit stark verdünnter Salzsäure kocht, mit Ammoniak ausfällt, den Rückstand auf ein Filter bringt und kurze Zeit, also nur unvollkommen, auswäscht. Man hat dabei Sorge zu tragen, daß der Niederschlag eng zusammengeballt wird und nicht über das ganze Filter ausgebreitet bleibt. Dann trocknet man das Filter mittels zweier Bunsenflammen (von oben und unten), nimmt den Rückstand durch Zusammenballen zu einem kleinen Klümpchen ab, glüht und wägt ihn: Toniger Anteil im Zement-Rohmehl. Von ihm schließt man auf den Gehalt an kohlensaurem Kalk.

Die technischen Fehler gleichen sich recht gut aus: einmal hat man nicht alles Chlorammon ausgewaschen und andererseits bleibt etwas von dem Niederschlage am Filter haften. Beides kompensiert sich, wie zahlreiche exakte Nebenbestimmungen ergeben haben.

Man hat auf diese Weise in etwa 2 Stunden die Zusammensetzung des Zement-Rohmehles ermittelt: auf  $\frac{1}{2}$  % kommt es nicht an.

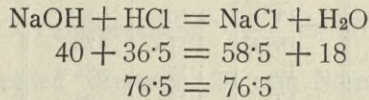
3. *Bestimmung des hydraulischen Moduls im Zement*: Man schließt 2 g Zement-Rohmehl durch Glühen über dem Gebläse auf, wodurch man zugleich den Glühverlust feststellt. Den Tiegelinhalt nimmt man mit etwas Wasser auf, zersetzt ihn mit Salzsäure in einer Porzellanschale und fällt heiß zu der ausgeschiedenen Kieselsäure noch Tonerde und Eisenoxyd mit Ammoniak. Den Niederschlag filtriert man ab, wäscht mit heißem Wasser aus, glüht und

wägt als Gesamt-Silikat:  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ . — Das Filtrat wird in der bereits angegebenen Weise heiß mit Oxalsäure und Ammoniak versetzt und der ausgeschiedene Kalk abfiltriert, stark gegläht und gewogen:  $\text{CaO}$ .

Man kann beide Operationen an einem Tage vollenden.

4. *Titration von Kalk und Kalkkarbonat.* Will man in einem Material, Kalkstein, Kalk, Rohmehl etc. (neben der eventuellen volumetrischen Kohlensäure-Bestimmung:  $\text{CaCO}_3$ ) den Gehalt an Calciumoxyd oder kohlen-saurem Kalk noch anderweitig ermitteln, so bietet auch hier die Maßanalyse eine sehr bequeme Methode, sofern man nur einmal die entsprechenden Titer-flüssigkeiten bereit hat: die Normalsalzsäure und die Normalnatronlauge.

Beide, Säure und Lauge, sind im Molekül äquivalent, sie neutralisieren sich also gegenseitig bei gleichen Mengen:



Die Normalsalzsäure hat danach 36.5 g  $\text{HCl}$ , die Normalnatronlauge 40 g  $\text{NaOH}$  im Liter. Dabei sind also unter Normallösungen solche zu verstehen, die von dem betreffenden Reagens ein Grammäquivalent, d. h. das Aequivalentgewicht in Grammen ausgedrückt, im Liter gelöst enthalten (Medicus, Maßanalyse).

Irgendwelche Umrechnungen fallen hier ganz fort, da eben 1 ccm Normalsalzsäure je 1 ccm Normalnatronlauge entspricht.<sup>1)</sup>

Hat man keine Normallösungen zur Verfügung, so kann man sich diese aus vorhandenen stärkeren Lösungen ganz leicht selbst herstellen.

Man stellt mittels Aräometers die spezifischen Gewichte und damit den Gehalt beider Lösungen fest und verdünnt diese alsdann in entsprechender, genau zu berechnender Weise an Hand der beigegebenen Tabellen. Als bequemstes Aräometer dient hierzu am besten das Gay-Lussac'sche Volumeter mit rationeller Einteilung. Dasselbe steht in reinem Wasser von 4° auf dem Punkt 100, während die Gradteile nach oben und unten genau  $\frac{1}{100}$  des Rauminhaltes des bis 100 eingetauchten Teiles des Apparates auf der Skala markieren.

Zeigt also z. B. das Volumeter 120, so ist das Volumengewicht  $\frac{100}{120} = 0.8333$ ,

zeigt das Volumeter 70, so ist das Volumengewicht  $\frac{100}{70} = 1.429$ . — Die allge-

meine Formel ist also:

für Flüssigkeiten vom spezifischen Gewicht unter 1  $= d = \frac{100}{100 + n}$ ;

„ „ „ „ „ über 1  $= d = \frac{100}{100 - n}$ .

<sup>1)</sup> Natronlauge muß, um vor Aufnahme von Kohlensäure gesichert zu sein, in gut verschlossenen Gefäßen aufbewahrt werden. Als Verschuß dient am besten ein Gummistopfen; Glasstopfen wachsen zu leicht im Hals fest!



Bei seltener Anwendung genügt es übrigens, nur die Normalsalzsäure herzustellen und damit vor jedem Versuch die vorhandene Natronlauge zu prüfen.

Gehalt und Volumgewicht der Salzsäure nach Kolb (15° C.):

Grade Baumé	Volum-Gewicht.	Prozente HCl.	Grade Baumé	Volum-Gewicht.	Prozente HCl.	Grade Baumé	Volum-Gewicht.	Prozente HCl.
0	1·000	0·1	9	1·067	13·4	18	1·143	28·4
1	1·007	1·5	10	1·075	15·0	19	1·152	30·2
2	1·014	2·9	11	1·083	16·5	20	1·161	32·0
3	1·022	4·5	12	1·091	18·1	21	1·171	33·9
4	1·029	5·8	13	1·100	19·9	22	1·180	35·7
5	1·036	7·3	14	1·108	21·5	23	1·190	37·9
6	1·044	8·9	15	1·116	23·1	24	1·199	39·8
7	1·052	10·4	16	1·125	24·8	25	1·210	42·4
8	1·060	12·0	17	1·134	26·6			

Volumgewicht und Gehalt der Natronlauge bei 15°.

Proz. Gehalt	Vol. Gew. für NaHO	Proz. Gehalt	Vol. Gew. für NaHO	Proz. Gehalt	Vol. Gew. für NaHO	Proz. Gehalt	Vol. Gew. für NaHO
1	1·012	16	1·181	31	1·343	46	1·499
2	1·023	17	1·192	32	1·351	47	1·508
3	1·035	18	1·202	33	1·363	48	1·519
4	1·046	19	1·213	34	1·374	49	1·529
5	1·059	20	1·225	35	1·384	50	1·540
6	1·070	21	1·236	36	1·395	51	1·550
7	1·081	22	1·247	37	1·405	52	1·560
8	1·092	23	1·258	38	1·415	53	1·570
9	1·103	24	1·269	39	1·426	54	1·580
10	1·115	25	1·279	40	1·437	55	1·591
11	1·126	26	1·290	41	1·447	56	1·601
12	1·137	27	1·300	42	1·456	57	1·611
13	1·148	28	1·310	43	1·468	58	1·622
14	1·159	29	1·321	44	1·478	59	1·633
15	1·170	30	1·332	45	1·488	60	1·643

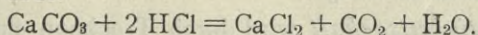
Als Farben-Indikator wählt man am besten eine alkoholische Phenolphthaleinlösung, welche in der sauren Flüssigkeit farblos bleibt, durch die geringste Spur Natronlauge aber intensiv rot gefärbt wird. Dementsprechend erfolgt also in alkalischen, mittels Phenolphthalein geröteten Flüssigkeiten durch eine ganz minimale Menge überschüssiger Salzsäure sofortige Entfärbung.

Zur Titration auf kohlen-sauren Kalk wägt man genau 1 g der betreffenden Substanz in ein kleines Erlenmeyer-Kölbchen von etwa 300—400 ccm Fassungsvermögen, übergießt mit ca. 100 ccm Wasser und läßt nun vorsichtig die Normalsalzsäure (20 ccm) hinzufließen. Dann kocht man mäßig etwa

5 Minuten, um alle Kohlensäure auszutreiben, läßt erkalten, setzt Phenolphthalein hinzu und titriert die überschüssige Salzsäure mit Normalnatronlauge bis zur eintretenden Rotfärbung zurück.

Die Zurückrechnung erfolgt für je 1 ccm Normalnatronlauge um 1 ccm Normalsalzsäure, der Rest an verbrauchter Säure wurde zur Ausführung des Versuches benötigt.

Das Molekulargewicht von reinem  $\text{CaCO}_3$  ist 100. Ein Molekül  $\text{CaCO}_3$  neutralisiert 2 Mol.  $\text{HCl}$ :



Das Äquivalentgewicht des  $\text{CaCO}_3$  ist sonach  $\frac{100}{2} = 50$ .

50 g  $\text{CaCO}_3$  sollen also genau 1 Ltr. (1000 ccm) Normalsalzsäure neutralisieren resp. 1 g  $\text{CaCO}_3$  entsprechend  $\frac{1000}{50} = 20$  ccm Normalsäure.

Umgekehrt entsprechen demnach 20 ccm Normalsalzsäure genau 1 g reinen  $\text{CaCO}_3$ . Hat man also etwa für 1 g abgewogener Substanz 12 ccm Säure verbraucht, so enthält sie  $\frac{12 \times 100}{20} = 60\%$   $\text{CaCO}_3$ .

Soll andererseits z. B. in frisch gebranntem Kalk (Aetzkalk =  $\text{CaO}$ ) der Gehalt an wirkungsfähigem  $\text{CaO}$  festgestellt werden und vielleicht auch noch dazu gleich der an ungebranntem kohlenurem Kalk,  $\text{CaCO}_3$ , so geht die Bestimmung in 2 Phasen vor sich.

Zunächst bestimmt man den *freien, d. h. disponiblen CaO*. — Man wägt dazu 100 g eines möglichst gut gezogenen Durchschnittsmusters des Aetzkalkes ab, löscht ihn sorgfältig mit Wasser, bringt den Brei in einen Halbliterkolben, füllt zur Marke auf, pipettiert unter Umschütteln 100 ccm heraus, läßt diese in einen andern Halbliterkolben fließen, füllt wieder auf und nimmt von dem gut gemischten Inhalt 25 ccm (= 1 g Aetzkalk) zur Untersuchung. Man setzt hierzu ein wenig Phenolphthalein und titriert mit Normalsalzsäure, bis infolge auftretender Kohlensäure (aus dem  $\text{CaCO}_3$ ) die Rosafarbe verschwunden ist, was eintritt, wenn aller freier Kalk gesättigt, der  $\text{CaCO}_3$  aber eben erst in Spuren angegriffen ist. Jedes ccm der Normalsalzsäure entspricht hierbei 0.028 g  $\text{CaO}$ . — Man muß diese Operation langsam und unter gutem Umschütteln vornehmen. Dann, aber auch nur in diesem Falle, gibt sie sehr genaue Resultate.<sup>1)</sup>

Nach Bestimmung des  $\text{CaO}$  läßt man weiter ein bestimmtes Quantum Normalsalzsäure hinzufließen, kocht auf und titriert nach erfolgtem Abkühlen wie gewöhnlich mit Normalnatronlauge zurück: Resultat  $\text{CaCO}_3$ .

Andere Methoden haben Dr. Frühling und Dr. Holmblad ausgearbeitet. Beide sind ganz brauchbar, aber auch nicht einfacher wie vorstehende Bestimmung.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Lunge, chemisch-technische Untersuchungsmethoden, Berlin (Julius Springer) S. 427.

<sup>2)</sup> Vergl. diesbez. die entsprechenden Prüfungen beim Kapitel V über Luftkalk.

Alle drei Methoden eignen sich sehr gut zur Bestimmung des Kalkgehaltes in fertigem Mörtel, vornehmlich auch, wenn der verwendete Sand mit Trümmern von Kalkstein durchsetzt ist. Sie sind event. sogar gleich auf der Baustelle anzuwenden.

\* \* \*

IX. *Untersuchung der Brennmaterialien*: Es kommen hierbei im wesentlichen Kohle und Koks in Frage.

1. Der *Feuchtigkeitsgehalt* wird durch Trocknen einer größeren Menge auf einer eisernen Platte bestimmt. — Das getrocknete Material wird dann gepulvert und weiter untersucht.

2. Für die *Aschenbestimmung* nimmt man einen alten Platintiegel, da das Platin durch solche Bestimmungen stark angegriffen wird. Man wägt 2 g ein und vollzieht die Einäscherung unter Luftzutritt im schräg gestellten Tiegel. Das Erhitzen darf nur ganz langsam und vorsichtig geschehen, damit einerseits nichts verstäubt und andererseits, besonders bei stark backenden Kohlen, die völlige Verbrennung nicht durch Sinterung gehindert wird. Von Zeit zu Zeit rührt man auch mittels starken Platindrahtes die Masse gut um; die Veraschung wird dadurch befördert, nimmt aber immerhin reichlich 3—4 Stunden in Anspruch. Nur ganz zuletzt glüht man stärker über voller Flamme, läßt dann im Exsikkator erkalten und wägt.

Die Aschenbestimmung ist niemals absolut genau, da einerseits die kohlen-sauren Salze, also wesentlich Kalkkarbonat, zum Teil entsäuert werden, andererseits wieder Oxydationsprozesse nebenhergehen, indem die Sulfide in Sulfate übergehen.

3. Um die *Verkokungsfähigkeit* festzustellen, bringt man die nur gröblich gepulverte Kohle in einen Platintiegel und glüht sofort über voller Flamme bei gut verschlossenem Deckel etwa 20 Minuten.

4. Der *Gehalt an Schwefel*, der besonders bei der Fabrikation von Portlandzement sehr ins Gewicht fällt, wird recht bequem nach Eschka bestimmt. Man mischt 1 g Kohle (feinst gepulverte) mit 1·5 g Magnesia und 0·5 g entwässerter Soda und erhitzt das Gemenge etwa zwei Stunden lang im offenen, schräg gestellten Tiegel, bis alle Kohle verbrannt ist. Dann läßt man erkalten und spült den Tiegelinhalt in ein mäßig großes Becherglas, welches zum Teil mit Bromwasser gefüllt ist, dessen Ueberschuß später durch Erhitzen entfernt wird. Darauf säuert man mit Salzsäure an, filtriert, erhitzt zum Kochen und fällt mit heißer Chlorbaryumlösung. Die weitere Behandlung erfolgt wie bereits beschrieben: Resultate recht gut!

Nach Kolbe bewirkt man die Oxydation der Sulfide durch Erhitzen mit Kaliumchlorat und Soda.

5. Eine genaue *Bestimmung des Heizwertes* erfolgt am besten mittels eines Kalorimeters, der sogenannten Bombe (Fig. 31) und zwar zweckmäßig in einem speziell dazu eingerichteten öffentlichen Laboratorium.

Dieses Kalorimeter besteht wesentlich aus einem Gußstahlblock, der eigentlichen Bombe, mit gasdicht aufschraubbarem Deckel, in welchem die Kohlenprobe in stark verdichtetem Sauerstoff verbrannt wird. Die entwickelte Wärme wird auf Wasser übertragen und aus dessen Temperatursteigerung der Heizwert berechnet. Die Bombe steckt in einem mit Metall ausgelegten Holzgefäß, und eine Rührvorrichtung dient dazu, die von der Bombe ausgehende Wärme gleichmäßig zu verteilen.

\* \* \*

X. *Analyse der Rauchgase.* — Zur Beurteilung bei den späteren Brennprozessen, ob man mit der richtigen Menge Luft<sup>1)</sup> gearbeitet hat, dient der *Orsat-Apparat* (Fig. 32). Derselbe ermöglicht, innerhalb technisch genauer Grenzen festzustellen, wieviel Kohlensäure, Sauerstoff, Kohlenoxyd und Stickstoff die aus den Verbrennungsprozessen resultierende Luft in sich enthält. Das Prinzip des Apparates beruht darauf, daß man von einer abgemessenen Menge (100 ccm) der Verbrennungsluft zunächst die Kohlensäure durch Natronlauge, dann den Sauerstoff durch pyrogallussaures Natron und schließlich das Kohlenoxyd durch eine ammoniakalische Kupferchlorür-Lösung absorbiert und danach bestimmt: der Rest ist Stickstoff.<sup>2)</sup>

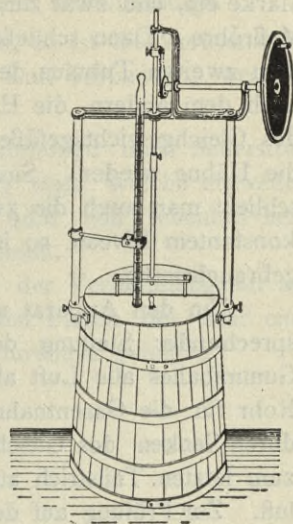


Fig. 31.

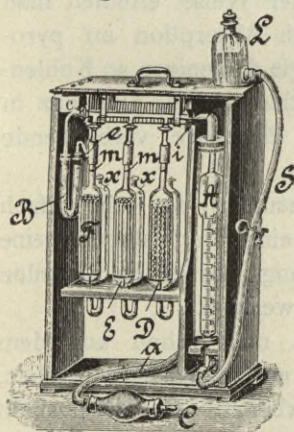


Fig. 32.

Der Apparat besteht aus drei doppelt tubulierten Absorptionsgefäßen D, E und F, welche, mit Glasperlen gefüllt, die Verbreitung der Absorptionsflüssigkeit über eine große Oberfläche ermöglichen und dadurch deren Einwirkung steigern. Alle drei Gefäße kommunizieren, jedes für sich durch Hähne verschließbar, mit einem gemeinsamen Verbindungsrohr, das, mit einem Dreiwegehahn versehen, in eine Meßröhre A endigt, welche ihrerseits wieder mit einem Gleichgewichtsgefäß L kommuniziert und zudem noch, zur Verhütung von Temperaturschwankungen, mit einem Kühlrohr umgeben ist. Außerdem steht die Verbindungsrohre mittels des Dreiwegehahnes noch mit

<sup>1)</sup> Zu wenig Luft würde ungenügende Verbrennung, zu viel Luft Verschwendung an Brennmaterial bedeuten.

<sup>2)</sup> Die Herstellung der Absorptionsflüssigkeiten ist die folgende: a) Natronlauge: 3 Teile Wasser auf 1 Teil geschmolzenes Natronhydrat; b) pyrogallussaures Natron: 30 g Pyrogallussäure, in wenig heißem Wasser gelöst, 180 g obiger Natronlauge; c) ammoniakalische Kupferchlorür-Lösung: gleiche Teile Ammoniak- und Ammoniumchlorid-Lösung, mit geglähten Kupferspänen bis zur dunklen Blaufärbung geschüttelt.

einem Gummidruckapparat C in Verbindung. Zur Vornahme der Analyse stellt man die drei Absorptionsflüssigkeiten und das Wasser in der Meßröhre auf die Marke ein, und zwar zunächst, bei geöffnetem Dreiwegehahn, das Wasser in der Meßröhre. Dann schließt man den Dreiwegehahn und lüftet die Stopfen auf dem zweiten Tubulus der drei Standgefäße. Nunmehr öffnet man, einen nach dem andern, die Hähne der drei Gefäße, stellt durch Senken und Heben des Gleichgewichtsgefäßes die drei Flüssigkeiten auf die Marke ein und schließt die Hähne wieder. Sind die drei Einstellungen nach einander erfolgt, so schließt man auch die zweiten Tubulus. Bleiben die Flüssigkeiten dann auf konstantem Niveau, so ist, was unerläßliche Bedingung, der Apparat dicht und gebrauchsfertig.

Um den Apparat mit der Verbrennungsluft zu füllen, saugt man, bei entsprechender Stellung des Dreiwegehahnes, durch wiederholtes Pressen des Gummiballes alle Luft ab und verbindet die Kommunikationsröhre mit dem Rohr für die Gasentnahme. Indem man nun bei geöffnetem Dreiwegehahn durch Senken des Gleichgewichtsgefäßes das Wasser aus der Meßröhre bis zum letzten Teilstrich auslaufen läßt, füllt man dieselbe mit der Verbrennungsluft. Zur Prüfung auf deren Zusammensetzung schließt man den Dreiwegehahn wieder und läßt die Verbrennungsluft zunächst zur Natronlauge treten. Ist alle Kohlensäure absorbiert, so stellt man die Lauge, bei gleichem Niveau der Meß- und Gleichgewichtsröhre, zur Marke ein und liest an der Meßröhre die absorbierten ccm Gas als Kohlensäure ab. In gleicher Weise ermittelt man den Verlust der Verbrennungsluft an Sauerstoff durch Absorption im pyrogallussauren Natron (II. Differenz in der Meßröhre), sowie denjenigen an Kohlenoxyd durch Absorption im ammoniakalischen Kupferchlorür (III. Differenz in der Meßröhre). Das in der Meßröhre verbleibende Gas wird als Stickstoff notiert.

Die Ausführung des Versuches, der sehr einfach und leicht ist, dauert kaum eine Viertelstunde: seine Ergebnisse sind für den Gang der Oefen zuweilen äußerst charakteristisch und wertvoll.

Im wesentlichen kann man schon aus dem Gehalt der Verbrennungsluft an Kohlensäure ersehen, ob die Feuerung rationell arbeitet. Es ist deshalb von Cramer ein vereinfachter Apparat konstruiert worden, der nur den Kohlensäuregehalt bestimmt.

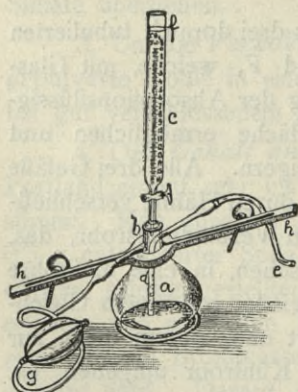


Fig. 33.

Dieser *Cramer'sche Rauchgasapparat* (Fig. 33) besteht in der Hauptsache aus dem Meßgefäß a und dem in  $\frac{1}{10}$  0/0 geteilten Rohr c, welches mit Natronlauge gefüllt wird. Das Rauchgas wird mit Hülfe des Aspirators g in das Gefäß a geleitet. Nach dem Oeffnen des Hahnes am Glasrohr läuft soviel Flüssigkeit aus demselben, wie Kohlensäure im Rauchgas vorhanden war. Der Gehalt daran kann bis etwa 20 0/0 steigen. Ist er geringer, so wird meistens mit einem großen Ueberschuß an Luft gearbeitet.

Im übrigen ist aus den Rauchgas-Analysen zu folgern:

a) Ist eine beträchtliche Menge Kohlenoxyd vorhanden, so fehlt es bei der Verbrennung an Luft und die Verbrennung ist eine unvollständige.

b) Ist Sauerstoff vorhanden und fehlt Kohlenoxyd, so ist die Verbrennung zwar eine vollständige, doch ist ein Ueberschuß an Luft vorhanden, welcher die Rauchgase zwecklos abkühlt.

c) Ist neben einem wesentlichen Gehalt an Kohlenoxyd noch Sauerstoff vorhanden, so findet eine unvollständige Verbrennung statt, welche entweder von der zu geringen Temperatur in der Feuerstelle oder von Nebenluft her-rühren kann, welche nicht an der Verbrennung teilnimmt.

Für gewöhnlich wird es genügen, den Gehalt der Verbrennungsluft an Kohlensäure zu ermitteln und wird also in den meisten Fällen der sehr einfache und handliche Cramer'sche Rauchgas-Apparat durchaus genügen.

---



IV.

Der Gips.





#### IV.

### Der Gips.

Wenn Verf. bei der Besprechung der Mörtelbildner mit demjenigen beginnt, dessen Verbreitung zur Zeit nicht allzu ausgedehnt und auch ziemlich einseitig erscheint, dem Gips, so geschieht das, einmal um mit der gegebenen Einteilung der Rohmaterialien konform zu gehen, andererseits aber auch, weil der Gips resp. die eine der beiden Gipsorten und der im nächsten Abschnitt behandelte Luftkalk (beides die ältesten unserer Mörtelstoffe) mancherlei vollkommenste Uebereinstimmungen und wiederum stärkste Gegensätze aufweisen.

Die Kenntnis, daß wir eigentlich zwei durchaus von einander verschiedene Gipsorten haben, die im Altertum auch wohl als solche gekannt waren, ist lange Zeit hindurch nahezu verschollen gewesen. Und erst in neuerer Zeit haben rührige Vertreter dieser Industrie diese Kenntnis wieder aufgefrischt und der Mörteltechnik ein außerordentlich wertvolles Glied wieder gewonnen.

Man unterscheidet also diesen neuerdings wieder in Aufnahme gekommenen Gips, den sog. *Estrichgips*, scharf von dem altbekannten *Putz- oder Stuckgips*.

Letzterer ist es auch nur, welcher in seiner Eigenschaft dem Luftkalk gegenüber so merkwürdig auffällt.

Die Punkte, in denen beide Materialien vollkommen gleich, sind folgende: Beide sind ausgesprochene Luftmörtel, eine Anwendung im Wasser ist ganz und gar ausgeschlossen. Bei beiden besteht weiter der Prozeß der Erhärtung, also derjenigen Eigenschaft, welche sie zu Mörtelbildnern stempelt, in einer Rückbildung in den ursprünglichen Zustand. Aus dem Ursprungszustand werden beide durch Brennen zum eigentlichen Mörtel. Während dabei der Luftkalk aus kohlenurem Kalkstein durch Austreibung von Kohlensäure hervorgeht, wird der Gips als Mörtel aus dem schwefelsauren Kalkstein durch Entfernen seines Hydratwassers gewonnen. Aus dem Luftkalk bildet sich dann durch Aufnahme von Kohlensäure wieder kohlenurem Kalk zurück, in entsprechender Weise aus dem entwässerten Gips durch Zuführung von Wasser beim Anmachen wieder wasserhaltiger schwefelsaurer Kalk.

Dagegen ist der Prozeß der Erhärtung bei beiden Materialien insofern verschieden, als derselbe beim Luftkalk ein durchaus unselbständiger ist. Während also Luftkalk für sich allein keinerlei nennenswerte Festigkeit erlangt, vielmehr erst durch Zusatz von Sand einen brauchbaren Mörtel liefert, zeigt der Gips gerade die entgegengesetzte Eigenschaft, für sich allein, also durchaus selbständig einen haltbaren Mörtel abzugeben. Ja, ein Sandzusatz von vielleicht nur 30—40% verringert die Mörtelqualität des Gipses sofort ganz bedeutend. Ferner weichen beide in der Zeitdauer der Erhärtung durchaus von einander ab. Kalk liefert einen sehr langsam bindenden Mörtel, Gips dagegen bindet und erhärtet rapide, so schnell, daß er aus diesem Grunde mit großer Vorliebe zu Gießzwecken Verwendung findet — sofern die Produkte desselben nicht der Witterung ausgesetzt werden sollen.

Ein eigentlicher Brennprozeß findet bei der Entwässerung dieses Gipses nicht statt, eher kann man den Vorgang als ein scharfes Darren oder Rösten auffassen. Die Entwässerung erfolgt auch nicht in einer einzigen, kontinuierlich fortlaufenden Reaktion, sondern in zwei resp. drei ziemlich scharf getrennten Phasen, über welche die Angaben der einzelnen Beobachter etwas schwankend sind. Die Anfangstemperatur liegt sehr niedrig: zwischen 81—93° C. geht bereits der beträchtlichste Teil des Wassers fort, fast 16% von den im ganzen vorhandenen 21%. Ein weiterer Teil beginnt bei 106—108° C. zu entweichen, und erreicht diese zweite Phase bei etwa 129—130° C. ihr Ende. Die dritte setzt mit 150° C. ein und schließt bei ungefähr 170° C. ab. Die letzten Spuren Wasser gehen dann erst bei erheblich höherer Temperatur, 270—300° C., fort.

Jedenfalls kann man annehmen, daß die Temperatur, bei der die Hauptmenge des Wassers entweicht, ihre Minimal- und Maximalgrenzen bei 81° und etwa 120° C. hat. Verf. hat Gips längere Zeit auf konstant 120° C. erhitzt und dabei ein Produkt erhalten, welches noch 3% Wasser enthielt. Erhitzt man Gips unnötig hoch, so büßt er an Fähigkeit, Wasser schnell zu binden und somit rasch zu erhärten, erheblich ein: solcher Gips heißt auch wohl „totgebrannt“, obwohl ein vollständiges Totbrennen nach Dr. Michaëlis und Fr. Schott ausgeschlossen ist. Immerhin soll man zur Entwässerung sich möglichst nicht solcher Brennmaterialien bedienen, welche Stichflammen erzeugen, z. B. Holz, wogegen wir ein ganz vorzügliches Brennmaterial für Gips im Torf besitzen. Recht zweckmäßig brennt oder darrt man den Gips auch durch überhitzten Dampf, der nicht übermäßig hoch gespannt zu sein braucht, also keinerlei subtiler Apparate bedarf.

Das spezifische Gewicht des normal gebrannten Putz- oder Stuckgipses mit einem Gehalt von 3% Wasser hat Verf. unter Zuhilfenahme einer Wasserstrahl-Luftpumpe in absolutem Alkohol zu 2,685 ermittelt. — Solcher Gips bindet sehr rasch ab, und zwar um so rascher, je niedriger die Temperatur gewesen, bei der er gebrannt worden ist. Sein eigentliches Arbeitsgebiet sind denn auch Stuckatur und ähnliche Sachen, bei denen es darauf ankommt, eine rasch erstarrende Masse zu haben, um die vorhandenen Modelformen ge-

hörig ausnützen zu können. Nur der über 300° C. erhitzte Gips bindet äußerst langsam und träge ab.

Das Produkt, welches bei der Zwischentemperatur, also etwa von 200 bis 300° C. gebrannt ist, hat merkwürdigerweise keinerlei ausgesprochene Eigenschaften und taugt ganz und gar nicht zum Mörtelmaterial. Es bindet nicht glatt ab und bleibt mürbe, sandet resp. bröckelt sogar nach und nach etwas ab.

Dagegen bildet der bei Rotglut gebrannte Gips ein außerordentlich wertvolles Produkt, das leider noch viel zu wenig in der Bautechnik bekannt ist und oftmals unter falscher, unsachgemäßer Behandlung zu leiden hat. Dieser Gips, den man nach seiner Hauptverwendung zu Estrichen als *Estrichgips* bezeichnet, ist von dem Stuck- oder Putzgips durchaus zu unterscheiden. Der Estrichgips ist nicht mehr schnellbindend, sondern dehnt das Abbinden von 10 bis zu 50 Stunden aus. Als gewöhnliche, normale Bindezeit sind 12 bis 18 Stunden zu nennen. Entsprechend dem weitaus *langsameren Abbinden* erhält auch der Estrichgips eine wesentlich *höhere Festigkeit* als der Stuckgips. Und schließlich ist der Estrichgips *hydraulisch* geworden und hat damit eine sehr bedeutende Widerstandsfähigkeit gegen Feuchtigkeit und Witterungseinflüsse gewonnen.

Das Anmachen des Stuckgipses mit Wasser zur *Ermittlung der Abbindezeit* erfolgt in der Weise, daß man den Gips in das entsprechend bemessene Quantum Wasser eingibt (nicht umgekehrt!), bis er etwas über die Oberfläche hinausragt. Dann rührt man die Masse rasch durch und gießt den dickflüssigen Brei auf eine Glasplatte. Das Wasserquantum ist dabei ungefähr wie 1 : 1 bis 1 : 1½ zu bemessen.

Findet man, daß hierbei der Gips Neigung hat, Klumpen zu bilden, so ist das ein Zeichen von schlechtem, d. h. ungenügendem Brande.

Dem gegenüber verlangt der Estrichgips bedeutend weniger Wasser, nur etwa halb so viel wie Putzgips. Auch wird der Wasserzusatz derartig geregelt, daß man keinen flüssigen Brei, sondern Teig von mörtelartiger Konsistenz erhält, den man bequem mit der Kelle zu bearbeiten vermag. Ferner zeigt der Estrichgips beim Abbinden keinerlei nennenswerte Temperaturerhöhung, während Putzgips sich dabei erheblich erwärmt.

Die *Güte von Stuckgips* kann man bald nach erfolgtem Abbinden in einer sehr einfachen Weise prüfen. Man ritzt auf der geraden resp. planen Oberfläche des abgebundenen Kuchens (die der Glasplatte zugekehrt war) mit einem Messer eine gerade Linie, ähnlich wie beim Glasschneiden mit dem Diamanten. Bricht man dann den Kuchen an dieser Stelle auseinander, so soll der Bruch ganz scharf sein und genau in der geritzten Linie verlaufen.

Für *Estrichgips* ist für alle Versuche noch darauf zu achten, daß die Probestücke in gut feuchtem Raume gehalten werden, damit kein vorzeitiges Verdunsten des Wassers eintritt, da der Gips sonst mürbe und bröckelig wird.

Während des Abbindens zeigt der *Putzgips* die eigentümliche Eigenschaft, sein *Volumen um etwa 1 % zu vermehren*. Bei der Art seiner Ver-

wendung wirkt diese Dehnung eigentlich nur günstig, indem alle Hohlräume z. B. von Modellformen etc. vollkommen ausgefüllt werden, ohne daß doch die Formen selbst darunter leiden. Dagegen sind *beide Gipsarten* nach erfolgtem Abbinden *raumbeständig* und zeigen keinerlei schädliches Treiben.

Ein solches scheinbares Treiben kann nur von unsachgemäßer Behandlung herrühren, z. B. wenn man Estrichgips, um ihn bequemer verlegen zu können und schneller zum Abbinden zu bringen, mit Portlandzement in erheblicherer Menge versetzt. Ebenso wie dem Portlandzement nur etwa 2 % Gips beige-fügt werden dürfen, zwecks Regulierung technischer Eigenschaften, speziell also des Abbindens, ebenso darf der Zusatz von Portlandzement zum Gips nur ein minimaler sein und jedenfalls 1, allerhöchstens  $1\frac{1}{2}$  % nicht übersteigen. Leider wird, wie Verf. wiederholt konstatieren mußte, diese Bedingung nicht immer eingehalten und zeigten sich bei untersuchten schadhafte Gipsestrichen Zusätze von Portlandzement bis zu 25 %! Daß ein derartig mißhandelter Estrich nach einiger Zeit mit Beulen und Buckeln durchsetzt ist, darf alsdann nicht Wunder nehmen.

Ebenso wie kein Treiben, so tritt auch beim normalen Estrichgips kein *Schwinden* ein. Diese Eigenschaft ist sehr wertvoll, denn sie gewährleistet dem Bautechniker einen glatten und völlig rissefreien Boden, selbst über sehr ausgedehnte Flächen. —

Der gewöhnliche Putzgips ist, infolge seiner Wasserlöslichkeit und besonders auch bei seiner großen Porosität, durchaus nicht wetterbeständig und schützt ihn vor *Witterungseinflüssen* nur ein guter, gleichmäßig dichter Oelfarbenanstrich.

Estrichgips dagegen trotz bei seinem dichten Gefüge allen Unbilden der Witterung, kann abgewaschen werden und auch sonst mit Wasser in Berührung kommen.

Schon aus diesem Grunde soll man also bei der Benutzung von Gips die beiden Sorten Putzgips und Estrichgips scharf auseinanderhalten. Ein leidliches Unterscheidungsmittel ist übrigens für ein nur etwas geschultes Auge die verschiedene *Farbe* beider Gipse. Während der gewöhnliche Putzgips bläulich aussieht, hat der Estrichgips eine rötliche Färbung.

Ferner dient zur Unterscheidung die wesentlich verschiedene *Wassermenge zum Anmachen* und Abbinden-Lassen des Gipses.

Ebenso ist die *Mahlung* ein auch dem Nicht-Fachmann gut wahrnehmbares Merkmal, indem Putz- und Stuckgipse, besonders aber Form- und Modellgipse erheblich feiner gemahlen sind als der recht grobkörnige Estrichgips.

Auch das *Litergewicht* ermöglicht eine bequeme und ziemlich sichere Kontrolle. Das Litergewicht des schwach gebrannten Putzgipses schwankt bei loser Einfüllung zwischen 650—850 g, bei Einrüttelung zwischen 1200—1400 g, während der dichtere Estrichgips lose eingefüllt 1000—1100 g, fest eingerüttelt aber 1500—1600 g wiegt.

Dem entsprechend liegt das *spezifische Gewicht* für Putzgips etwa bei 2·7, das des Estrichgipses dagegen nahe bei 2·9.

Die *Festigkeit*, welche der *Putzgips* erlangt, ist nicht unbedeutend und beträgt bei reinem Gips etwa 18 kg Zugfestigkeit nach 28 Tagen. Diese Festigkeit wird aber durch einen ganz geringen Sandzusatz wesentlich herabgemindert und beträgt für Mörtel von 2 Gips und 1 Sand nur noch 9 kg Zugfestigkeit nach 28 Tagen. Die Festigkeit des Gipses erfährt übrigens ganz im Gegensatz zu den anderen Mörteln im Laufe der Zeit nicht nur keine kontinuierliche Steigerung, vielmehr erreicht sie sehr bald ihre Maximalgrenze, um dann stetig und ganz langsam wieder etwas zurückzugehen.

Tetmajer<sup>1)</sup> fand für verschiedene Gipssorten die folgenden Festigkeiten (bei einer Bindezeit von  $4\frac{1}{2}$ —20 Minuten):

nach Tagen	Zugfestigkeit Kilogramme pro 1 qcm	Druckfestigkeit
7	11·8	55·6
28	19·3	83·2
84	23·1	127·0

Wesentlich höher sind die *Festigkeiten des Estrichgipses*, dessen Druckfestigkeit nach Ermittlungen des Tonindustrie-Laboratoriums bis zu 250 kg/qcm steigen kann. Aber auch der Estrichgips verträgt nicht gut einen Sandzusatz. Und in der Praxis soll man einen solchen nur bis zu 1 : 1, allerhöchstens bis zu  $1\frac{1}{2}$  : 1 bemessen. Der Sand soll außerdem nicht tonhaltig und nicht zu feinkörnig sein.

Beim Verlegen von Estrichgips ist auch weiter noch darauf zu achten, daß er immer auf eine Unterlage von feuchtem Sand oder genäßten Kohlenaschen zu liegen kommt, daß er nach dem Verlegen gut vor Austrocknung geschützt und am nächsten Tage energisch mit dem Schlagholz auf etwa  $\frac{3}{4}$  seines Volumens zusammengeschlagen wird. Danach erst erfolgt das Glätten mit der Kelle.

Ein derartig verlegter Gipsestrich, besonders wenn er nach erfolgter guter Ausdünstung, mit Linoleum belegt wird, ist ein ausgezeichneter Fußboden, rissfrei, daher sauber, stets glatt, sehr fest, warm und vorzüglich schalldämpfend. Seine Verwendung muß also auf das allerwärmste befürwortet werden.<sup>2)</sup>

\* \* \*

Die zwei oder eigentlich drei Gipssorten unterscheiden sich auch durch die verschiedene Art ihrer *Fabrikation*, speziell also durch die Behandlung beim Brennen und Mahlen.

<sup>1)</sup> Die Menge des Anmache-Wassers stellte Tetmajer bei seinen Versuchen für Normalkonsistenz zu 48—72 % fest, die Temperatur-Erhöhung zu 7·3—24·2° C., das Hektolitergewicht, lose eingelaufen, zu 74—88 kg, dagegen fest eingeschüttelt, zu 114—167 kg, das Einheitsgewicht schließlich zu 2·55—2·87.

<sup>2)</sup> Ueber die Verwendung beider Gipssorten vergl. „Das kleine Gipsbuch“, bearbeitet, auf Veranlassung des Deutschen Gips-Vereins, vom Tonindustrie-Laboratorium.

1. Der *Putz- oder Stuckgips* wird zunächst, wie bereits bei der Gewinnung der Rohmaterialien ausgeführt ist (vergl. hierzu II. 1), vom Bruch nach der Fabrik gefördert. Dort wird er, ohne erst getrocknet zu werden, also in grubenfeuchtem Zustande dem Mahlprozeß unterworfen und in gemahlenem Zustande endlich gebrannt etc. etc.

Das *Mahlen* des Putzgipses erfolgt meistens auf drei hintereinander geschalteten Mahlapparaten. Zuerst werden die groben Stücke, wie sie aus dem

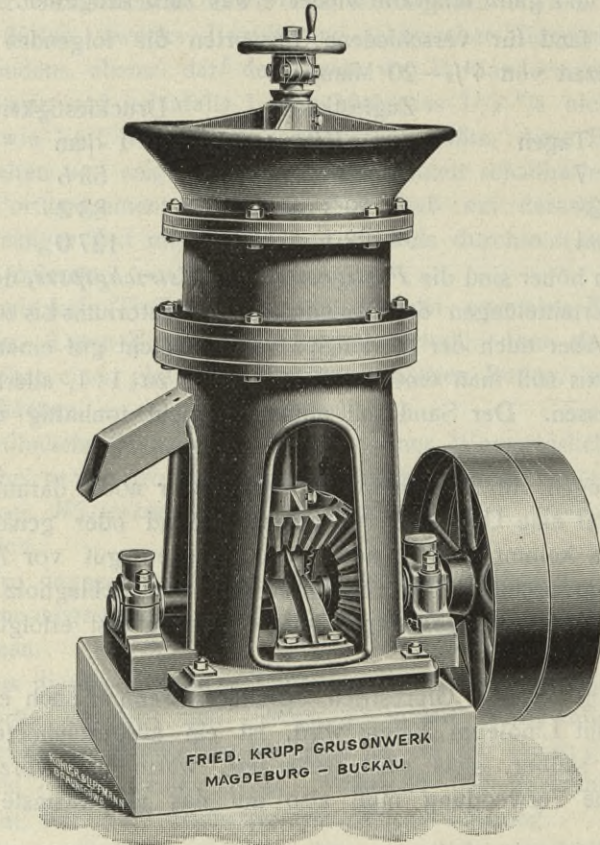


Fig. 34.

Bruch kommen, auf einem *Steinbrecher* (wie beim Zement näher beschrieben ist) gröblich vorzerkleinert.

Das Mahlgut vom Steinbrecher gelangt dann weiter auf eine *Glockenmühle* (Fig. 34), um auf dieser zu Gries geschrotet zu werden, welcher eine Korngröße von Erbsengröße bis zu Mehl herunter hat. Die Zerkleinerung wird durch einen geriffelten Mahlkonus bewirkt, welcher sich in einem entsprechend gerade oder schräg geriffelten Mahlrumpf dreht (Fig. 35), das Prinzip der gewöhnlichen Kaffeemühle. Der Mahlrumpf ist auf einem seitlich durchbrochenen Sockel aufmontiert. Der Mahlkonus ist an einer vertikalen Mühlenspinde befestigt und wird mit dieser durch Kegelräder und Vorgelege

mit Fest- und Losscheibe in rotierende Bewegung versetzt. Aehnlich wie beim später noch beschriebenen Mahlgang läßt sich die Spindel mit dem Mahlkonus entsprechend heben oder senken und demgemäß der Abstand resp. der Spalt

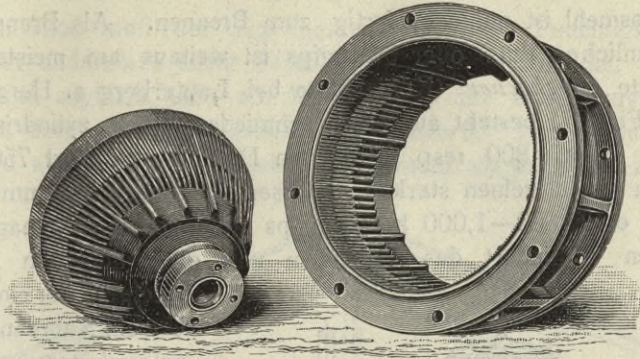


Fig. 35.

zwischen Mahlkonus und Mahlrumpf nach Belieben enger oder weiter stellen. Damit wird man je nach Anforderung an die zu erzielende Korngröße des Mahlgutes feiner oder gröber zu mahlen vermögen. Konus und Rumpf und speziell der untere, mit feinerer Riffelung versehene, zylindrisch geformte Mahlkranz, der naturgemäß den größten Verschleiß hat, lassen sich leicht auswechseln resp. ersetzen. — Tourenzahl ca. 200 pro Minute, Kraftbedarf und Leistung je nach Größe 9—12 P.S. resp. bis zu 3—4,000 kg pro Stunde.

Die Griese aus der Glockenmühle werden dann weiter einem Polysiussschen *Unterläufer-Mahlgang* von 1,000 mm Durchmesser oder einem dreifachen *Vertikal-mahlgang* zugeführt. Letzterer (Fig. 36) besitzt drei Steine von 600 mm Durchmesser, von denen der mittlere etwa 400 Umdrehungen macht, während die beiden andern im gußeisernen Gehäuse feststehen.

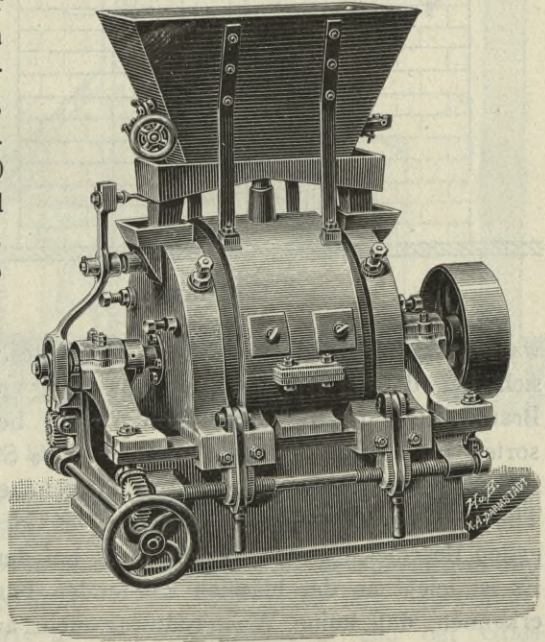


Fig. 36.

Die Aufgabe erfolgt zentral durch eine Schüttelvorrichtung. Zur Regulierung der Feinheit des Mahlgutes können die beiden äußeren Steine dem mittleren beliebig genähert werden. — Die Stundenleistung schwankt je nach Härte des



Rohsteines und verlangter Mehlfeinheit zwischen 600—800 kg. Der Kraftbedarf stellt sich auf etwa 7 Pferdestärken.

Da diese Vertikalmahlgänge ein sehr gleichmäßiges Korn geben, so ist ein Absieben überflüssig.

Das Gipsmehl ist nunmehr fertig zum Brennen. Als Brennapparat für diesen gewöhnlichen Putz- oder Stuckgips ist weitaus am meisten verbreitet der sogenannte *Gipskocher* (Königshütte bei Lauterberg a. Harz). — Dieser Gipskocher (Fig. 37) besteht aus einem schmiedeeisernen, zylindrischen Gefäße (Kessel) von meist 1,800 resp. 2,000 mm Durchmesser und 750 mm Höhe, dessen Boden aus einzelnen starken, gußeisernen Ringen zusammengesetzt ist, und welches etwa 800—1,000 kg Rohgips aufzunehmen vermag. Der gußeiserne Boden verhindert das Verziehen und ermöglicht ein leichtes Aus-

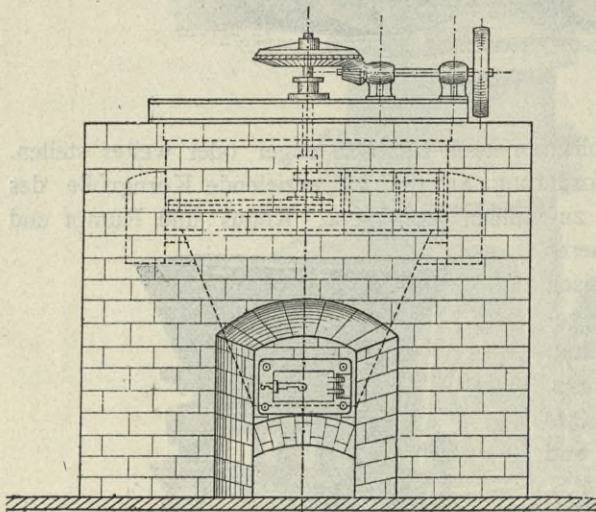


Fig. 37.

wechsellern der einzelnen Teile. Um ein Anbrennen des Gipses zu verhüten und zudem den Kessel leicht entleeren zu können, ist ein Rührwerk mit verstellbaren Rührern vorgesehen, dessen vertikale Spindel durch Kegeigräder und Vorgelege meist von oben her angetrieben wird. Der Kessel ist in Mauerwerk eingebaut und wird von einem Planrost aus mit Braunkohle und etwas Steinkohle geheizt.

Während des Kochens verliert der Gips nahezu vollständig sein Hydrat-

wasser, d. i. ungefähr  $\frac{1}{5}$  seines Gewichtes. Der Brennmaterialbedarf stellt sich bei diesem Apparat für den fertig gebrannten Gips auf etwa 14 % Braunkohle oder 8 % Steinkohle resp. bei einem Gemisch beider Kohlenarten auf etwa 5 % Braunkohle + 5 % Steinkohle. Während des Kochens soll die Temperatur auf etwa 150° C. gehalten und zweckmäßig ständig mittels Thermometers kontrolliert werden. Das Garwerden des Gipses erfolgt bei der ersten Beschickung des Kessels in 2, bei den folgenden in etwa  $1\frac{1}{2}$  Stunden. Es ist leicht an der bläulich werdenden Färbung des Gipses sowie daran zu erkennen, daß keine Wasserdämpfe mehr aufsteigen.

Diese beim Kochen entweichenden Wasserdämpfe haben die unangenehme Wirkung, die feinsten Staubteilchen des im Kochkessel befindlichen Gipses mit fortzureißen. Es ist daher erforderlich, über jedem Kocher einen Dunstschlot anzubringen, welcher diese mit Gipsstaub beschwerten Dämpfe in eine Staubkammer abzieht und dort den Gipsstaub sammelt.

Ist der Gips im Kessel fertig gekocht, so wird der Ablasschieber geöffnet und der Gips entleert, um durch Schnecken etc. in die Kühl- und Sammelsilos übergeführt zu werden. Aus diesen wird er in Säcke verpackt und kann nunmehr zum Versand gelangen.

In den Silos muß der Gips natürlich gut vor Feuchtigkeit geschützt werden, da er andernfalls leicht Wasser anzieht und abbindet. Es ist aber dieser Umstand zugleich auch ein Mittel, Gips, der etwas zuviel Feuer bekommen hat, durch Ablagern wieder aufzubessern. Der Grundsatz für das Brennen wird also immer sein, lieber etwas mehr als zu wenig zu brennen. —

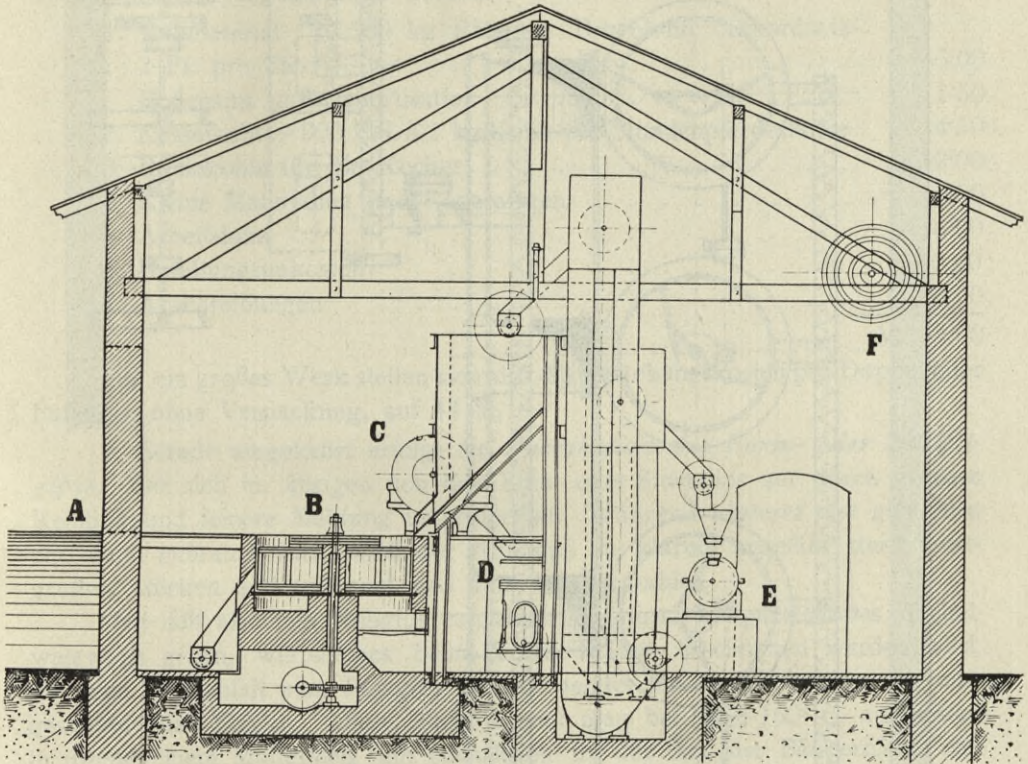


Fig. 38.

Als Beispiel für eine wie vorstehend geschilderte Putzgips-Fabrikation mögen die Abbildungen Fig. 38 und 39 dienen.

Auf dem Gleis einer Terrainbahn A wird der Rohgips herangefahren und direkt in den Steinbrecher C ausgestürzt. Vom Steinbrecher fällt das vorzerkleinerte Material über eine Schurre in die Glockenmühle D und der Gries hiervon gelangt durch einen Elevator und Verteilschnecke auf zwei resp. drei Vertikalmahlgänge E. Der hier fertig gemahlene Rohgips wird dann weiter durch Transportschnecke, Elevator und Verteilschnecke in die kleinen Vorratsilos über den Kochern gebracht und fällt beim Oeffnen des Verschlusses direkt in die Kochkessel B. Aus diesen wird schließlich der fertig gebrannte Gips,

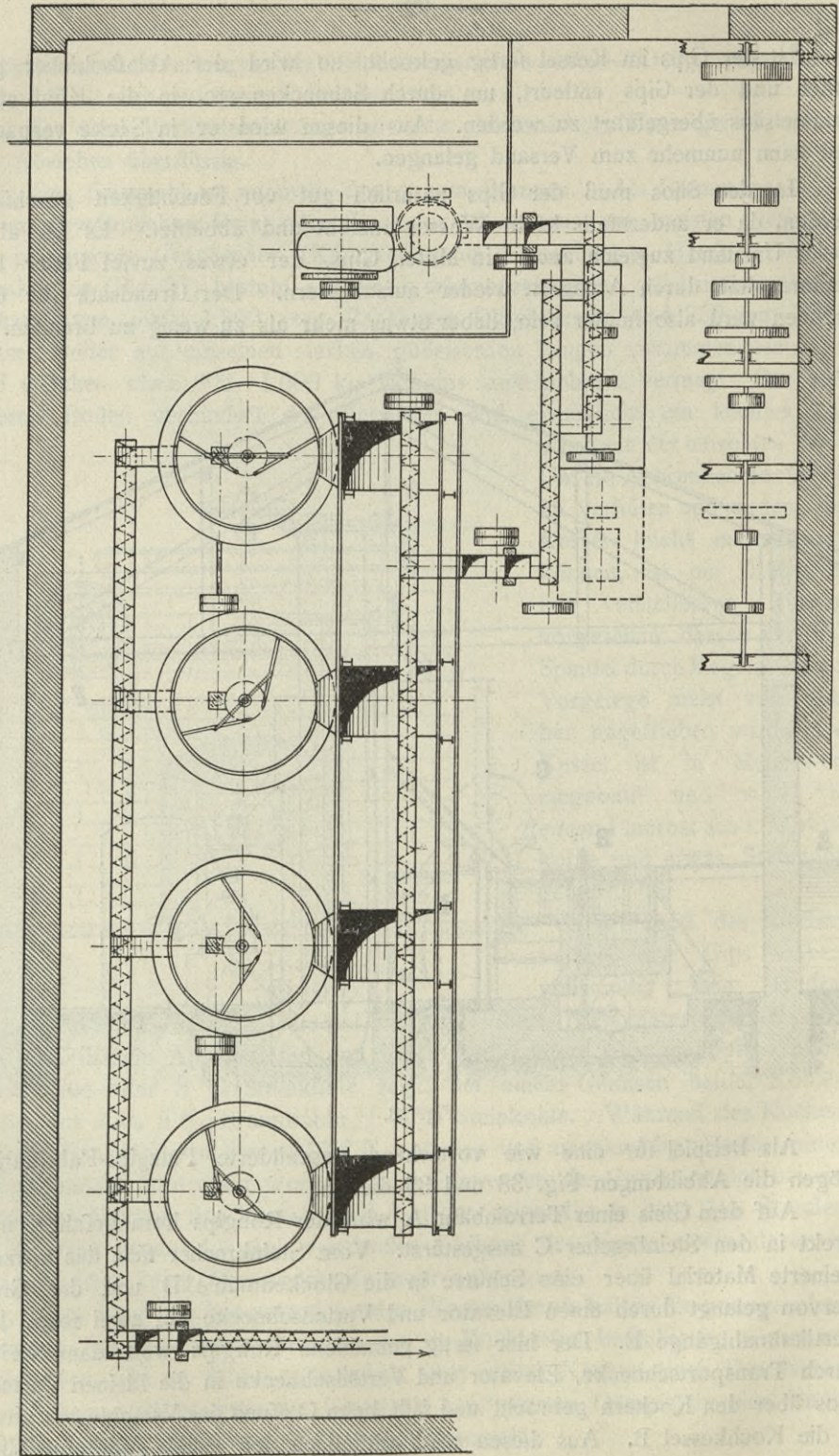


Fig. 39.

nach Oeffnen des Ablasschiebers, durch Transportschnecken und Elevatoren in die Kühl- und Vorratssilos übergeführt. Absacken und Verwägen (gewöhnlich zu 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Ztr.) geschieht, wie noch beim Zement näher auszuführen sein wird.

Die Leistung der vorstehenden kleinen Anlage beträgt jährlich bei 20-stündigem Tag- und Nachtbetriebe etwa 600 Waggons Putzgips. —

Die *Gestehungskosten* bei derartigen Werken stellen sich für Putz- resp. Stuckgips wie folgt, wobei eine ganz große Anlage von etwa 20 Doppelwaggons zu Grunde gelegt werden mag. Arbeitslohn soll mit 3 M., Steinkohle mit 75 Pf. pro Ztr. angenommen werden.

1. Rohmaterial: 12,500 kg Rohgips, Bruchlohn, Akkordsatz	
2 Pf. pro Ztr. . . . .	5·00
Bodenzins und Amortisation . . . . .	1·50
2. Kesselkohle: 300 P.S. à 1 kg Kohle pro Stundenpferdestärke	4·50
3. Brennkohle für die Kocher . . . . .	12·00
4. Kleine Materialien und Reparaturen . . . . .	6·00
5. Arbeitslohn . . . . .	6·00
6. Handlungsunkosten . . . . .	3·00
7. Abschreibungen . . . . .	6·00
	M. 44·00

Für ein großes Werk stellen sich also die Gestehungskosten pro Doppellader Putzgips, ohne Verpackung, auf 44 M. —

2. Gerade umgekehrt erfolgt die *Fabrikation des Form- oder Modellgipses*, der sich im übrigen von dem Putz- oder Stuckgips nur durch größere Reinheit und feinere Mahlung unterscheidet. Während letzterer erst gemahlen und dann gebrannt wird, wird der Formgips aus klaren, ungefähr stark faustgroßen Stücken erst gebrannt und dann fein gemahlen.

Man läßt also den Rohgips zunächst etwa durch ein ganz grobes Stachelwalzwerk gehen, wie solches beim Zement näher beschrieben werden wird, gibt den Kleinabfall zum Putzgips und verwendet für den Modellgips nur ausgesuchte reine Stücke. Diese Stücke brennt man bei 145—160° C. am besten in irgend einem Muffelofen, am einfachsten in der Art der Bäckeröfen, und mahlt schließlich den fertig gebrannten Gips am zweckmäßigsten auf Kollergängen fein. Natürlich bedingen das Brennen im Muffelofen und das feinere Mahlen entsprechend höhere Gestehungskosten. Auch rentiert sich der Betrieb nur bei gleichzeitiger Fabrikation von Putzgips. Aber der Verkaufspreis für feinsten Modellgips ist dafür auch gleich ein erheblich höherer.

3. Die *Fabrikation von Estrichgips* schließlich vollzieht sich in großen Zügen wie folgt: Das Rohmaterial wird, wie es vom Bruch kommt, zuerst gebrannt, und zwar recht zweckmäßig und billig in einem kleinen Ringofen. Die Temperatur braucht Rotglut, also etwa 550—600° C. kaum zu übersteigen. Der gebrannte Gips wird dann auf irgend einem Mahlapparat, z. B. wieder Kollergängen, entsprechend vermahlen. Die Mahlung kann ziemlich grob aus-

fallen und ein Gemisch von Feinmehl und Griesen bilden. Dadurch stellen sich die Gesteungskosten sogar noch etwas günstiger als beim Putz- oder Stuckgips.

\* \* \*

Die vorbeschriebenen Mahl- und Brennapparate dürften wohl die in der Praxis weitaus am meisten verbreiteten sein.

Als Brennapparate speziell für Putz- oder Stuckgips kommen dann noch in sinngemäßer Abänderung die Trommeln in Betracht z. B. von Fellner und Ziegler (Frankfurt a. M.-Bockenheim), wie sie sonst zum Trocknen des Rohmaterials für Portlandzement benutzt werden. Auch ein kontinuierlich arbeitender Kanalofen, eine Abart des periodischen Kesselofens von O. Bock-Berlin, aber ausgestattet mit Koloriferenheizung von Möller und Pfeifer (Berlin) verdient für Formgips eine gewisse Beachtung. Für das Brennen von Estrichgips endlich ist noch der Drehrohrofen der Brennofen-Bauanstalt (Hamburg) zu erwähnen.

## Der Luftkalk.

v.

### Der Luftkalk.

Der Luftkalk ist ein Kalk, der durch die Wirkung der Luft auf einen Kalkhydrat entsteht. Er ist ein weißer, feiner Pulver, der in Wasser löslich ist. Er wird durch die Wirkung der Luft auf einen Kalkhydrat entsteht. Er ist ein weißer, feiner Pulver, der in Wasser löslich ist.

Der Luftkalk ist ein Kalk, der durch die Wirkung der Luft auf einen Kalkhydrat entsteht. Er ist ein weißer, feiner Pulver, der in Wasser löslich ist. Er wird durch die Wirkung der Luft auf einen Kalkhydrat entsteht. Er ist ein weißer, feiner Pulver, der in Wasser löslich ist.

Der Luftkalk ist ein Kalk, der durch die Wirkung der Luft auf einen Kalkhydrat entsteht. Er ist ein weißer, feiner Pulver, der in Wasser löslich ist. Er wird durch die Wirkung der Luft auf einen Kalkhydrat entsteht. Er ist ein weißer, feiner Pulver, der in Wasser löslich ist.

Der Luftkalk ist ein Kalk, der durch die Wirkung der Luft auf einen Kalkhydrat entsteht. Er ist ein weißer, feiner Pulver, der in Wasser löslich ist. Er wird durch die Wirkung der Luft auf einen Kalkhydrat entsteht. Er ist ein weißer, feiner Pulver, der in Wasser löslich ist.



## V.

### Der Luftkalk.

Neben dem Gips ist der älteste nicht mechanische Mörtel der Kalk, der bereits im Altertum unter den Kulturvölkern der verschiedensten Länder bekannt gewesen, und der durch einfaches Brennen des reinen Kalksteines und Ablöschen der erbrannten Masse durch Wasser zu einem steifen Brei erhalten wird.

Das Material zu ihm bieten die sämtlichen Kalkgesteinsarten, soweit sie sich in hinreichender Reinheit vorfinden und nicht durch andere Stoffe, besonders Ton, verunreinigt und dadurch eventuell zugleich in ihrem inneren Wesen umgestaltet sind. In wieweit derartig vermischte Kalke noch zu brauchen sind und welchen speziellen Wirkungskreis besonders diejenigen mit etwas größerem Tongehalt haben, wurde erst in neuerer Zeit bekannt und findet sich in dem Abschnitte: „Die natürlichen hydraulischen Kalke“ näher beschrieben.

Hier haben wir es nur mit demjenigen Kalk zu tun, der ausschließlich aus reinem Kalkstein erbrannt und nach seiner Aufbereitung als Mörtel einzig und allein zu Luftbauten benutzt wird, woher ihm auch der Name „Luftkalk“ geworden ist. Da dieser Kalk sich im Gegensatz zu den später beschriebenen hydraulischen Kalken durch seine ziemlich reine weiße Farbe sowie speziell dem hydraulischen Kalk im engeren Sinne gegenüber noch durch stärkeres Gedeihen beim Einsumpfen auszeichnet, so bezeichnet man ihn auch wohl als „Weißkalk“ oder „Fettkalk“.

Reiner Kalkstein besteht aus 56 % Kalk (Aetzkalk =  $\text{CaO}$ ) und 44 % Kohlensäure. Die Umwandlung des kohlensauren Kalksteins in Aetzkalk erfolgt auf dem Wege des Brennens, durch welches die Kohlensäure bei höherer Temperatur ausgetrieben wird. Bei diesem Prozeß verliert der Kalk, sofern er vollkommen lufttrocken war, 44 % an Gewicht. Da er aber meist direkt in noch grubenfeuchtem Zustande in die Oefen eingegeben wird, so verliert er beim Brennen auch noch seinen natürlichen Gehalt an Wasser. Der Feuchtigkeitsgehalt ist außerordentlich schwankend und hängt wesentlich von der Härte und Dichtigkeit des Gesteines ab. Je dichter ein Kalkstein,



je weniger er also porös, desto geringer ist die Grubenfeuchtigkeit, die bis auf kaum 3 % heruntergehen kann. Je lockerer, also schwammiger, das Gefüge, um so höher wird die Wasseraufnahme-Fähigkeit sein, die bei der Kreide und dem Wiesenkalk bis auf 50 % ansteigen kann. Beim Wiesenkalk sowie den bituminösen Kalkgesteinen wird der Gewichtsverlust beim Brennen noch weiter durch das ihnen beigemengte Bitumen vermehrt.

Nun brennt sich allerdings ein dichter Kalkstein weit schwerer wie ein lockerer. Aber der größere Aufwand an Brennmaterial wird durch eine größere Ausgiebigkeit mehr als reichlich wieder wett gemacht. Man beachte, daß beim reinsten dichten Kalkstein, dem Marmor, die Ausbeute an Aetzkalk etwa 55% betragen kann, während ein bituminöser Wiesenkalk vielleicht nur 30—36% liefert, also kaum  $\frac{2}{3}$  so viel!

Außer dem beträchtlichen Gewichtsverlust erleidet der Kalkstein auch noch eine nicht unerhebliche Schwindung seines Volumens, deren Grenzen zwischen 12—21 % schwanken, meist aber 16—18% betragen.

Beim Brennen ist darauf zu achten, daß die Temperatur möglichst gleichmäßig bleibt und bestimmte Grenzen nicht verläßt. Sobald nämlich der Kalkstein zu scharf gebrannt wird, löscht er sich später nur träge und unvollkommen ab. Auch tritt leicht bei etwas tonigem Material eine Sinterung ein, der Kalk erhält eine „Glaser“<sup>1)</sup>, was beim Luftkalk streng vermieden werden muß.

Allerdings steigt mit entsprechend hoher Temperatur innerhalb der Maximalgrenze das spezifische Gewicht und wird somit ein dichter, fester Kalk erzielt. — Andererseits soll die Temperatur nicht zu niedrig gehalten werden, da es besonders bei größeren Stücken leicht vorkommen kann, daß sie nicht genügend durchgebrannt sind. Der intakt gebliebene Kern an kohlen-saurem Kalk aber verringert als Ballast und Magermittel im Kalk wesentlich dessen Ausgiebigkeit. Man soll daher allzu große Stücke vor dem Einsetzen in den Ofen erst gröblich zerschlagen, etwa auf Kinderkopfgröße.

Das eigentliche Brennen soll möglichst rasch erfolgen; ein allzu langes Verweilen in der Brennzone, d. h. der höchsten Temperatur im Ofen, bewirkt später ein trägeres Ablöschen und geringere Ausgiebigkeit und Festigkeit des erbrannten Kalkes.

Der Kalkstein beginnt etwas über 400° C. seine Kohlensäure abzugeben; doch geht der Entsäuerungsprozeß flotter erst zwischen 700—900° C. von statten. Ueber 1200° C. wird ein Kalkstein wohl selten gebrauchen, im Durchschnitt vielmehr etwa 1050° C.

Zum Brennen von Kalk soll man niemals eine stark schwefelhaltige Kohle verwenden, da sich der Schwefel derselben sehr leicht mit dem Kalk zu schwefelsaurem Kalk verbindet. Dieser aber reagiert dann wieder durch Umsetzung mit etwa vorhandenem Alkali unter Mitwirkung von Feuchtigkeit nach

---

<sup>1)</sup> Eine solche Glaser oder Schmelz wird auch oftmals durch Aschenanflug beim Brennen bewirkt.

Feichtinger derartig, daß unter Bildung von Alkalisulfat später die so unleidlichen Auswitterungen und Ausblühungen entstehen, die öfter fälschlich mit dem sogenannten Mauersalpeter,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ , Calciumnitrat, verwechselt werden.

\* \* \*

Der *Betrieb eines Kalkwerkes* besteht, neben dem Brechen und Fördern des Kalksteines, wie solches bei der Gewinnung der Rohmaterialien (S. 25) näher beschrieben ist, wesentlich nur im Brennen des Kalksteines in dazu geeigneten Brennöfen.

Diese Oefen lassen sich nach ihren charakteristischen Merkmalen in zwei Hauptgruppen unterscheiden: Oefen mit kurzer und Oefen mit langer Flamme.

Die Oefen mit kurzer Flamme arbeiten mit schichtenweise über einander gelagerten Materialien und bedürfen dazu ganz magerer Steinkohlen oder Koks. Das Brenngut darf nicht in allzu großen Stücken aufgegeben und muß eventuell erst gröblich zerschlagen werden, am besten bis etwa zu Kinderkopfgroße. Andererseits müssen kleine Stücke ausgehalten werden, da sie leicht den Zug im Ofen versetzen. Die Ausnützung des Brennmaterials ist infolge der direkten Einwirkung auf das Brenngut allein eine sehr vorteilhafte. Dafür muß man dann wieder die Asche mit in Kauf nehmen.

Die Oefen mit langer Flamme (von Rosten, Gasdüsen etc. aus) können weitaus die meisten Brennstoffe, Holz, Torf, Flammkohlen, Gas etc. etc. verarbeiten und ermöglichen eine viel genauere Regulierung des Feuers. Die Brennkosten sind erheblicher, da mehr Wärme an die eigentliche Feuerungsanlage abgegeben wird. Dafür aber ist die Qualität der erbrannten Ware wieder eine vorzüglichere, da sie durch keinerlei Aschenanflug resp. Verunreinigung zu leiden hat und erzielt demgemäß höhere Preise. Wird doch für manche Industrien ein absolut reiner Kalk benötigt und darum auch verlangt. Schließlich gelingt es auch, größere Stücke des Brenngutes leichter und vollständiger gar zu brennen.

Ueber periodische und kontinuierliche Oefen ist eine Abwägung der beiderseitigen Vorzüge und Nachteile überflüssig: der Großbetrieb kann eben nur mit kontinuierlichen Oefen rationell brennen, sowohl was Leistungsfähigkeit wie auch Billigkeit anbelangt.

Es sollen daher auch die dem Kleinbetriebe dienenden Brennöfen nur kurz skizziert werden.

Der *Trichterofen* hat, wie schon der Name sagt, in seinem eigentlichen Brennraum die Form eines Trichters. Derselbe ist oben offen und wird unten am zusammengeschnürten Teile durch einen Rost abgeschlossen. Der obere, offene Teil ist zuweilen auch überwölbt und mit Tute oder kurzem Schornstein versehen, um besseren Zug zu erzielen. Oftmals behilft man sich auch nur, um die Wärme besser zusammenzuhalten, mit einer Lehmdecke.

Die einfachste Art dieser Oefen ist direkt in die Erde hineingegraben, hat nur an der Stirnwand eine Futtermauer und arbeitet periodisch, die

besseren Trichteröfen stehen frei und sind für kontinuierlichen Betrieb eingerichtet.

Erstere werden gesetzt, abgebrannt und nach erfolgtem Abkühlen entleert. Dabei wird gleich, entsprechend dem Schwinden des Kalkes und event. dem Verbrennen des Brennmaterials, der Ofen mit einer größeren Menge Kalkstein beschickt, als er im eigentlichen Brennraum fassen kann.

Letztere, die kontinuierlich arbeitenden Oefen, werden am unteren Teile mit Abzugsöffnungen zum Ziehen des gebrannten Kalkes versehen. Entsprechend dem Abbrennen der einzelnen Chargen wird dann der fertige Kalk unten abgezogen und frischer Kalkstein oben nachgefüllt. Es wird hierdurch ein flotterer Betrieb, d. h. eine bessere Ausnützung der Ofenanlage sowie eine Ersparnis an Kohlen erzielt.

Immerhin braucht der periodische offene Trichterofen etwa 50%, der gedecke etwa 40% und der kontinuierliche Ofen etwa 34—36% Brennmaterial.

Der *Setzofen*, auch wohl als *Deutscher Ofen* bekannt, besteht aus einem gemauerten Schacht, der sich nach oben etwas verjüngt und mit durchbrochener Decke und Tute versehen ist. Unten befindet sich in der Stirnwand ein Planrost, von welchem aus die Befuerung des Ofens erfolgt, während der Kalkstein selbst durch zwei Eingabeöffnungen im Ofen regelrecht gesetzt wird. Auch hier bedingt Setzen, Befeuern, Abkühlen und Entleeren einen großen Aufwand an Zeit und Brennmaterial, von welchem letzterem etwa 40% benötigt werden.

Der *Ofen mit überschlagender Flamme* ist eine besondere Abart des Setzofens, bei welcher die Feuerungen auf der einen Seite angeordnet sind, während das Einsetzen und Entleeren von der anderen Seite her erfolgt: Brenngut und Brennmaterial sind hier also ebenfalls von einander getrennt. Die Flammen treten von den Rostfeuerungen dicht unter der Ueberwölbung des Ofens in den eigentlichen Brennraum ein. Die Ueberwölbung selbst hat bis auf ein Schauloch keinerlei Abzüge, sondern ist vollkommen geschlossen. Die Flammen können also nicht aufwärts steigen, sondern werden durch kleine Schächte in der Sohle des Ofens abgezogen, durchstreichen also das Brenngut von oben nach unten. Aus dieser Anordnung entlehnen auch die Oefen ihre Bezeichnung als Oefen mit überschlagender Flamme resp. niedergehendem Feuer.

Die Ausnutzung des Brennmaterials ist als für einen periodischen Ofen noch leidliche, indem der Kohlenverbrauch sich auf ca. 34—36% stellt.

Der Betrieb erfolgt in der Weise, daß man den Kalkstein unter Ausparung von Heizkanälen regelrecht und fest setzt. Oder man legt auch den Ofen gleich mit doppelter Sohle und entsprechenden Sohlkanälen an. Im letzteren Falle wird statt des teuren Setzens das billigere Schütten angewendet.

Alle diese vorbeschriebenen Oefen arbeiten aber nur mit großem Zeit- und Kohle-Verlust; sie sind also für den Großbetrieb einfach unmöglich.

Erst der *kontinuierliche Schachtofen* erlaubte eine glattere und billigere Arbeitsweise.

Dieser Ofen (Fig. 40), auch wohl *Rüdersdorfer Ofen* genannt, ist besonders für mittlere Betriebe geeignet. Er gibt täglich je nach Größe bis zu 15,000 kg gebrannten Kalk, der gemäß der Anordnung der Feuerung sehr rein und aschefrei ist.

Der Ofen ist ein ca. 12 m hoher Schacht, der sich nach oben hin etwas verjüngt. Etwa im ersten Drittel der Gesamtschachthöhe befinden sich 3, 4 auch wohl 5 Feuerungen, die gewöhnlich als Schütt- oder Planrostfeuerungen ausgebildet sind. Außerdem befinden sich in der Brennzone zwischen den Feuerungen noch einige Stoßlöcher angeordnet, um event. das Rutschen des Kalkes durch Stoßstangen etwas befördern zu können. Ganz unten, seitlich der Sohle befinden sich schließlich die Abzugsöffnungen für den fertig gebrannten Kalk.

Nach oben zu ist der Ofen durch eine als Schornstein ausgebildete Tute abgeschlossen, welche in der Gichthöhe mit einer verschließbaren Eingabeöffnung versehen ist.

Der Betrieb des Ofens erfolgt in der Weise, daß man den Rohstein oben durch die Eingabeöffnung in den Ofenschacht auskippt. Derselbe gelangt dann je nach dem Ziehen des fertigen Kalkes nach und nach in die Brennzone, wird hier gebrannt und schließlich aus den Abzugsöffnungen an der Sohle des Ofenschachtes als fertig gebrannter Kalk abgezogen.

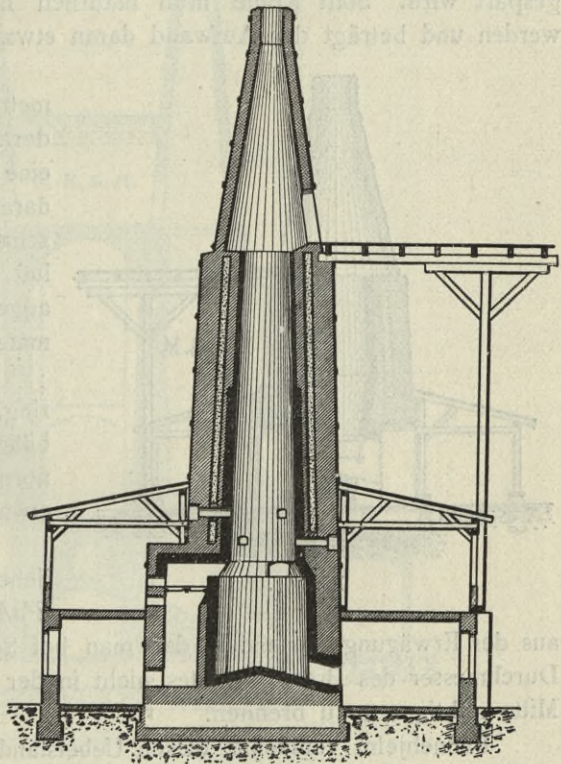


Fig. 40.

Je nach dem Ofengange erfolgt dieses Abziehen des Kalkes 2—3, auch 4 mal am Tage.

Als Brennmaterial können, unter entsprechender Anordnung der Feuerung, Steinkohle, Braunkohle, Torf, selbst Holz u. s. w. verwendet werden. Der Aufwand daran beträgt für gute Steinkohle 25—30 %, für böhmische Braunkohle ca. 35—40 %, für deutsche Braunkohle oder Torf etwa 40—50 %.

Die Bedienung des Ofens ist überaus einfach und demgemäß auch billig; sie beträgt bei einem mittleren Tagelohn von 2,50 M. für 100 kg gebrannten Kalk ungefähr 10—12 Pf.

Auch für kleinstückiges Material, bis zu 3 cm Korngröße herunter, können derartige kontinuierliche Schachtöfen mit Erfolg benutzt werden.

Ein solcher Ofen ist z. B. derjenige der Firma Wilhelm Eckardt (Köln-Berlin). Derselbe (Fig. 41) besteht aus dem eigentlichen Brennschacht, der oben und besonders unten etwas zusammengezogen ist. Oben trägt der Ofen eine Tute mit Eingabeöffnung, unten ist der Schacht durch einen Rost zum Abziehen des fertig gebrannten Kalkes abgeschlossen.

Der Ofen hat keine besonderen Feuerungsanlagen. Vielmehr vollzieht sich der Betrieb derartig, daß Kalkstein und Brennmaterial immer abwechselnd in den Ofen aufgegeben werden, wodurch an letzterem nicht unbeträchtlich gespart wird. Statt Kohle muß natürlich hier besser mit Koks gebrannt werden und beträgt der Aufwand daran etwa 16–18 %.

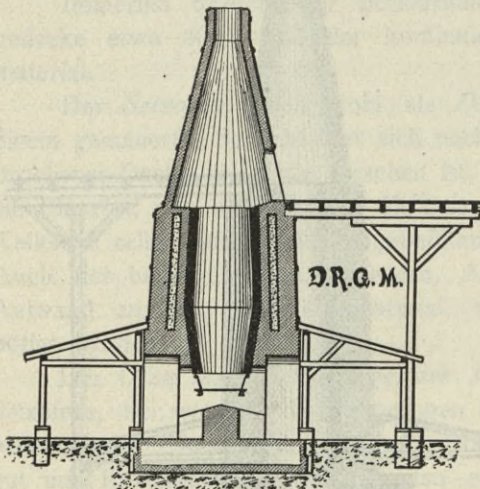


Fig. 41.

Daß die Steigerung des pyrometrischen Heizeffektes bei einem derartigen Ofen (mit kurzer Flamme) eine sehr beträchtliche, ergibt sich daraus, daß man in ihm mit im Kühlschacht vorgewärmter Verbrennungsluft und ebenso mit im Vorwärmer angewärmtem Brenngut und Brennmaterial arbeitet.

Die Anlagekosten sind nur gering, der Betrieb (Arbeitslohn) sehr billig. Die Leistung beträgt für die normale Größe des Ofens pro Tag etwa 5,000 kg fertig gebrannten Kalk.

Eine Abänderung des ursprünglichen Rüdersdorfer Ofens ist der *Fahnehjelm-Ofen*. Derselbe ist

aus der Erwägung entstanden, daß man bei Schachtöfen von größerem lichten Durchmesser des Brennschachtes nicht in der Lage ist, das Brenngut in der Mitte richtig gar zu brennen.

Fahnehjelm versuchte, diesen Uebelstand dadurch zu beheben, daß er bei größerem Schachtdurchmesser einen runden Einbau aus feuerfestem Material in den Ofen einfügte. Er erreichte dadurch tatsächlich, daß man wesentlich größere Oefen bauen konnte. Aber dieser Erfolg ist denn doch wiederum auch von manchen Uebelständen begleitet. Zunächst wird dadurch die bauliche Konstruktion, besonders bei der Tute, geschwächt und dann zeigen sich auch im Betriebe Störungen. Diese letzteren bestehen besonders darin, daß man beim Herunterlassen des Ofeninhaltes sehr vorsichtig sein muß. Es bilden sich zwischen dem Rand des Ofenschachtes und dem Mauerklotz in der Mitte aus den zu brennenden Kalksteinstücken sehr leicht Widerlager und Brücken. Und da diese sich oberhalb der Schürlöcher befinden, so ist der Brenner beim Nachstoßen durch sie immer etwas gefährdet.

An und für sich arbeitet der Ofen ganz günstig, besonders auch, da er mit Gasfeuerung eingerichtet ist und damit die Verwendung jeglichen Brennmaterials, selbst feuchter Sägespäne, gestattet.

Auch der gewöhnliche Rüdersdorfer Ofen wird oftmals mit Gasfeuerung betrieben. Eine derartige Anlage zeigen z. B. die nebenstehenden Abbildungen (Fig. 42 u. 43) nach dem Entwurf von Wilhelm Eckardt.

Die Vereinigung von vier Brennschächten zu einem Ofensystem erleichtert die Bedienung und spart an Bau- und Betriebskosten. Die Oefen sind zu je zwei, A B bzw. C D, einander gegenübergestellt und zwischen

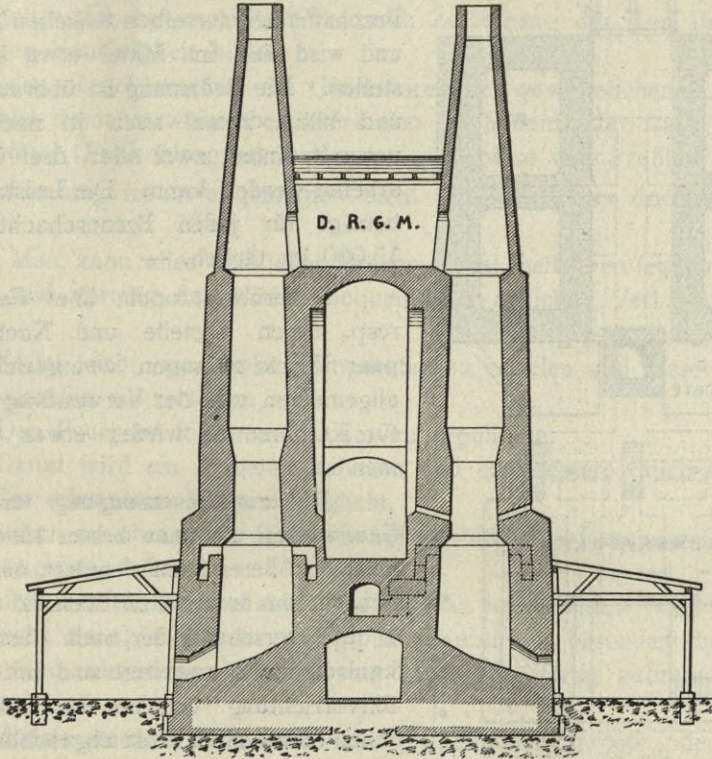


Fig. 42.

ihnen ein als Gichtbühne dienender oberer Laufsteg und darunter ein zweiter für die Bedienung der Gasventile bestimmter Laufsteg angeordnet. Die Oeffnungen in den Oefen zum Einwerfen der Kalksteine sind auf den einander zugekehrten inneren Seiten der Schächte angebracht, sodaß sie von dem oberen Laufsteg bequem zugänglich sind. Desgleichen können auch die Stangen der Gasventile von dem unteren Laufsteg aus bequem gehandhabt werden. Auch können von hier die inneren Durchstoßlöcher auf der inneren Seite der Schächte zum Abstoßen des an den Wänden angebackenen Kalkes bedient werden. Zwischen den Schächten ist unterhalb des unteren Laufsteges der Gaszuführungskanal angeordnet, von welchem aus die nach den einzelnen Brennschächten führenden Gaskanäle abzweigen.

Zur Erzeugung des Gases sind drei Generatoren vorgesehen, aus denen das Gas mittels Ueberführungsrohren nach dem Sammler abgeleitet wird. Von diesem aus führt ein Kanal nach einem vertikalen Schacht, der das Gas in den sich zwischen den Oefen erstreckenden Zuführungskanal führt.

Die Oefen, deren Anordnung unter Musterschutz steht (No. 167 148), lassen sich übrigens auch für Feuerung mit festem Brennmaterial einrichten. Für Gasbetrieb können alle lokalen Brennstoffe, besonders auch Abfälle, benutzt werden. Der Betrieb ist sonst genau der gleiche wie beim Rüdersdorfer Ofen.

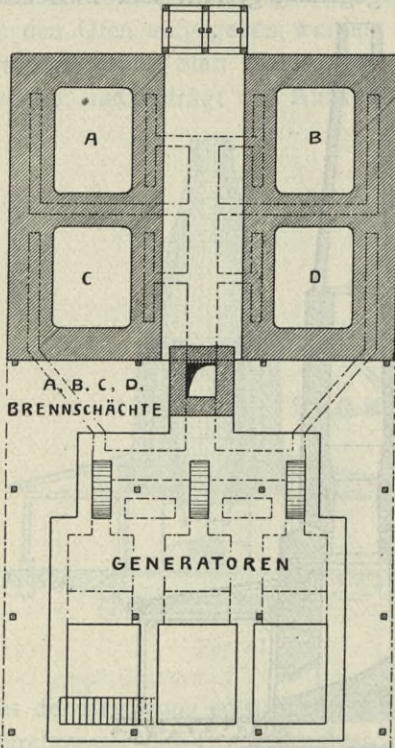


Fig. 43.

wendeten Brennmaterial. Die Verbrennung des letzteren muß so gehalten werden, daß sie durchaus nur unvollständig erfolgt, daß also möglichst keine Bildung von Kohlensäure auftritt, durch welche das Gas minderwertig ausfallen würde. Man arbeitet zu diesem Zwecke nur mit etwa der halben zur vollständigen Verbrennung theoretisch erforderlichen Luftmenge.

Der Vergasungsprozeß vollzieht sich in drei Phasen:

1. Durch Verbrennung von Brennmaterial im unteren Teile des Generatorschachtes werden die mittleren Partien in Glut gebracht und in den oberen Partien eine trockene Destillation, d. h. Entwicklung von flüchtigen Kohlenwasserstoffen, bewirkt.

2. Der hierbei aus den Kohlen im mittleren Teil entstandene Koks

Der Kohlenbedarf schwankt je nach Beschaffenheit derselben zwischen 21—28 % und wird sich im Mittel etwa auf 25 % stellen. Die Bedienung ist überaus einfach und billig, zumal auch je nach Bedarf nur mit einem, zwei oder drei Oefen gearbeitet werden kann. Die Leistung selbst beträgt für jeden Brennschacht bis zu 15,000 kg täglich. —

Es erübrigt noch, über Gasfeuerung resp. deren Vorteile und Nachteile ein paar Worte zu sagen, wenngleich man im allgemeinen von der Verwendung von Gas für Kalkbrennen wieder etwas abgekommen ist.

Die zur Gaserzeugung verwendeten Generatoren, die man besser klein und dafür in größerer Anzahl anlegt, bilden einen Schacht aus feuerfestem Material von etwa 1 qm Querschnitt, der nach oben hin sich konisch etwas erweitert und mit einer Einfüllvorrichtung versehen ist, während er unten durch einen Rost abgeschlossen wird. Die Höhe schwankt je nach dem ver-

sinkt langsam auf den Rost herunter und gelangt dort zur Verbrennung, unter Entwicklung von Kohlensäure und Kohlenoxyd.

3. Diese beiden letzteren Verbrennungsprodukte gehen beim Durchstreichen der Vorglut bei etwas über 1200° C. unter Zersetzung der Kohlensäure vollständig in Kohlenoxyd über, das sich den im oberen Teil des Schachtes entwickelten Kohlenwasserstoffen beimischt.

Dieses Gemisch, dem noch als negativer Faktor der in der Verbrennungsluft enthaltene Stickstoff beigemischt ist, bildet das eigentliche Generatorgas. Es wird event. auch noch an brennbarem Gas angereichert durch den Wasserstoff, welcher sich bei ca. 1000° C. durch Zersetzung der dem Brennmaterial anhaftenden Feuchtigkeit bildet.

In der Regel werden die Generatoren mit gewöhnlichem Luftzuge betrieben; nur ausnahmsweise, besonders also bei feinem oder stark backendem Brennmaterial (Fettkohlengrus) wird man zu Gebläse und Preßluft greifen.

Gasfeuerung ist im allgemeinen nicht billig, hat aber doch verschiedene Vorzüge:

1. Man kann alles und jedes Brennmaterial, selbst im feuchten Zustande benutzen und vermag damit sich bequem den örtlichen Verhältnissen anzupassen.

2. Es ist leicht, eine hohe Temperatur zu erzielen und diese im ganzen Ofen gleichmäßig zu verteilen.

3. Das Feuer ist leicht und sicher zu regulieren.

4. Damit wird ein sauberes Arbeiten und eine bessere (auch aschenfreie) Qualität der erbrannten Ware ermöglicht.

Natürlich ist ebenso bei Gas- wie bei gewöhnlicher Feuerung für Schachtöfen zu beachten, daß man

a) nicht zu früh oder zu viel zieht, da man sonst ungarere Ware erhält, und

b) nicht zu spät oder zu wenig, da anderenfalls besonders bei feuchter Witterung und schwierigem Material ein Zerfall des fertig gebrannten Kalkes im Ofen erfolgt.

Als Roste werden für Schachtöfen gewöhnlich Planroste oder Treppenroste usw. genommen. Ihre Konstruktion, besonders das Verhältnis der freien zur totalen Rostfläche hängt von dem anzuwendenden Brennmaterial: Holz, Torf, Kohle usw. ab, und ist dieses Verhältnis:

	Rostfläche	Luftbedarf (cbm)
für weiches, lufttrockenes Holz . . . . .	= ca. 1 : 7,	2·7
„ hartes, getrocknetes Holz . . . . .	= ca. 1 : 6,	3·7
„ lufttrockenen Torf . . . . .	= ca. 1 : 5,	} 5—6
„ getrockneten Torf . . . . .	= ca. 1 : 4,	
„ Braunkohlen . . . . .	= ca. 1 : 4,	4
„ Holzkohlen . . . . .	= ca. 1 : 3 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	7
„ Koks . . . . .	= ca. 1 : 3 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ,	ca. 6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
„ Steinkohlen . . . . .	= ca. 1 : 3 <sup>1</sup> / <sub>3</sub> ,	ca. 5
„ Anthracit . . . . .	= ca. 1 : 3	ca. 8.



Aus diesen Zahlen läßt sich leicht der jeweilig erforderliche Rost konstruieren. Dabei ist noch darauf zu achten, die Roststäbe möglichst schmal zu nehmen und ihre Stabilität lieber durch größere Höhe zu sichern. Die Verbrennung wird durch eine solche Anordnung wesentlich gefördert.

Weiter ist eine gut und sicher funktionierende Vorkehrung zu treffen, das zur vollständigen Verbrennung erforderliche Luftquantum, welches für 1 kg Brennmaterial von 2·7 cbm (für Holz) bis 8·8 cbm (für Anthracit) schwankt, genau bemessen und regulieren zu können.

Freilich darf man bei allen Feuerungsanlagen niemals darauf rechnen, wirklich nur die theoretisch zur Verbrennung erforderliche Luftmenge zum Rost zulassen zu können. In der Praxis würde, besonders bei mangelhafter Konstruktion, zu dicken Roststäben etc. etc., die Verbrennung nur unvollkommen erfolgen, sofern man nicht etwa vorgewärmte Luft zur Verbrennung bringt. Anderenfalls muß man bei direkten Rostfeuerungen mindestens die zwei- bis dreifache, bei Gasfeuerungen die  $1\frac{1}{2}$  fache Luftmenge zuführen. Natürlich sinkt damit der pyrometrische Heizeffekt des betreffenden Brennmaterials ganz erheblich.

Zahlen aus der Praxis haben im Durchschnitt ergeben, daß derselbe bei der doppelten Luftmenge nur noch 50—60 %, bei der dreifachen Luftmenge gar nur 40 % des Vollwertes beträgt. Darin sind also die Gasgeneratorfeuerungen, obwohl sonst um ca. 10 % im Brennmaterialverbrauch teurer, den direkten Rostfeuerungen überlegen.

\* \* \*

Ganz anders wie bei den vorbeschriebenen Schachtlöfen gestaltet sich Anlage und Betrieb beim *Ringofen*. Dieser von Hoffmann zunächst speziell für Ziegelbrennen erfundene Brennapparat hat sich besonders durch die Bemühungen der Firma Wilh. Eckardt (Köln-Berlin) zu dem ureigentlichen Brennofen des Großbetriebes der Kalkindustrie herausgebildet. Er ist zugleich der erste, wirklich brauchbare kontinuierliche Brennofen gewesen. Von sämtlichen anderen Ofen unterscheidet er sich wesentlich dadurch, daß bei ihm das Feuer nicht vertikal in die Höhe, sondern horizontal auf der Sohle des Ofens entlang gezogen wird, und daß bei ihm nicht, wie sonst, das Brenngut (der Einsatz), sondern das Feuer in Bewegung ist.

Der Grundidee Hoffmanns nach ist der Ringofen eigentlich nicht ein einziger Ofen, sein Brennschacht (Brennkanal) verläuft besonders auch für Kalk- und Zementbrennen nicht glatt. Vielmehr wird derselbe durch einzelne tiefer gezogene, in die Decke eingebaute Bögen, die sogenannten Gurtbögen (vergl. Fig. 44) in ein System von mehreren Abteilungen geteilt, die man als Kammern oder schlechtweg auch, und zwar nicht ganz inkorrekt, als Ofen bezeichnet. Denn die Trennung durch die Gurtbögen sowie die ganze Art des Brennens lassen in der Tat den Ringofen als ein System kombinierter

periodischer Einzellöfen erscheinen, die durch Papierwände nach dem Setzen auch äußerlich als solche markiert werden.

Wie der Grundriß des Ofens (Fig. 45) zeigt, bildet der Schacht einen in sich selbst zurücklaufenden Kanal, der früher und besonders bei kleineren Öfen vollkommen kreis- resp. ringförmig verlief, woher denn auch die Bezeichnung als „Ringofen“ her stammt. Heute baut man aus verschiedenen Gründen vornehmlich auch der Raumersparnis halber, den Ofen mehr oval, und zwar meist mit parallelen Längsseiten und entsprechend gestalteten Kurven. Doch kann der Ofen unbeschadet seiner Vortrefflichkeit jede Form erhalten und somit den vorhandenen Terrainverhältnissen vollkommen angepaßt werden.

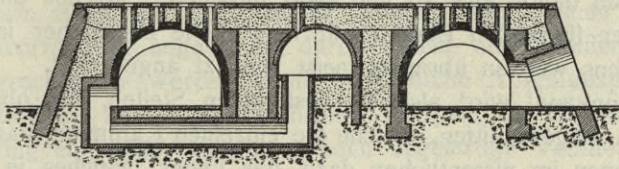


Fig. 44.

Gerade hierin ist Eckardt, als ihm die Aufgabe gestellt wurde, für Massenproduktion geeignete, riesige Öfen einem möglichst beschränkten, zudem vielleicht auch noch unregelmäßig gestalteten Terrain anzupassen, geradezu bahnbrechend gewesen. Seine Öfen schmiegen sich selbst bei größeren Dimensionen durchaus der gegebenen Bodenfläche an und nützen dieselbe bis auf kleinste Fleckchen aus (vergl. Fig. 53 und 54).

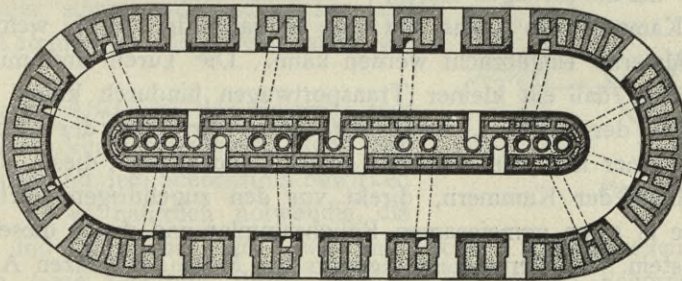


Fig. 45.

Weiter zeigen die Querschnitte (Fig. 44 und 45) die konstruktiv-bauliche Einrichtung. Der Ofenkanal hat ziemlich dicke Wandungen, die nach außen hin der Stabilität halber schräg verlaufen. Die Wandungen selbst setzen sich aus drei Teilen zusammen: dem äußeren Mantel, der billig und einfach aus Bruchstein-Mauerwerk aufgeführt werden kann, dem inneren Mantel, aus Ziegel-Mauerwerk, das mit einem Futter aus besten, hochfeuerfesten Schamottesteinen verkleidet ist,<sup>1)</sup> und der zwischen beiden Mänteln befindlichen Aschen- oder Sandschicht, welche die schädliche Ausstrahlung der Wärme verhindern

<sup>1)</sup> Man nimmt dazu große Steine und läßt die Fugen so schmal wie möglich, aber durchaus voll halten.

soll. Nach oben wird der Kanal in entsprechender Weise durch eine gewölbte Decke abgeschlossen, in welcher schmale, zylinderförmige Oeffnungen ausgespart sind, um durch diese das Brennmaterial in den Ofen eingeben zu können. Diese Heiz- oder Schürlöcher werden zweckmäßig aus ganzen Formsteinen von Schamotte aus hergestellt. Sie sind oben durch eine halbkugelförmige Kappe verschlossen, welche in einen Doppelring einpaßt und in diesem noch durch Sand abgedichtet werden kann, um einen vollkommenen Luftabschluß zu erzielen. Solcher Heizlöcher sind 3—5 parallele Längsreihen angeordnet und für jede Kammer wieder 4—6 parallele Querreihen, sodaß eine Ofenkammer je nach Größe  $3 \times 4 = 12$  bis  $5 \times 6 = 30$  Heizlöcher hat. Doch geht gewöhnlich davon eins ab und zwar dasjenige, welches direkt über der in die Kammer führenden Eingangstür liegt. Die Heizlöcher in den geraden Seiten des Ofens werden übrigens meist versetzt angeordnet.

Der Brennkanal wird also an bestimmten Stellen von oben her durch die Gurtbögen eingeschnitten, welche die einzelnen Kammern markieren. Diese Gurtbögen dienen im wesentlichen dazu, das Feuer, welches ja stets das Bestreben hat, nach oben zu gehen, immer wieder nach unten zu zwingen. Sie werden um so umfangreicher gehalten, reichen also um so tiefer herab, je stärker die Sinterung und Schwindung des betreffenden zu brennenden Materials ist. Diese Schwindung ist bei Kalk und Zement eine ziemlich erhebliche. Ohne die Gurtbögen, die nebenbei noch konstruktiv das Gewölbe verstärken, würde das Feuer den durch Schwindung des Brenngutes darüber frei werdenden Raum ungehindert durchstreichen und sich nicht wieder auf die Sohle des Brennkaminals herunterdrängen lassen.

Jede Kammer des Ofens hat eine Eingangstür, durch welche das zu brennende Material eingebracht werden kann. Die Türen sind mindestens so breit und hoch, daß ein kleiner Transportwagen hindurch kann. Ihre Lage ist am Anfang der Kammer, direkt hinter dem Gurtbogen der vorhergehenden Kammer. Ferner hat jede Kammer einen Rauchabzug; diese Rauchabzüge liegen am Ende der Kammern, direkt vor den zugehörigen Gurtbögen, und münden alle in einen gemeinsamen Rauchsammler und durch diesen wieder in den Schornstein. Letzterer steht meist in der Mitte der ganzen Anlage, kann aber auch zur Seite aufgestellt werden, besonders wenn man gleich zwei Ringöfen mit ein und demselben Schornstein betreiben will. Der Ringofenschornstein muß ziemlich hoch sein, zum mindesten 50 m, und einen verhältnismäßig großen Durchmesser haben.

Die Rauchabzüge aus den Kammern in den Rauchsammler, welcher immer in die Mitte des Ofens verlegt wird, befanden sich früher sämtlich an den Innenseiten des Brennkaminals. Es hat sich indessen gezeigt, daß es bei dieser Anordnung nicht ganz leicht ist, besonders auf den Kurven den an der Außenseite befindlichen Inhalt der Kammern völlig gar zu brennen. Das Feuer hat naturgemäß das Bestreben, den kürzesten Weg einzuschlagen, streicht also, wenn es nicht anders gezwungen wird, besonders in den Kurven vornehmlich an der Innenseite des Ofenkanals entlang. Man soll deshalb die

„Füchse“, wie die Rauchabzüge aus den Kammern in den Rauchsammler genannt werden, besonders in den Kurven besser nach außen verlegen. Natürlich müssen die Füchse dann unterhalb der Sohle des Ofens hindurchgeführt werden, falls man nicht vorzieht, die Abzugskanäle überhaupt in anderer Weise einzurichten. Neuerdings werden übrigens für jede Kammer meist zwei Gurtbögen angelegt und man legt dann die Abzugskanäle in den geraden Seiten des Ofens wechselweise innen und außen an, in den Kurven dagegen nur außen. Zuweilen werden aber auch alle Abzugskanäle nach der Außenseite verlegt: man ordnet dann eben eine andere Art der Abzugskanäle an.

Die Regelung des Luftzuges im Ofen, der infolge des hohen Schornsteines ein recht starker ist, erfolgt meist im Rauchsammler. Da, wo die Füchse in diesen einmünden, ist über der Eintrittsöffnung eines jeden Fuchses eine Abschlußvorrichtung angebracht, durch welche der betreffende Fuchs geöffnet oder geschlossen werden kann. Als solche Abschlußapparate dienen entweder halbkugel- bzw. glockenförmige Kappen, die Glocken, welche in einen Doppelring einpassen, oder aber auch kegelartige Ventile, die mit der Spitze in den Fuchs hineinragen (vergl. Fig. 46). Gehoben oder gesenkt werden beide Schließapparate durch eine Zugstange oder Kette, welche oben über dem Gewölbe durch einen kleinen Flaschenzug in Bewegung gesetzt wird. Je nachdem man mehr oder weniger die „Glocke zieht“, wird durch die dadurch geschaffene größere oder kleinere Oeffnung zwischen Fuchs und Rauchsammler stärker oder schwächer Luft aus der Kammer in den Schornstein abgesaugt.

Um dieses Absaugen der Heizgase und überschüssigen Verbrennungsluft nach dem Rauchsammler und dem Schornstein bewirken zu können, ist es natürlich notwendig, die Brennzone und zwar vor dem Feuer entsprechend abzuschließen. Dadurch werden die Gase genötigt, durch die Füchse in den Schornstein abzustreichen.

Dieses Abschließen der Brennzone nach vorn, welches so recht den kontinuierlichen Ringofen als aus einer Reihe einzelner periodischer Oefen zusammengesetzt charakterisiert, wird durch sogenannte *Schieber* erreicht. Als solche benutzte man früher dreiteilige leichte Wände aus Eisenblech, welche zwischen je drei Kammern hinter dem Gurtbogen eingeschoben wurden. Diese Schieber waren aber ziemlich teuer und das Umsetzen erforderte immer viel Mühe. Auch konnte man deshalb nicht immer hinter jeder Kammer, sondern etwa nur hinter jeder dritten Kammer einen solchen Blechschieber einsetzen. Man verwendet daher heute nur noch Papierschieber, welche mittels Ton am Gurtbogen der Kammer angeklebt werden. Die Beseitigung erfolgt einfach

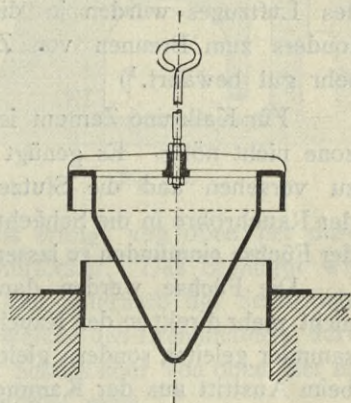


Fig. 46.

durch Zerreißen mit einem Bindfaden oder durch Abbrennen mit etwas eingestreuter glühender Kohle.

Immerhin wurde das Feuer bezw. die Feuerzone auch dann gleich um eine ganze Kammerlänge, d. h. bei größeren Oefen um etwa 6 m ausgedehnt, was für den glatten Brand nicht ohne Störung ist. Dieser Uebelstand brachte O. Bock auf den Gedanken, das Abziehen der Verbrennungsgase nicht sprung-

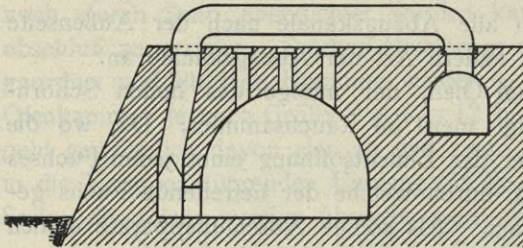


Fig. 47.

wweise durch die Füchse, also alle 6 m oder, bei doppelten Füchsen in der Kammer, alle 3 m, sondern schrittweise durch dieselben Heizlöcher vorzunehmen, durch welche später das Brennmaterial in die Kammer eingegeben wird. Bock nahm dazu lange Rauchrohre, welche mit einzelnen kleineren Stutzen in die Heizlöcher und mit

einem großen Abzugsstutzen in den Rauchsammler einpaßten. Zur Regulierung des Luftzuges wurden in diese Rauchrohre Drosselklappen eingesetzt. Besonders zum Brennen von Ziegeln usw. hat sich dieser *obere Rauchabzug* sehr gut bewährt.<sup>1)</sup>

Für Kalk und Zement ist solches schrittweises Vorwärtsrücken der Brennzone nicht nötig. Es genügt hierfür, jede Kammer von 6 m mit 2 Füchsen zu versehen und die Stutzen der Rauchrohre in die Schächte der Füchse einmünden zu lassen.

Die Füchse werden dann nicht mehr direkt in den Rauchsammler geleitet, sondern gleich beim Austritt aus der Kammer als glatte Schächte nach oben gezogen (Fig. 47). Aus der Abbildung ersieht man diese Anordnung an einem Außenfuchs: die Verbindung des Rauchsammlers mit ihm stellt dann das blecherne Rauchrohr her. Damit zu große und dadurch unhandliche Rauchrohre vermieden werden, können die Rauchabführungsschächte auch durch eine Zunge geteilt werden, so daß auf der Ofendecke 2 Ueberführungsrohre neben einander gelegt werden können (Fig. 48).

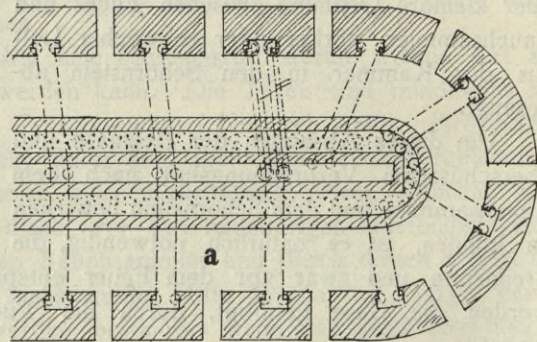


Fig. 48.

Statt sich mit doppelten Rauchröhren zu behelfen, kann man auch die

<sup>1)</sup> Bock verband mit diesem oberen Rauchabzug noch gleich eine recht gute Art des Ausschmehens der frisch eingesetzten Ziegel.

nebenstehende Anordnung der Füchse resp. Rauchabführungsschächte vornehmen (Fig. 49 und 50). Es wird dazu jede Kammer mit zwei Füchsen, der eine innen, der andere außen, ausgestattet. Der Innenfuchs mündet direkt, der

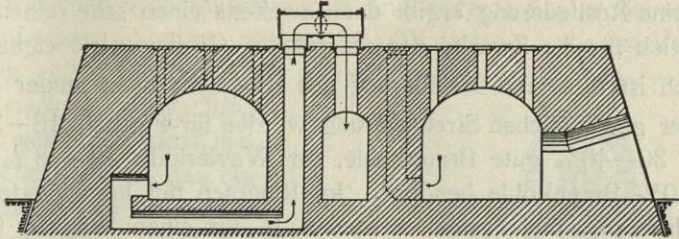


Fig. 49.

Außenfuchs durch einen Sohlkanal unterhalb der Kammer in den Rauchabführungsschacht. Die bauliche Konstruktion wird durch den Sohlkanal (besonders in felsigem oder auch sehr weichem Baugrund) schwieriger und teuer, dafür aber kommt man mit ganz kurzen, billigen und leicht transportablen Rauchrohren aus. Auch diese Rauchrohre werden zur Regulierung des Luftzuges mit Drosselklappen versehen.

Je nach den entsprechenden Verhältnissen baut Eckardt seine Oefen mit der einen oder anderen Anordnung der Rauchabzüge. —

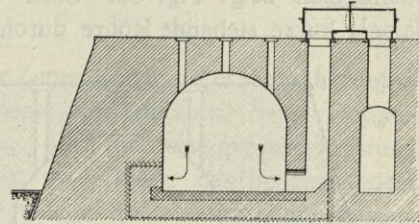


Fig. 50.

Die Beheizung des gewöhnlichen Ringofens erfolgt von oben her durch die schon mehrfach erwähnten Heiz- oder Schürlöcher. Das Brenngut wird dazu in der Weise in die Kammern eingesetzt, daß unterhalb der Schürlöcher sogenannte Heizschächte ausgespart werden, in welche das Brennmaterial durch die Schürlöcher von oben her eingeworfen wird.

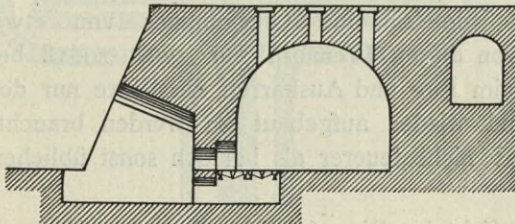


Fig. 51.

Infolge dieser Beschickung ist es naturgemäß unvermeidlich, daß der erbrannten Ware auch die Asche aus dem Brennmaterial beigemischt ist. Für die gewöhnlichen Zwecke der Verwendung von Kalk und Zement als Mörtelmaterialien ist das ohne Belang. Indessen lassen doch gewisse Industrien, besonders die chemische Industrie, welche Kalk benötigen, es wünschenswert erscheinen, einen durchaus reinen, aschen- und schlackenfreien Kalk zu erbrannen. In solchen Fällen ersetzt man zweckmäßig die Streu- oder Schüttfeuerung durch eine *Rostfeuerung* (Fig. 51).

Diese Einrichtung ermöglicht zunächst, alle vorhandenen Brennstoffe auch minderwertige, wie Holz, Torf und Braunkohle, zu verwerten und speziell

letztere auf den Rosten zu verbrennen. Für kombinierte Feuerung wird dann daneben noch von oben her durch die Schürlöcher mit Streufeuerung bezw. Kohlen gearbeitet.

Die reine Rostfeuerung ergibt dann zweitens einen sehr reinen Kalk, der sich vorzüglich für die Zwecke der chemischen Großindustrie eignet.

Freilich ist diese Art Befuerung des Ringofens nicht immer billig.

Bei der gewöhnlichen Streufeuerung werden für Fettkalk 18—23% Steinkohle oder 30—40% gute Braunkohle, für Wasserkalk 12—18% Steinkohle oder 20—30% Braunkohle benötigt. Im Ringofen mit kombinierter Feuerung nach dem Eckardt'schen System werden z. B. für einen Waggon (10,000 kg) fertig gebrannten Marmorkalk 12—13 Raummeter Holz oder 3000—3500 kg Steinkohle bezw. bei gemischter Befuerung etwa 2½ Raummeter Holz und 1400 kg Steinkohlen benötigt.

Auch mit *Gasfeuerung* erzielt man eine sehr reine Ware. Einen solchen Gasringofen zeigt Fig. 52. Statt der sonst üblichen Pfeifen sind hier von

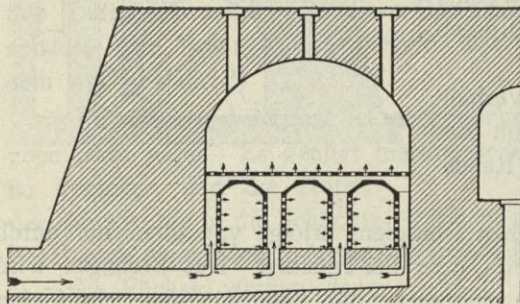


Fig. 52.

verbunden, sodaß das Gas nicht nur wagerecht zwischen den stehenden Rohren, sondern auch senkrecht durch die Decke des Brenners austreten kann. Die Verbindungsstücke geben dem Brenner bei zweckentsprechendem Querschnitt der stehenden Rohre große Standsicherheit im Betriebe und machen ihn auch gegen mechanische Angriffe, wie etwa umfallende Kalksteinstapel, außer-

ordentlich widerstandsfähig. Für jede einzelne Ofenkammer von etwa 3·5—4·0 m Länge braucht man von diesen Brennern nur zwei, sodaß bei geeigneter Anordnung der Türen beim Ein- und Auskarren der Ware nur der eine Brenner teilweise beseitigt und wieder aufgebaut zu werden braucht. Anschaffung und Unterhaltung sind nicht teurer als bei den sonst üblichen Gaspfeifen. —

Im allgemeinen ist der Heizeffekt im Ringofen ein ziemlich günstiger: das Brenngut kommt bereits durch die Vorglut vorgewärmt in die eigentliche Brennzone und wird hier durch das Brennmaterial, Kohle und etwas Koks, unter Zuführung der Verbrennungsluft gar gebrannt, welch' letztere ihrerseits gleichfalls durch die Nachglut erheblich vorgewärmt ist. Immerhin erfordert die wandernde Brennzone eine stetig erneute Anwärmung auch der Ofenwandung.

1) Tonindustrie-Ztg. 1901, S. 2127.

Bei intensivem Betriebe wird die Ofenwandung ziemlich erheblich beansprucht werden, und zwar neben hoher Feuerfestigkeit auch auf Stabilität. Demgemäß müssen die zur Verkleidung der Ofenwandung verwendeten Schamottesteine einerseits hoch feuerfest sein und andererseits große mechanische Festigkeit aufweisen. Sodann müssen alle Widerlager sehr stark konstruiert sein, um dem vollen Gewölbeschub gut widerstehen zu können. —

Die *Leistung* eines Ringofens hängt wesentlich vom Querschnitt des Ofens ab, da das tägliche Vorwärtsschreiten des Feuers im Brennkanal nicht sonderlich forciert werden darf. Bei normalem Betriebe wird man innerhalb 24 Stunden etwa 6 m brennen, bei intensivem Betriebe etwa 9—10 m.

Die Länge des Brennkanals ist verschieden: für Kalköfen wird man wohl kaum unter 70 m mittlere Kanallänge (für Zement nicht unter 90 m) heruntergehen. Die Tagesleistung eines Kalkringofens wird maximal 5—6 Doppelwaggons gebrannten Kalk nicht überschreiten. Will man eine größere Leistung erzielen, so wird nicht etwa der Querschnitt vergrößert: das bedingt teure

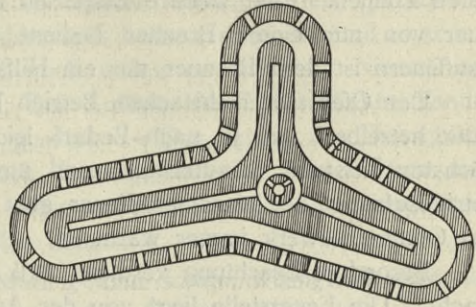


Fig. 53.

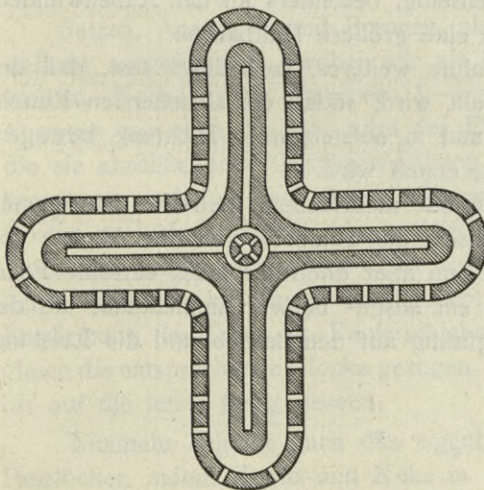


Fig. 54.

Anlage- und Unterhaltungskosten. Vielmehr wird man den Brennkanal verlängern und den Ofen mit 2, 3 auch wohl 4 Lauffeuern betreiben. Man gibt dann solchen Oefen eine Form, die sich vollkommen der zur Verfügung stehenden Bodenfläche genau anpassen kann. Man wird also diesen *Winkelöfen* der Firma Wilh. Eckardt (Köln-Berlin) jede beliebige Grundrißform geben, also mit gleich oder ungleich langen Schenkeln und mit gleichen oder ungleichen Winkeln (Fig. 53 und 54).

Je nach der verlangten Leistung und der Länge des Brennkanals wird dann der Ofen für zwei-, drei- oder vierfachen Betrieb (Lauffeuer) mit einem in sich selbst zurückkehrenden Brennkanal eingerichtet werden. Dadurch stellen sich die Baukosten erheblich billiger, als wenn zwei oder mehrere Oefen mit einfachem Betrieb nebeneinander gestellt werden.

Der Winkelofen kommt auch da mit Vorteil zur Anwendung, wo für den Anfang eine geringere Produktion in Aussicht genommen ist, die später



vermehrt werden soll. Man kann also zuerst einen oder zwei Schenkel errichten und später durch Anbau anderer die Leistung entsprechend erhöhen, ohne daß dadurch eine Betriebsstörung verursacht würde.

Der Betrieb ist zentralisiert: er läßt sich von einer Stelle aus leicht übersehen und erfordert nur geringe Betriebsmannschaften, weil die Einsetzer bzw. die Ein- und Auskarrer an den einzelnen Betriebsstellen sich gegenseitig aus helfen können. Eine weitere Ersparnis liegt darin, daß zwei bis drei Lauffeuer von nur einem Brenner bedient werden können. Ja selbst bei vier Lauffeuern ist dem Brenner nur ein Hilfsbursche beizugeben.

Der Ofen für mehrfachen Betrieb läßt sich auch mit nur einem Lauffeuer betreiben und je nach Bedarf leicht auf mehrfachen Betrieb bis zur höchsten Leistung hinaufbringen und umgekehrt wieder reduzieren. Die Inbetriebsetzung der einzelnen Feuer geht rasch und sicher von statten, weil das Ofenmauerwerk immer warm ist.

Besondere Beachtung verdient, daß der Winkelofen keine Gurtbögen nötig macht. Die Feuerstelle liegt von der Auskarrstelle stets vor einem Kopf oder einem Winkel. Und durch die eigentümliche Anordnung der Brennkanäle an jedem Kopf und Winkel wird der schädliche Luftzug, welcher sonst über den gebrannten Kalk hinwegstreicht, vermindert. Auch wird, da jede Rückstrahlung von der Feuerstelle so gut wie ausgeschlossen ist, der Bedienungsmannschaft die Arbeit wesentlich erleichtert.

Die Winkel verstreben sich gegenseitig, besonders an den Außenwänden, und dadurch gewinnt der ganze Ofen eine größere Haltbarkeit.

Die Form der Oefen gestattet ohne weiteres, ja bedingt fast, daß der Schornstein in der Mittelwand aufgestellt wird, sodaß die abziehenden Rauchgase sich stets in der warmen Zone und in aufsteigender Richtung bewegen, wodurch guter und gleichmäßiger Zug erzielt wird.

Die einzelnen Lauffeuer werden bei mehrfachem Betriebe naturgemäß nacheinander beschickt: dadurch wechseln die Temperaturen der Abgase von einer Beschickung zur anderen. Um nun aber doch für jedes einzelne Feuer beste Zugverhältnisse zu schaffen, ist ein Misch- bzw. Sammelkanal um den Schornstein angeordnet, der äußerst günstig auf den Betrieb und die Leistung, des Ofens einwirkt.

\* \* \*

Der *Betrieb des Ringofens* geschieht in der folgenden Weise:

Kalkstein wird direkt in den Ofen eingesetzt, wie er aus dem Bruche kommt; zu diesem Zwecke werden auch die Gleise für die Transportwagen bis in den Ofen hineingelegt. Aber auch bei Portlandzement, — und das ist der große Vorzug des Ringofens — kann man, sofern man trocken gepreßte Ziegel verarbeitet, dieselben sofort von der Presse in den Ofen einsetzen. Das erspart die Kosten einmal für das Trocknen und andererseits für das doppelte Stapeln der erst gepreßten und dann getrockneten Steine.

Das Setzen des Kalksteins wie auch der Zementrohsteine erfolgt entsprechend der Anordnung der Heizlöcher. Zunächst werden auf der Sohle des Ofens zwischen den Steinen oder Ziegeln ebenso viele horizontale Längskanäle von 75 cm Höhe und 25 cm Breite ausgespart, als es parallele Längsreihen von Heizlöchern gibt. Sodann werden ferner ebenso viele vertikale Heizschächte gesetzt, als überhaupt Heizlöcher für die Kammer angeordnet sind. Setzt man gezielte Steine, so müssen dieselben teils parallel der Längsrichtung des Ofen gesetzt werden, teils halb verschränkt, und zwar nach außen verschränkt, um die Luft stets nach außen zu drängen. Niemals oder wenigstens nur, soweit es sich um den Aufbau der Heizschächte handelt, werden die Steine vollkommen quer gesetzt. — Das Setzen der Heizschächte erfolgt besonders beim Kalkstein noch derartig, daß der Schacht von unten nach oben zu sich ein ganz klein wenig erweitert, sodaß das eingestreute Heizmaterial sich besser darin verteilen kann.

Das Setzen im Ringofen erfordert geübte Leute, wemgleich man auch die Lage der Heizlöcher durch eingesteckte Stangen, die nachher wieder herausgezogen werden, durchaus sicher markieren kann. Aber ein durch fehlerhaftes Setzen vorzeitig eingestürzter Heizschacht ist für den Brenner etwas sehr unbequemes und stört den Brand nicht unwesentlich.

Nachdem die Kammer fertig gesetzt ist, wird sie sofort durch einen Papierschieber abgeschlossen.

Setzen, Anzünden und Brennen, also der Betrieb, vollzieht sich, wie nachstehend ausgeführt ist, wobei wir als Beispiel einen neuen Ringofen wählen wollen. Nachdem die Kammern 1—6 vollständig fertig gesetzt sind, die erste übrigens nur etwa  $\frac{3}{4}$ — $\frac{4}{5}$ , wird der Eingang zu dieser ersten Kammer sowie die sie abschließende Gurtbogenöffnung der vorhergehenden, letzten Kammer vermauert und nur ein paar Oeffnungen ausgespart. Diese werden mittels Rosten zu kleinen Herden eingerichtet und auf diesen zunächst ein schwaches Holzfeuer entzündet, um den Ofen auszuschmauchen. Später wird das Holzfeuer durch ein kräftigeres Kohlenfeuer ersetzt und je nach dem Grade der Erwärmung des Ofens ein Papierschieber nach dem anderen beseitigt und zugleich die entsprechende Glocke gezogen. Inzwischen sind die anderen Kammern bis auf die letzte fertig gesetzt.

Nunmehr beginnt auch das eigentliche Feuern von oben her durch die Heizlöcher, indem Kohle und Koks in diese eingestreut werden und zugleich das zusammengehende Brenngut durch frische Steinbrocken oder Ziegel nachgefüllt wird. Ist man damit etwa bis zur sechsten Kammer vorgeschritten, so wird das inzwischen bis zur kräftigsten Wirkung entwickelte Feuer auf den Rosten entfernt und die Roste wie die Vermauerungen selbst werden abgerissen. Die letzte Kammer wird fertig gesetzt, und damit tritt der kontinuierliche Betrieb des Ofens ein.

Nach etwa dreimaligem Umbrand füllt man den etwas gesackten Boden oben auf dem Ofen wieder auf und pflastert ihn ab. —

Der Betrieb des Ofens erfolgt nun, soweit das Brenngut, also etwa Kalkstein, in Betracht kommt, nicht etwa nur von unten aus durch die Einkarttüren. Vielmehr ist es notwendig, bei dem starken Schwinden der Masse im Feuer auch noch von oben her Rohmaterial in den Ofen einzugeben. Ändernfalls würde im oberen Teile des Ofens bald ein freier Raum entstehen und das Feuer nur durch diesen streichen. Die Gurtbögen allein helfen hierfür nicht. Sie erfordern zudem erhebliche Unterhaltungskosten, und zwar um so höhere, je tiefer sie bei stark zusammengehender Masse in den Ofenkanal hineinreichen.

Während nun das Eingeben frischer Steine früher von oben her durch die Schürflöcher erfolgte, hat Eckardt sich hierfür eine besondere Konstruktion und dementsprechendes Verfahren patentieren lassen (D. R. P. 126450 Kl. 80c).

Dieses Verfahren zum Abschließen des schädlichen Schwindraumes im Ringofen erübrigt die Gurtbögen überhaupt. Vielmehr sind an Stelle der Gurtbögen im Gewölbe ein oder mehrere Schlitze angeordnet (Fig. 55), welche von oben zugänglich sind. Nachdem der Einsatz wie

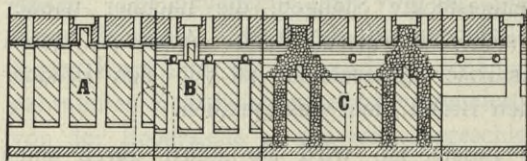


Fig. 55.

üblich in den Ofen eingebracht ist, wird von oben weiteres Brenngut in den Schlitz eingegeben und das Nachfüllen beim Brennen wiederholt, bis das Brenngut gar gebrannt und das Schwinden beendet ist. Das nachgefüllte Brenngut brennt dabei ebenfalls gar.

Durch diese Einrichtung ergibt sich also ein natürlicher Abschluß des schädlichen Freiraumes im Ringofen zwischen Brenngut und Ofengewölbe. Und dadurch werden nicht nur die Reparaturkosten für die Gurtbögen, sondern sogar noch etwas am Brennmaterial gespart.

Durch diese Einrichtung ergibt sich also ein natürlicher Abschluß des schädlichen Freiraumes im Ringofen zwischen Brenngut und Ofengewölbe. Und dadurch werden nicht nur die Reparaturkosten für die Gurtbögen, sondern sogar noch etwas am Brennmaterial gespart.

Die Anordnung der Aussparungen im Gewölbe richtet sich ganz nach dem Brenngut. Sie sind also für das Brennen von Kalk resp. Zement etwas verschieden.

Ist der Ofen nunmehr erst auf die eine oder andere Weise in vollem, glattem Betriebe, so wechseln Einsetzen, Brennen und Auskarren entsprechend in regelmäßigen Zwischenräumen ab.

\* \* \*

Der *Betrieb eines Kalkwerkes* ist im wesentlichen, neben der Bruch- und Verladearbeit, auf das Brennen im Ofen beschränkt. Nur da, wo auch Sackkalk produziert wird, ist noch eine kleine maschinelle Anlage vorzusehen.

Der Schwerpunkt der Anlage und des Betriebes wird sich also im Brennofen konzentrieren. Man wird diesen, um an Förderkosten zu sparen, möglichst dicht an den Bruch heranlegen und ihm die jeweilig passendste Form

geben. Die übrige Anordnung, speziell auch der Schienengleise für den Bruchbetrieb und den Anschluß an die Bahn, ergibt sich ohne weiteres aus den jeweiligen örtlichen Verhältnissen. —

Wie hoch stellen sich nun die *Gestehungskosten* für Kalk?

Nehmen wir einmal an, wir haben es mit einem größeren Ofen von 2—3 Lauffeuern, also einer Jahresproduktion von 2,000—2,500 Doppel-ladern Kalk zu tun. Der Ofen liegt dicht am Bruch und an der Eisenbahn, die Kohle kostet pro Zentner (50 kg) etwa 75 Pf. und der Durchschnitts-arbeitslohn beträgt pro Tag 3 M.

Wir haben weiter 50 Morgen abbauwürdiges Bruchgelände von 12 m Mächtigkeit zur Verfügung, welches uns pro Morgen 2,000 M., insgesamt also 100,000 M. gekostet hat.

Der Bruch gibt uns hiernäch im ganzen  $1\frac{1}{2}$  Millionen cbm gewachsenen Stein = rund 3 Millionen Tons aus, die für etwa 70 Jahre ausreichen, inner-halb dieser Zeit also verzinst und amortisiert werden müssen.

Dann kostet uns für 1 Waggon Kalk:

1. das Rohmaterial

an Bodenzins . . . . .	1'00
„ Abschreibung . . . . .	0'70
„ Brecherlohn . . . . .	12'00 = M. 13'70

Wir setzen hier den Akkordlohn auf 3 Pf. pro Ztr.  
Stein an und rechnen auf 10,000 kg = 200 Ztr. Kalk  
rund 350 Ztr. + 50 Ztr. Abfall = 400 Ztr. Kalkstein.

2. Ein- und Ausbringen in den Ofen und wieder heraus,

Akkordsatz 2 Pf. pro Ztr. . . . . = „ 11'00

3. Brennerlohn, Akkordsatz  $\frac{3}{4}$  Pf. pro Ztr. . . . . = „ 1'50

4. Brennmaterial (Kohlen), 18% auf 100 kg Kalk . . . = „ 27'00

5. Diverse Nebenarbeiten . . . . . = „ 0'80

6. Handlungs-Unkosten. . . . . = „ 6'00

7. Abschreibungen auf die Anlage. . . . . = „ 7'50

M. 67'50

Natürlich ist dieses Ergebnis kein feststehendes. Es wird sogar ziemlich schwankend sein je nach Art des Kalkes, nach Preis für Kohle und Arbeits-lohn, nach Größe, Anlage und Betrieb des ganzen Werkes, Bruch, Oefen und Gleisanlage und überhaupt nach Lage der ganzen örtlichen Verhältnisse. Immerhin dürfte die obige Ziffer für ein mittelgroßes Werk und normale Ver-hältnisse ziemlich einwandfrei sein. Die unteren und die oberen Grenzen der Gestehungskosten für Stückkalk werden aber etwa bei 60—80 M. pro Doppel-waggon liegen.

Neben der Herstellung von Stückkalk, wie sie bisher die althergebrachte war, bürgert sich neuerdings auch die Herstellung von Sackkalk, d. h. gemahlenem Kalk, ein, besonders auch wo es sich um Wasserkalk (hydraulischen Kalk) handelt. Derartiger Kalk löscht sich ungleich schneller und gleichmäßiger ab und kann nahezu in der Weise wie Zement verarbeitet werden. Löschruben usw. sind für solchen Sackkalk vollständig unnötig.

Das Mahlen von Sackkalk erfolgt am zweckmäßigsten auf einer Kugelmühle, die direkt fertiges Produkt liefert, wie solche noch beim Portlandzement näher beschrieben ist. Der gemahlene Kalk wird mit einer Sackwage (Daiber-Karlshütte) verpackt und verwogen und ist dann sofort versandbereit.

Besonders ist das Mahlen des Kalkes für nicht ganz gleichmäßiges Material von Wasserkalk vorteilhaft. Die wertvollen Tonteilchen würden beim Ablöschen mit Wasser nicht hydratisiert; sie werden dagegen beim Vermahlen dem Produkte voll und ganz erhalten.

\* \* \*

Das beim Brennen erhaltene Produkt, der Aetzkalk, ist eine weiße, amorphe, mehr oder weniger feste Masse vom spez. Gewicht 3,09, die durch keinerlei Glut zum Schmelzen gebracht werden kann, also absolut feuerbeständig ist. Das Raumgewicht des Kalkes ist ziemlich schwankend und beträgt 700–900 kg per Kubikmeter: dasselbe hängt sowohl von der Struktur des ursprünglichen Gesteines wie auch von dem Grade des Brennens ab. Dichte, stark gebrannte Kalksteine ergeben auch ein höheres Gewicht des erbrannten Kalkes.

Der Aetzkalk ist eine starke Base und außerordentlich begierig, Wasser aufzunehmen. Im Wasser und zwar leichter und reichlicher in kaltem Wasser wie in warmen, löst er sich etwas zu einer trüben Flüssigkeit, der sogenannten Kalkmilch, auf. Gegen Kohlensäure ist der Kalk in vollkommen trockenem Zustande unter normalen Verhältnissen fast ganz unempfindlich; dagegen nimmt er erhitzt solche ziemlich reichlich und rasch auf. Im übrigen muß der Kalk erst in einen feuchten Zustand versetzt werden, um ihn für die Aufnahme von Kohlensäure geeignet zu machen.

Die Zuführung von Wasser kann nun verschieden erfolgen, je nach dem Grade der Ablöschung, die man herbeiführen will. Einmal taucht man die Aetzkalkstücke mittels einer siebartigen Schaufel einen kurzen Augenblick in Wasser. Dabei saugt der Aetzkalk sich sofort schwammartig mit Wasser voll, wobei eine starke Erhitzung eintritt, bläht sich auf, spaltet sich, wird rissig und zerfällt schließlich zu einem feinen Pulver, dem Kalkhydrat  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ .

Diese Art der Hydratisierung des Aetzkalkes ist in der Praxis als etwas vorteilhafter befunden worden als jene andere, bei der man umgekehrt Wasser auf den Kalk gießt.

Die bei diesem Löschrubprozeß entwickelte Wärme beträgt für 1 kg gebrannten Kalk theoretisch 277 Wärme-Einheiten.

Das erhaltene Kalkhydrat ist ein feines, weißes Pulver vom spez. Gewicht 2·1. Sein Hydratwasser ist ziemlich fest gebunden, wie meist chemisch gebundenes Konstitutionswasser, und wird erst beim Erhitzen bis zur Rotglut wieder ausgetrieben.

Andererseits stellt man aus dem Aetzkalk durch stärkeres Ablöschen den Kalkbrei dar, indem man in eine gewöhnlich hölzerne Mörtelpfanne etwas Wasser einfüllt und dann die Kalkstücke in entsprechender Menge hineinwirft. Dieselben zerfallen dann, indem man durch Umrühren etwas nachhilft, unter starker Wärmeentwicklung und bilden den Kalkbrei. Das Umrühren ist besonders bei mageren Kalken sehr nötig, da solche nur eine geringe Selbsterhitzung tätigen. Um das Ablöschen solcher mageren Kalke zu beschleunigen, nimmt man auch für den eigentlichen Löschprozeß zuerst nur einen Teil, etwa  $\frac{1}{3}$  des im ganzen erforderlichen Wassers und gibt den Rest erst später hinzu. Auch bedeckt man wohl die Mörtelpfanne, um die Hitze besser zusammenzuhalten. Ebenso kann man mageren Kalk besser löschen, indem man ihn mit fettem zusammenarbeitet. Letzterer übt dann eine Art von Kontaktwirkung auf den mageren Kalk aus, die gewöhnlich eine überraschend prompte ist, und wird deshalb dieses Verfahren gern gewählt, ebenso wenn es sich um zu scharf gebrannten Kalk handelt.

Die Menge des Ablöchwassers ist nicht unnötig groß zu nehmen. Es würde dadurch nur die Erhitzung des Kalkes verteilt und herabgemindert werden. Letztere ist aber durchaus erforderlich, und zwar in dem Maße, daß man unter Umständen direkt heißes Wasser zum Ablöschen nimmt und Dr. Michaëlis sogar die Anwendung von Hochdruck empfiehlt. Ein eigentliches „Ersäufen“ des Kalkes durch allzu viel Wasser findet gerade nicht statt; nur das Quellen, das Gedeihen und somit die Breibildung werden erheblich verzögert.

Das Hydratisieren zu Kalkpulver sowohl wie auch das Ablöschen zu Kalkbrei muß sehr sorgfältig ausgeführt werden, da anderenfalls leicht, besonders bei schärfer gebranntem Kalk, ungelöschte Teile nachbleiben, die dann durch einen nachträglichen Ablöschprozeß sich später unangenehm bemerkbar machen können.

Während des Ablöschens nimmt der Kalk eine ganze bedeutende Menge Wasser auf: etwa 32%. Bei Naßlöschung quillt er auf und gedeiht zu einem steifen Brei und zwar um so reichlicher, je fetter der Kalk und je reiner der Kalkstein gewesen ist. Beim vorsichtigen Löschen gibt 1 cbm fetter Kalk etwa 2·7 cbm, 1 cbm magerer Kalk etwa 1·8 cbm Kalkbrei.

Das überschüssige Wasser wird, soweit es nicht von selbst verdunstet ist, abgezogen und der Kalkbrei in die Kalkgrube eingefüllt, wo eine Nachsumpfung stattfindet, die für das vollständige Ablöschen etwa noch vorhandener Aetzkalkteilchen sehr förderlich und wichtig ist. In den Kalkgruben hält sich der Kalk, sofern er vor dem Zutritt der Luft und damit der Kohlensäure gut geschützt ist, fast unbeschränkt lange Zeit vollständig intakt.

Erst die Luft oder vielmehr die in ihr enthaltene Kohlensäure ist das

Agens, welches den Kalk zum Mörtelbildner macht. Der feuchte Kalkbrei absorbiert außerordentlich begierig Kohlensäure. Dabei bildet sich kohlen-saurer Kalk zurück, welcher erstarrt und fest wird. Die den Kalkbrei über-ziehende Schicht von kohlen-saurem Kalk ist zunächst nur dünn; aber sie hin-dert doch oder erschwert wenigstens das fernere Eindringen von Kohlensäure, sodaß man bei dicken Mörtelschichten noch nach Jahrhunderten im Innern einen Kern von völlig unangegriffenem Kalkhydrat vorfindet.

Ueber den Prozeß der Kohlensäureaufnahme des Kalkes in feuchtem Zu-stande sind die Meinungen noch geteilt: v. Fuchs, Hauenschild, Kosmann u. A. nehmen dabei als intermediäres Zwischenglied die Bildung eines basischen Hydrokarbonates an von der Formel  $\text{CaCO}_3 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2$  resp.  $3\text{CaCO}_3 \cdot 2\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Hauenschild will sogar deutliche Krystalle dieser Verbindung aus einer Rein-kultur derselben unter dem Mikroskop beobachtet haben. Wittstein, Dr. Michaëlis und Verf. bestreiten das Vorhandensein einer solchen Verbindung und erklären sie als einfache Mischung von Kalkhydrat und Kalkkarbonat. Letztere Ansicht hat von vornherein den Vorzug absoluter Zwangslosigkeit für sich: das ursprüngliche Kalkhydrat ist eben erst zu einem bestimmten Teil durch Kohlensäureaufnahme in Kalkkarbonat umgewandelt. Dafür spricht auch, daß v. Fuchs und Hauenschild in der Aufstellung einer Formel für das Hydrokarbonat von einander abweichen. Man kann das dadurch erklären, daß jeder von ihnen das Prüfungsmaterial in einem verschiedenen Stadium des Umbildungsprozesses beobachtet hat.

Die durch Aufnahme von Kohlensäure erhaltene Eigenfestigkeit des Kalkmörtels ist eine äußerst minimale und wird noch dazu durch das Auf-treten starker Schwindrisse während der Erhärtung auf eine kaum beachtens-werte Ziffer herabgedrückt. Erst der Zusatz von Sand wirkt fördernd: das Gemisch von Kalkbrei und Sand, der eigentliche Kalkmörtel, ist denn auch einzig und allein in Anwendung. Der Zusatz von Sand wirkt zunächst in der Weise, daß er eine größere Anhäufung von Kalkbrei an ein und derselben Stelle verhindert. Solcher Kalkbrei würde dann längere Zeit als weiche Masse im Mörtel verbleiben, ohne an und für sich irgend welche auch nur nennens-werte Festigkeit zu erlangen.

Die Erhärtung ist nach dem Gesagten eben kein innerer Vorgang, sondern etwas durchaus Unselbständiges, indem eben nur durch Aufnahme von Kohlen-säure die entsprechende Rückbildung des Kalkhydrates zu Kalkkarbonat ein-tritt. Der Vorgang erfolgt in zwei Phasen: der aus Kalkbrei und Sand gebildete Mörtel „zieht an“, indem das ihm anhaftende Wasser abgesaugt wird. Erst dann beginnt infolge der unmittelbaren Wirkung der sofort beim Anmachen des Mörtels in Aktion tretenden Kohlensäure das Erhärten durch die Bildung von kohlen-saurem Kalk. Ohne den vorangegangenen mechanischen Vorgang der Wasserabsaugung kann — selbst bei künstlicher Zufuhr von Kohlensäure — der chemische Prozeß der Kohlensäureaufnahme und somit das Festwerden und Erhärten des Mörtels nicht eintreten. Die Aufnahme von Kohlensäure ist besonders im Anfangsstadium eine sehr rasche und bedeutende,

später wird sie durch die gebildete feste, wenn auch noch so dünne Schicht von Kalkkarbonat verlangsamt und ershwert.

Hier setzt nun der Sandzusatz insofern günstig ein, als er den Mörtel für Kohlensäure leichter durchdringlich macht.

Der Sand ist also ein sehr wesentlicher Faktor beim Kalkmörtel, doch auch bei den anderen Mörteln. Zunächst nimmt man recht reinen Sand, ferner nicht ausschließlich etwa nur feinen oder nur groben, sondern zweckmäßig ein Gemisch von beiden Sorten. Man erreicht dadurch, daß die vorher schon gerügten größeren Kalkbreianhäufungen an ein und derselben Stelle vermieden werden. Der Kalkbrei soll die Sandkörner nur in dünner Schicht umgeben, sodaß dieselben nach erfolgter Erhärtung in einem Skelett von kohlenausem Kalk eingebettet sind. — Irgendwelche chemische Einwirkung auf den Quarzsand im Mörtel, wie z. B. bei der Kalksandsteinfabrikation übt der Kalk nicht aus: eine solche findet nur gegenüber durch Aufschließen im Feuer verbindungsähig gemachter, amorpher Kieselsäure statt.

Als Mörtelmischungen nimmt man gewöhnlich auf 1 Teil Kalk 3—5 Teile Sand; je fetter der Kalk ist, desto höher kann man im Sandzusatz gehen. Es ist garnicht ausgemacht, daß nicht z. B. ein Kalk mit 4 Teilen Sand einen besseren, festeren Mörtel liefert als derselbe mit nur 3 Teilen Sand. Im allgemeinen ist die Festigkeit der Kalkmörtel entsprechend der langsamen Erhärtung nur eine mäßige und beträgt bei gutem Kalk mit 3—5 Teilen Sand nach 28 Tagen etwa 3—5 kg Zugfestigkeit.

Eine sehr schwierige Sache ist die längere Aufbewahrung von Kalk, da er durchaus vor jeder Spur von Feuchtigkeit geschützt werden muß. Man lagert ihn in dichtgeschlossenen Silos, deren Wände am besten mit Portlandzement verputzt sind und deren Boden nach Vicat zuerst mit einer dünnen Schicht von feuchtem Kalkhydrat bestreut wird, dessen rasche Umwandlung zu kohlenausem Kalk eine feste Schicht zwischen dem aufzulagernden Kalk und der Atmosphäre bildet. Vorteilhaft ist es aber jedenfalls, den Kalk so wenig wie nur möglich lagern zu lassen, ihn vielmehr baldigst zur Verarbeitung zu bringen. Letzteres ist wohl auch ein Hauptgrund für das Entstehen und Blühen der Mörtelwerke in größeren Städten, wie z. B. Berlin.

Im übrigen ist man, wie bereits bemerkt, in einigen Gegenden bereits dazu übergegangen, den Kalk z. T. nicht mehr als Stückkalk zu versenden. Vielmehr wird der Kalk, mit Vorliebe allerdings nicht sowohl der Luftkalk als vielmehr der mittlere und schwere hydraulische Kalk, besonders auch das kleinstückige Material, gemahlen und in Säcken als sogenannter *Sackkalk* verschickt. Das hat weiterhin für den Maurer den Vorteil, daß er diesen feingepulverten Kalk nicht mehr erst lange in der Kalkgrube zu sumpfen braucht, ihn vielmehr direkt und ähnlich wie Zement verarbeiten kann. Denn naturgemäß erfolgt das Ablöschen feinsten Kalkpulvers unendlich weit schneller und intensiver als beim Stückkalk. Will man ganz vorsichtig darin zu Werke gehen, so kann man den Kalk trocken löschen und über Nacht stehen lassen.



Er wird dann am nächsten Tage, falls nicht ganz fehlerhaftes Material vorliegt, durchaus brauchbar sein, sofort verarbeitet zu werden.

\* \* \*

Ueber die chemische Zusammensetzung des genannten Kalkes gibt die exakte Analyse ein genaues Bild. Indessen sind aus ihr nicht immer resp. nicht mit völliger Sicherheit die mechanischen Eigenschaften des vorliegenden Materials zu ersehen. Auch erfordert eine solche Analyse mindestens 3 Tage Arbeit. Man prüft daher den Kalk auf seine Eigenschaften meist wie folgt in vereinfachtem Verfahren.

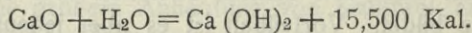
Die wichtigsten Eigenschaften des Kalkes sind *Stehvermögen*, *Löschfähigkeit* und *Ausgiebigkeit*, die des Kalkmörtels, neben dem *Gehalt an Kalk*, wesentlich die *Festigkeit*.

Ueber das *Stehvermögen* des Kalkes ist wenig zu sagen. Es ist naturgemäß für den Fabrikanten wie für den Konsumenten vorteilhaft, wenn die Aufnahme des Kalkes an Wasser und Kohlensäure und damit ein Zerfallen der Stücke möglichst langsam und spät eintritt.

Wichtig ist sodann die *Löschfähigkeit*, also die Fähigkeit eines Kalkes, in möglichst kurzer Zeit und weitgehendstem Maße sich zu Kalkbrei zu löschen, ohne daß ein längeres Nachsumpfen in der Kalkgrube erforderlich wird.

Um die Löschfähigkeit festzustellen, kann man sich auch wohl des Apparates von Dr. Stiepel (J. Peters-Berlin) bedienen, welcher eigentlich „zur raschen Bestimmung des ablöschbaren Kalkes“, d. h. also zur Ermittlung des nutzbaren Anteiles im Kalke dienen soll. Dieser Apparat arbeitet als *Kalorimeter* in der folgenden Weise.

Die Umsetzung des Aetzkalkes mit Wasser verläuft im Sinne der Gleichung:



Löscht man daher Aetzkalk mit einer überschüssigen Menge Wassers, so wird die freiwerdende Wärmemenge an dieses übertragen und ist durch eine Temperaturerhöhung des Wassers wahrzunehmen.

Nimmt man das Ablöschen beliebiger Mengen reinen Calciumoxyds in einer bestimmten Menge Wasser unter stets gleichen Bedingungen vor, so kann man aus den ermittelten Temperaturerhöhungen die Verhältniszahlen berechnen, in welchen bei verschiedenen Ablöschungen die verwendeten Quantitäten Calciumoxyds zu einander gestanden haben.

Da die Versuchsbedingungen die gleichen waren, bedarf es also keiner Anbringung einer Korrektur bezüglich des kalorimetrischen Wertes des Apparates.

Verwendet man auf der anderen Seite sowohl eine stets gleiche Menge Wasser wie auch gleiche Mengen eines gebrannten Kalksteins, der also nicht mehr reines Calciumoxyd ist, so ersieht man aus den sich gegenüber der beim

Ablöschen des gleichen Quantums reinen Calciumoxyds ergebenden Temperaturdifferenz, wieviel reines Calciumoxyd in dem gebrannten Kalkstein abgelöscht worden ist.

Verwendet man zuletzt nicht mehr ein Thermometer mit einer Einteilung in Grade Celsius, sondern ein solches, bei welchem unter bestimmten, stets in gleicher Weise innegehaltenen Versuchsbedingungen der Abstand zweier Teilstriche der Temperaturerhöhung entspricht, welche 1 % Calciumoxyd hervorruft, so ist man in der Lage, an diesem Thermometer sogleich die Prozente ablöschbaren Kalkes abzulesen, welche ein beliebiger Kalkstein enthält.

Der Apparat (Fig. 56) besteht zunächst aus einem äußeren auf drei Metallfüßen ruhenden zylindrischen Hohlkörper aus Hartgummi von ca. 20 cm lichter Weite und 23 cm Höhe. In diesen ist ein zweiter Hartgummi-Hohlkörper der gleichen Form von ca. 6 cm lichter Weite und 20 cm Höhe eingesetzt, welcher auf einer Spiralfeder ruht, die bewirkt, daß dieser Körper sich gegen den Deckel dicht andrücken kann.

Letzterer Zylinder nimmt ein Becherglas auf, in welchem das Ablöschen des Kalkes vorgenommen wird.

Verschlossen wird das Ganze durch einen Deckel, gleichfalls aus Hartgummi, welcher vermittle Bayonettverschluß sich festlegt.

Der Deckel hat zudem zwei Durchbohrungen und zwar eine für das Thermometer und eine zweite für ein Rührwerk. Letzteres besteht aus einem Metallstab, an welchem unten ein ringförmiges Metallsieb mit Seitenwänden angelötet ist (c). Dasselbe dient zur Aufnahme des abzulöschenden Kalkes. Vermittels der Schraube (b) kann das Rührwerk in jeder beliebigen Höhe arretiert werden.

Das Thermometer besitzt eine eigene Konstruktion. Dasselbe hat eine Skala, welche nicht in Grade Celsius eingeteilt ist, sondern derart, daß beim Ablöschen der für jeden Apparat genau bestimmten Menge reinen Calciumoxyds (ca. 8 g) in 50 ccm Wasser das vor dem Versuch auf die Nullmarke eingestellte Thermometer bis zur Hundertmarke steigt, wobei die Strecke 0—100 ca. 15 cm beträgt. Diese Strecke ist in 100 gleiche Teile geteilt, so daß also ein Teilstrich 1 % Calciumoxyd entspricht. Um nicht immer bei ein und derselben Temperatur arbeiten zu müssen, für welche der Quecksilberfaden vor dem Versuch auf Null einsteht, sondern bei beliebigen Temperaturen zwischen ca. 1—25° C., ist die Skala durch eine besondere Vorrichtung im Thermometer beweglich angebracht, sodaß man leicht vor jedem Versuch

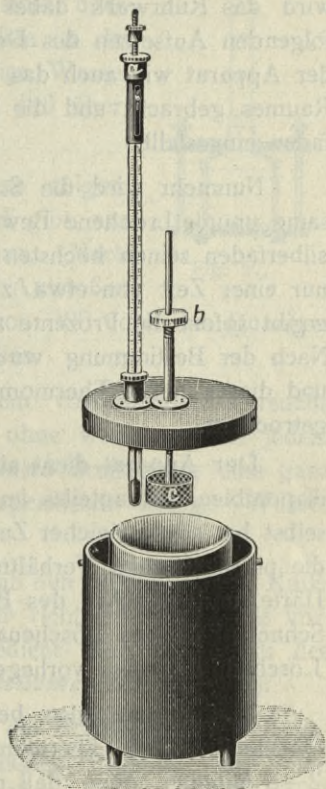


Fig. 56.

durch Drehen der Kopfschraube (a) den Nullpunkt in die Höhe des Quecksilberfadens einstellen kann, wodurch also jede Rechnung vermieden wird.

Das Gewicht des bei jeder Bestimmung abzulöschenden Quantums Kalk ist jedem Apparat in Form eines Gewichtsstückes beigegeben, auf welchem zudem das Grammgewicht vermerkt ist.

Nachdem auf einem Trierblech das Gewicht des Kalkes in Form erbsengroßer Stücke abgewogen worden ist, wobei die genaue Abwägung zuletzt durch Zugabe von etwas feinem Kalk bewirkt werden kann, werden die Kalkstücke auf das Sieb des Rührwerks gelegt und das feine Pulver in das Becherglas gegeben, in welchem sich 50 ccm Wasser befinden. Mittels der Schraube (b) wird das Rührwerk dabei so hoch festgehalten, daß es beim nunmehr erfolgenden Aufsetzen des Deckels sich über dem Wasser befindet. Zuvor war der Apparat wie auch das Wasser auf die gerade herrschende Temperatur des Raumes gebracht und die Nullmarke in gleiche Höhe mit dem Quecksilberfaden eingestellt.

Nunmehr wird die Schraube (b) gelockert und das Rührwerk in langsame ununterbrochene Bewegung versetzt und zwar solange, bis der Quecksilberfaden seinen höchsten Stand erreicht hat, wozu es bei guten Kalksteinen nur einer Zeit von etwa zwei Minuten bedarf. Die Ablesung an der Skala ergibt sofort die Prozente ablöschbaren Kalkes in dem untersuchten Kalkstein. Nach der Bestimmung wird der Deckel abgehoben, das Rührwerk abgelöst und dieses nebst Thermometer und Becherglas mit Wasser gereinigt und abgetrocknet.

Der Apparat dient also eigentlich der Ermittlung des löschbaren, d. h. disponiblen Kalkanteiles im Material. Nun aber löschen eben nicht alle Kalke selbst bei sonst gleicher Zusammensetzung auch in gleicher Zeit. Hier sprechen die physikalischen Verhältnisse des Muttergesteins, speziell seine Dichte und Härte, und die Art des Brennens wesentlich mit. Die Zeit nun, resp. die Schnelligkeit des Löschens sind ein bequem kontrollierbarer Faktor für die Löschfähigkeit des vorliegenden Kalkes.

Findet man also bei der Kalkuntersuchung ein schnelles Steigen des Quecksilbers im Thermometer, also eine völlige Sättigung etwa innerhalb 2—3 Minuten, ohne daß nach der ersten Ablesung ein weiteres merkbares Steigen erfolgt, so kann man einen solchen Kalk als einen leicht löschbaren bezeichnen.

Einen Wertfaktor aber für die Qualität des Kalkes bildet das rasche und leichte Ablöschen durchaus nicht.

Der Apparat ist nach den Untersuchungen des Verf. in erster Linie für leicht löschende Kalke zu brauchen. Will man einen allgemein gültigen Maßstab haben, so bietet sich ein solcher in dem Michaëlis'schen Volumenometer, durch welches die Ausgiebigkeit jeglichen Materials, Kalk und Kalk- oder Zementmörtel, ermittelt werden kann.

Dieser Apparat (Fig. 57) besteht aus einer Messingdose von 400 ccm Fassungsvermögen, auf welche eine von 200–300 ccm graduierte Meßröhre luftdicht aufgeschraubt wird.

Zur Ausführung des Versuches bringt man ein Stück Kalk von 50 g in die Dose und gibt zunächst etwa 120 ccm Wasser hinzu. Dann bedeckt man die Dose mit einem Uhr-  
glase und erwärmt sie auf dem Wasserbade, indem man von Zeit zu Zeit den sich bildenden Kalkbrei durch häufigeres Aufstoßen der Dose zusammenrüttelt.

Zuweilen genügt das erste Wasserquantum nicht, um eine völlige Breibildung zu bewirken, oder es steht überschüssiges Wasser auf dem Brei. In beiden Fällen ist der Versuch mit einer entsprechend abgeänderten Menge Wasser zu erneuern, bis glatte Breibildung eintritt, ohne daß überschüssiges Wasser darüber steht.

Sobald der Kalkbrei anfängt, Schwundrisse zu zeigen, läßt man abkühlen, schraubt den Deckel auf und gibt aus einer Vollpipette nochmals 300 ccm Wasser hinzu. Nach Beseitigung etwaiger Luftblasen durch Drehen und Ausstoßen der Dose liest man ab und findet unter Abzug von 300 ccm das Quantum des Kalkbreies.

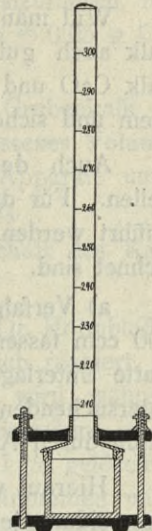


Fig. 57.

Aus dem vorstehenden Versuche ergibt sich ohne weiteres, daß jedem Kalk zur glatten Breibildung eine ganz bestimmte spezifische Menge Wasser eigen ist.

Will man nun prüfen, ob ein Kalkbrei von der richtigen Konsistenz vorliegt, so bedient man sich dazu des *Kalkkonsistenzmessers* (Fig. 58).

Das in die Bodenplatte des Apparates eingelassene Glasgefäß wird ohne Rütteln mit dem zu prüfenden Kalkbrei gefüllt, der Aufsatz aufgesteckt und sodann der entsprechend belastete Zylinder auf das Niveau des Breies heruntergelassen. Der nunmehr frei schwebende Zylinder sinkt bis zu einer gewissen Tiefe in den Brei, entsprechend der Steifigkeit mehr oder weniger tief.

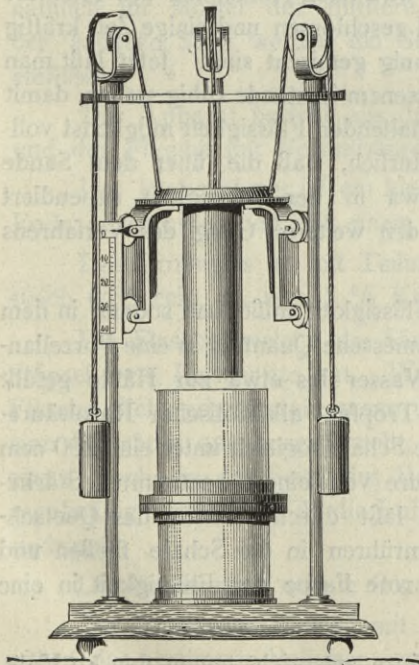


Fig. 58.

Der Abstand der Zylinderbasis über dem Gefäßboden wird an der in Millimeter geteilten Skala, die an dem Führungsgestänge angebracht ist, direkt abgelesen.

Bei einem Gewichte des Pistons von 2 kg soll dasselbe 25 mm tief in den Brei einsinken, wenn dieser die normale Konsistenz besitzt. —

Will man, vielleicht zur Kontrolle des Ofenbetriebes, untersuchen, ob der Kalk auch gut gar gebrannt ist, so kann man den Gehalt an gebranntem Kalk  $\text{CaO}$  und an eventuell noch unversehrtem kohlen-sauren Kalk  $\text{CaCO}_3$  bequem und sicher nach der Lunge'schen Methode (Seite 83) ermitteln.

Auch den Kalkgehalt im fertigen Mörtel kann man damit leicht feststellen. Für diese letztere Untersuchung mögen hier noch zwei Methoden aufgeführt werden, die besonders auch für die Ausführung auf der Baustelle berechnet sind.

a) Verfahren von Dr. Frühling<sup>1)</sup>: Ein oben und unten offener, genau 100 ccm fassender Hohlwürfel aus Zinkblech wird nach Aufsetzen auf eine glatte Unterlage vollständig (unter Vermeidung von Hohlräumen) mit dem zu untersuchenden Mörtel gefüllt und der über den äußeren Rand tretende Ueber-schuß durch Abstreichen entfernt.

Hierauf wird der Mörtelinhalt des Würfels durch einen Blechtrichter unter Vermeidung jeglichen Verlustes in eine verschließbare Flasche gefüllt, und der an Würfel und Trichter haftende geringe Rückstand mit genau 150 ccm Salmiaklösung, welche inzwischen in einem kalibrierten Standgefäße abgemessen wurden, in die Flasche nachgespült. Sodann wird nach Abnehmen des Trichters die Flasche mit einem eingeschliffenen Stöpsel geschlossen und einige Zeit kräftig geschüttelt, bis Mörtel und Salmiaklösung innig gemischt sind. Jetzt läßt man die Flasche ca. 15 Minuten in gut verschlossenem Zustande ruhig stehen, damit sich der Sand von der den Kalk gelöst enthaltenden Flüssigkeit möglichst vollkommen trenne. Es ist jedoch nicht erforderlich, daß die über dem Sande stehende Lösung ganz klar wird; die etwa in der Flüssigkeit suspendiert bleibenden voluminösen Flocken üben auf den weiteren Gang des Verfahrens keinen wesentlichen Einfluß aus.

Von der über dem Sande stehenden Flüssigkeit mißt man sodann in dem Standglase genau 100 ccm ab, gießt das abgemessene Quantum in eine Porzellanschale, welche bereits mit 400—500 ccm Wasser bis etwa zur Hälfte gefüllt ist und färbt die Flüssigkeit mit ca. 20 Tropfen alkoholischer Rosolsäure-lösung intensiv rot. Hierauf bringt man die Schale sogleich unter eine 200 ccm fassende Bürette, die inzwischen mit Salzsäure von einem bestimmten Stärke-grade bis zum Nullpunkte gefüllt ist, und läßt durch Oeffnen des Quetsch-hahnes Salzsäure aus der Bürette unter Umrühren in die Schale fließen und zwar bis zu dem Punkte, wo die intensiv rote Farbe der Flüssigkeit in eine schwach gelbliche übergeht.

Die Zahl der verbrauchten ccm Salzsäure entspricht genau den kg Kalk, welche in einem cbm des geprüften Mörtels enthalten waren, sodaß also bei

<sup>1)</sup> Tonindustrie-Zeitung 1884. S. 393.

130 ccm bis zur Reaktion verbrauchter Säure 130 kg Kalk in 1 cbm Mörtel enthalten sind.

Um dieses ohne Rechnung sich ergebende Resultat herbeizuführen, muß die Salzsäure von einer solchen Stärke sein, daß je 1 ccm = 0.05 g CaO (Calciumoxyd, gebrannter ungelöschter Kalk) äquivalent ist.

In derselben Weise kann natürlich auch eingelöschter Grubenkalk auf seinen Festgehalt kontrolliert werden, wenn man ein abgemessenes Volumen oder ein abgewogenes Quantum der Untersuchung mit dem Apparate unterwirft. Die Resultate schwanken nicht mehr als um etwa  $\frac{1}{2}$  ‰.

Frühling geht bei dieser seiner Methode von der Eigenschaft des Kalkhydrates aus, Ammoniaksalze schnell zu zersetzen.

b) Noch einfacher und handlicher ist das Verfahren von Dr. Holmblad<sup>1)</sup>. Dasselbe beruht ebenfalls darauf, daß Calciumhydroxyd alkalisch reagiert, so daß also z. B. Lackmus dadurch blau, Rosolsäure rot gefärbt wird, während letztere durch Salzsäure eine gelbe Färbung annimmt. Die Salzsäure ist so gestellt, daß 1 ccm Säure 0.05 g Ca(OH)<sub>2</sub> neutralisiert resp. 1 ‰ gelöschten Kalk angibt. Der Meßapparat, mit welchem die Probe entnommen wird, hat einen kubischen Inhalt, welcher 5 g Mörtel mit 14 ‰ Wasser entspricht. Das Gewicht des darin enthaltenen trockenen Mörtels entspricht also bei diesem Wassergehalt  $0.86 \times 5 = 4.3$  g. Dieser Prozentsatz an Wasser ist nämlich für Mörtel der mittlere, und Abweichungen nach der einen oder der anderen Seite werden die Genauigkeit des Resultates nicht erheblich beeinflussen.

Der Apparat besteht aus drei Teilen: dem Probenehmer, dem Probeglas und der Flasche mit Normalsäure.

Der Probenehmer ist ein kleiner Zylinder aus Messing, der an dem einen Ende geschlossen und mit einem beweglichen Kolben versehen ist.

Das Probeglas ist mit Teilung versehen, und zwar gibt jeder ganze Teilstrich 0.86 ccm an, also 1 ‰ Kalk des trockenen Mörtels.

Die Flasche, welche die Säure enthält, ist derartig eingerichtet, daß der Stöpsel zwei Einschnitte hat. Wenn der Stöpsel quergedreht ist, so ist die Flasche dicht geschlossen; wenn der Stöpsel aber so gedreht wird, daß der eine Einschnitt am Ausguß steht, so befindet sich der andere gerade vor einem Loche in der Seite des Halses. Bei dieser Stellung kann die Säure regelmäßig austropfen, da die Luft gleichzeitig durch das Loch in die Flasche eindringt.

Die Probe wird nun in folgender Weise vorgenommen.

Der Probenehmer wird mit Mörtel gefüllt und mittels des Kolbens desselben das bestimmte Volumen von Mörtel in das Probeglas gedrückt. Hierauf wird Wasser bis zum Nullpunkt des Probeglases aufgegossen und nach auf-

---

<sup>1)</sup> Tonindustrie-Zeitung 1889. S. 143.

gesetztem Stöpsel der Inhalt tüchtig durchgeschüttelt. Danach erfolgt der Zusatz der Säure.

Wenn angenommen werden kann, daß der Mörtel nicht unter 5—6 % gelöschten Kalk enthält, kann man aus der Säureflasche direkt mit abgenommenem Stöpsel bis zum Teilstrich 5 oder 6 Säure eingießen. Sobald diese Säure durch Schütteln sich mit der Flüssigkeit gemischt hat, tritt die rote Färbung der Rosolsäure auf. Dann wird nach aufgesetztem Stöpsel aus der Flasche mehr Säure tropfenweise zugegossen. Sobald beim Umschütteln die rote Färbung eben verschwindet und eine schmutziggelbe Färbung erscheint, ist die Neutralisierung des Kalkes erfolgt, und man kann nun den Prozentgehalt von gelöschtem Kalk einfach an der Teilung des Glases ablesen, indem man die Zahl nimmt, welche dem Niveau der Flüssigkeit entspricht.

Bei normalem Mörtel wird man 8—10 % gelöschten Kalk finden.

Dieses sonst sehr einfache Verfahren leidet nur darunter, daß durch die Salzsäure auch eventuell im Sand vorhandene Kalksteinstückchen neutralisiert werden können, damit also der Gehalt des Mörtels an Kalk zu hoch gefunden würde. Wenn man aber beim Zusatz der Salzsäure sehr vorsichtig ist, so wird zunächst immer erst das freie Kalkhydrat neutralisiert. —

Ebenso wie für Kalkmörtel ist es auch für die Kalksandstein-Fabrikation erwünscht, den Kalkgehalt in der Rohmasse ständig kontrollieren zu können. Zu diesem Zweck ist im Laboratorium der Tonindustrie-Zeitung die folgende Methode ausgearbeitet worden.<sup>1)</sup>

200 g der Rohmasse werden geteilt. Die ersten 100 g werden zur Ermittlung der Trockensubstanz im Trockenofen getrocknet. Die zweiten 100 g werden direkt auf ihren Kalkgehalt geprüft.

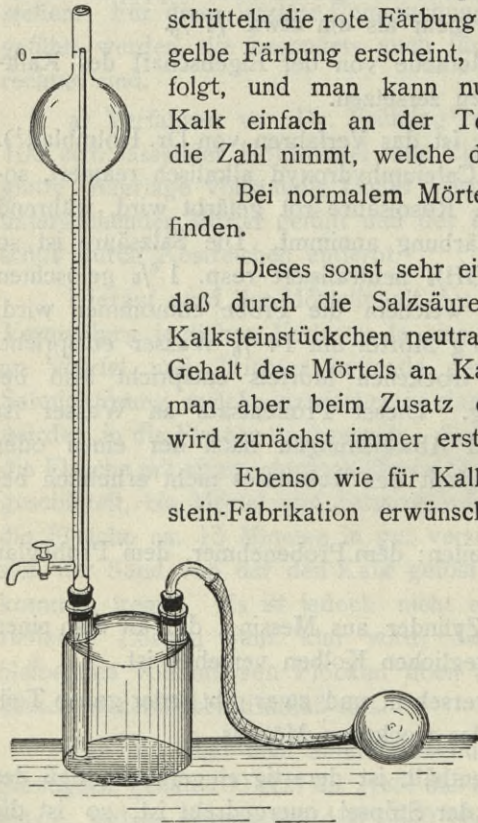


Fig. 59.

Das für diese Untersuchung besonders eingerichtete Meßrohr (Fig. 59) ist in 0.5 ccm geteilt und steckt in einer doppelhalsigen Flasche, welche die zur Untersuchung notwendige Salzsäure von bestimmtem Gehalt enthält. Dadurch bekommt einerseits das Meßrohr einen guten Stand, andererseits ist das Füllen sehr bequem; es ist nur notwendig, auf den Gummiball zu drücken, dann steigt die Salzsäure in dem Meßrohr durch das innere dünne Röhrchen, welches unterhalb des Hähnchens beginnt, hoch. Ist das Meßrohr gefüllt und hebt man den Druck auf den Gummiball auf, so fließt die Salzsäure zurück,

<sup>1)</sup> Tonindustrie-Zeitung 1902. S. 1719.

welche oberhalb der Mündung des dünnen Röhrchens steht. Da die Mündung genau der Nullmarke der Meßröhre entspricht, so findet auf diese Weise stets eine selbsttätige Einstellung der Salzsäure auf die Nullmarke statt. Das Meßrohr ist oben zu einer Kugel erweitert, welche 50 ccm faßt, um dem unteren Teil des Meßrohres von 50—100 ccm eine längere Teilung geben zu können. Die Salzsäure hat eine solche Stärke, daß 10 ccm einem Gramm Aetzkalk entsprechen. Da die Meßröhre in 0·5 ccm geteilt ist, so läßt sich die Bestimmung des Kalkes bis auf  $\frac{1}{20}$  % genau vornehmen.

Zur Ausführung der Kalkbestimmung wägt man auf der Wage genau 100 g gesiebte Kalksandmasse ab, bringt diese mit Hilfe des Einfüllbleches in eine Pulverflasche, fügt einen Becher (etwa 25 g) Salmiak zu, füllt die Flasche zur Hälfte mit Wasser, wobei der innere Flaschenhals mit der Spritzflasche abgespült wird, damit nichts verloren geht, und schüttelt nach Aufsetzen des Stöpsels gut durch. Dann setzt man etwa 20 Tropfen Phenolphthalein-Lösung hinzu, wodurch das Wasser und die Masse rot gefärbt wird, und schüttelt nochmals gut durch, nachdem der Stöpsel aufgesetzt ist. Nunmehr läßt man aus der Meßröhre durch vorsichtiges Oeffnen des Glashähnchens 50 ccm Salzsäure vorsichtig in die unter das Hähnchen gehaltene Pulverflasche fließen, wodurch die Rötung verschwindet, jedoch nur scheinbar, denn nach kräftigem Schütteln tritt sie wieder auf. Solange die Rotfärbung sichtbar bleibt, ist noch Kalk, welcher nicht durch die Salzsäure aufgelöst worden ist, zugegen. Die noch vorhandene Rötung nimmt man durch weiteren Salzsäurezusatz fort, die man von ccm zu ccm zulaufen läßt und gut durchschüttelt; zuletzt, wenn die Rotfärbung längere Zeit ausbleibt, fügt man jedesmal nur noch 0·5 ccm hinzu und überzeugt sich beim Umschütteln der Pulverflasche, ob noch schwache Rötung eintritt. Ist die Rötung ganz verschwunden und erscheint erst nach fünf Minuten eine weinrote Tönung, so braucht man sich um diese nicht zu kümmern. Der beim Umrütteln aufgeschlämmte Sand stört das Erkennen des Färbungsumschlages nicht, in kurzer Zeit setzt er sich zu Boden, und man erkennt dann die Färbung mühelos.

Die ganze Prüfung dauert nur wenige Minuten. Ist die Rotfärbung endgiltig verschwunden, so liest man die verbrauchte Anzahl ccm Salzsäure ab, dividiert diese durch 10 und erhält den Kalkgehalt in Prozenten, vorausgesetzt, daß 100 ccm der benutzten Salzsäurelösung 12·8 g Chlorwasserstoff enthalten, welche 10·0 g Calciumoxyd (Aetzkalk) entsprechen.

Werden also beispielsweise 78 ccm verbraucht, so beträgt der Kalkgehalt 7·8 %.

Erforderlich ist jedoch, daß die Salzsäure die vorgeschriebene Stärke hat.

Die Festigkeiten von Kalkmörteln prüft man in der gleichen Weise wie auch beim Portlandzement. Hat man es aber mit ziemlich frischen Proben zu tun, die eine entsprechend geringe Festigkeit haben, so bedient man sich zur Ermittlung der Zugfestigkeit auch wohl des einfacheren nebenstehenden Apparates (Fig. 60).



Der Apparat besteht aus dem Gerüst cc, dessen Querbalken eine den Zerreißkörper b umfassende Klammer a trägt. An den Körper b wird noch die untere Klammer a gehängt, welche den Eimer d trägt. Seitlich vom Eimer steht der automatische Schrotzuführer e.

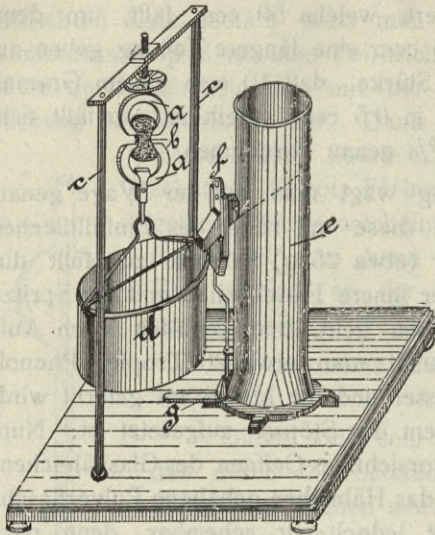


Fig. 60.

Durch Heben der Schütze f am Schrotzuführer rollt das Schrot aus dem oberen Behälter mit schrägem Boden in den Eimer. Nachdem die Bruchlast erreicht ist, fällt der Eimer auf den Stellhebel g, welcher automatisch die Schütze f zum Falle bringt, wodurch die weitere Schrotzufuhr abgeschnitten wird. Das Gewicht des gefüllten Eimers zuzüglich der Klammer a stellt die Bruchlast g dar. Da der Körper an der Einschnürung einen Querschnitt von 5 qcm hat, so ist die Zerreißfestigkeit pro qcm  $\frac{5}{5}$ .

Die Festigkeiten sind nicht sonderlich hoch; sie hängen außer vom Kalk auch noch von der Qualität und Menge des benutzten Sandes ab. Letztere soll stets der Natur des Kalkes genau angepaßt werden: sie beträgt alsdann jenachdem 3—5 Teile auf 1 Teil Kalk. Unter Umständen ist also die Festigkeit des mageren Mörtels höher als diejenige des fetten.

Die Festigkeit von bestem Fettkalk mit gutem Quarzsand in obigen Mischungsverhältnissen beträgt für:

	Zug	Druck	
nach 7 Tagen bis zu	2 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	14	} kg für 1 qcm.
„ 28 „ „ „	5	21	

## VI.

### Die hydraulischen Kalke.

Über den Ursprung der hydraulischen Kalke ist die erste die natürlich vorkommende Kalkart, welche in England vorkommt war. Sein Entdecker war Robert, der berühmte Baumeister des Fährhaus-Lichtturmes bei Plymouth, dessen mit der seinen Entdeckungen sehr bekanntes Prospektbrot, der erst vom Auslande eingeführt werden sollte, durch gewisse unglückliche Umstände in der Gegend von Wexford ein Gelingen fand. In Wexford wird angegeben, daß diese die erste bekannte Kalkart ist, welche durch gewisse Umstände, durch die sie sich bildet, die sie in der Natur selbst, die sie durch gewisse Umstände auch künstlich erzeugen kann, sich bildet. Die Kalkart ist untersucht und durch die chemische Analyse, die durch gewisse Umstände künstlich erzeugt wird, kann diese Kalkart die Kalkart sein, die die gleiche Merkmale aufweist, nach dem Verfahren nach folgenden Methoden hergestellt.

Besonders die Kalkarten in der Themse-Ebene, besonders mit ca. 75% Feuchtigkeitsgehalt, erwies sich als ein überaus wertvolles Mineralwasser. Seine Eigenschaften sind, daß es sich zum Teil in dem geographisch vertheilten Teile Frankreichs, besonders bei Boulogne, vorkommt, und in England vorkommt.

Die Herstellung des Portlandzementes führt zu Nachforschungen nach weiteren ähnlichen Materialien. Dabei ergab sich, daß es außerordentlich reich vorkommen zu hydraulische Mörteleigenschaften. Diese Mörteleigenschaften sind in den verschiedenen Ländern, in denen auch die Produktion der Portlandzemente vorkommt, vorkommen. Die Kalkart ist



## VI.

### Die hydraulischen Kalke.

#### 1. Die natürlichen hydraulischen Kalke.

Unter dem Namen „Romanzement“ wurde vor etwa 120 Jahren als der erste ein natürlich vorkommender hydraulischer Kalk bekannt, welcher in England aufgefunden war. Sein Entdecker war Smeaton, der bekannte Erbauer des Edystone-Leuchtturmes bei Plymouth. Smeaton traf bei seinen Bemühungen, den bekannten Puzzolanmörtel, der erst vom Auslande eingeführt werden mußte, durch geeignete einheimische Produkte zu ersetzen, in der Grafschaft Wales auf ein Gestein, das in Wasser weit energischer erhärtete als die sonst bekannten Mörtel. Bei genauerer Prüfung desselben fand er, daß dieses Gestein, als er es mit Säure behandelte, sich nicht vollkommen löste, vielmehr einen ziemlich erheblichen Rückstand hinterließ, der sich als Ton erwies. Er untersuchte auf dieses charakteristische Merkmal hin noch andere Gesteine chemisch wie technisch und kam dabei schließlich zu dem Resultat, daß alle Gesteine, die das gleiche Merkmal aufwiesen, nach dem Brennen einen hydraulischen Mörtel lieferten.

Besonders die Kalknieren an den Themse-Ufern bei London, mit ca. 25% Tongehalt, erwiesen sich als ein überaus wertvolles Mörtelmaterial. Solche Septarienkonkretionen fanden sich dann auch bald in dem geographisch entsprechenden Teile Frankreichs, besonders bei Boulogne s. m., seltener in Deutschland.

Die Entdeckung des Romanzementes<sup>1)</sup> führte zu Nachforschungen nach weiteren ähnlichen Materialien. Dabei fanden sich u. a. außerordentlich reiche Vorkommen für hydraulische Mörtel im südlichen Bayern, Tirol etc., überhaupt viel in den österreichischen Ländern, in denen auch die Produktion des ziemlich wohlfeilen Romanzementes einen großartigen Aufschwung nahm.

---

<sup>1)</sup> So genannt, weil er dem römischen Puzzolanzement in seiner Wirkung auffallend gleich!

Man teilt die bekannten hydraulischen Kalke ein in:

- a. eigentliche hydraulische Kalke, solche mit über 70 % kohlensaurem Kalk;
- b. Romanzemente, solche mit 50—70 % kohlensaurem Kalk, und
- c. dolomitische oder Magnesiazemente.

\* \* \*

Die Aufbereitung der drei vorstehenden natürlichen hydraulischen Kalke ist eine ziemlich einfache. Das gebrochene Material wird gewöhnlich in Stücken von Kinderkopfgröße direkt in den Ofen eingesetzt und im übrigen wie Portlandzement nur in entsprechend schwächeren Verhältnissen gebrannt.

Während der eigentliche hydraulische Kalk dann sofort fertig zum Versand ist und wohl auch in Stückform verschickt wird, werden Romanzement und Dolomitzement erst durch Zerkleinerungsapparate in ein feines Pulver übergeführt und kommen als solches meist in Sackpackung zum Versand.

Brenn- und Pulverisier-Apparate sind im großen ganzen dieselben, wie auch beim Fettkalk bezw. Portlandzement, und bei diesem letzteren ausführlicher besprochen.

Naturgemäß sind die natürlichen hydraulischen Kalke infolge ihrer einfacheren Herstellung billiger als der Portlandzement. Dennoch überwiegen des letzteren Vorzüge in solchem Maße, daß er die obigen drei Mörtelarten immer mehr verdrängt.

\* \* \*

#### a. Die eigentlichen hydraulischen Kalke.

Die hydraulischen Kalke im engeren Sinne enthalten in den qualitativ besseren Gesteinen 18—25 % Ton: freie und gebundene Kieselsäure, Tonerde, Eisenoxyd, etwas Magnesia und Alkali. Sie sind um so vorzüglicher, je weniger freie Kieselsäure vorwaltet, je mehr selbige also an andere Bestandteile im Ton gebunden, und naturgemäß je weniger quarzige Kieselsäure in ihnen enthalten ist. Letztere, mittelfeiner bis grober Sand, wirkt nur als Ballast, da sie sich beim Brennen nicht aufschließt, also durchaus nicht in Wirksamkeit treten kann.

Das Brennen der hydraulischen Kalke muß überhaupt sehr vorsichtig gehandhabt werden. Je höher der Gehalt an Gesamtsilikaten, um so tiefer muß man mit der Brenntemperatur heruntergehen. Es darf dabei keinerlei Sinterung eintreten, wie beim Portlandzement, keine „Glasierung“; derartige Stücke sind überbrannt und löschen sich nur äußerst langsam und unvollkommen, auch wohl garnicht ab. Vielmehr darf das Brennen nur bis zur Austreibung der Kohlensäure gehen. Der dabei entstehende stark basische Aetzkalk wirkt aufschließend auf den Ton und bildet mit ihm in der Hauptsache kieselsauren Kalk.

Dem physikalischen Zustande des Kalkgesteines vor dem Brennen entspricht auch der hydraulische Kalk nach demselben: je fester und dichter das Muttergestein, einen um so dichteren und festeren Mörtel liefert auch der hydraulische Kalk.

Als „Kalk“ betrachtet hat der hydraulische Kalk den höchsten, als hydraulisches Mörtelmaterial dagegen den niedrigsten Tongehalt. Von dem ihm nahestehenden Romanzement unterscheidet er sich außer durch seinen höheren Gehalt an kohlenurem Kalk wesentlich dadurch, daß er sich, wenn auch langsamer als Fettkalk, noch mit Wasser ablöschen läßt. Das erhaltene Kalkhydrat-Pulver weist aber im Gegensatz zum Fettkalk beim Anmachen eine weitaus geringere Erwärmung auf.

Der vorzüglichste hydraulische Kalk ist wohl der berühmte Chaux du Theil, dessen genaue Zusammensetzung nach Dr. Michaëlis die folgende ist:

Glühverlust . . . . .	6.424
Kieselsäure . . . . .	22.588
Tonerde . . . . .	2.629
Eisenoxyd . . . . .	0.837
Kalk . . . . .	65.624
Magnesia . . . . .	1.536
Kali . . . . .	0.124
Natron . . . . .	0.065
Schwefelsäure . . . . .	0.523

Seine Haltbarkeit besonders im Seewasser, bewirkt durch seine Zusammensetzung als fast reiner kieselsaurer Kalk, ist eine großartige.

Indessen ist damit nicht gesagt, daß nicht auch Kalke mit verhältnismäßig wenig Kieselsäure, aber viel Tonerde gute Wassermörtel liefern können. Gegenüber einem Verhältnis von Kieselsäure:Tonerde im Chaux du Theil von 9:1 hat z. B. der Beocsiner Kalk mit etwa 16.8 %  $\text{SiO}_2$  und 7.2 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ein solches Verhältnis von nur  $2\frac{1}{3}:1$ . Beide Kalke sind typisch und beide gehören zu den besten und bewährtesten Wasserkalken.

Die hydraulischen Kalke haben gewöhnlich eine gelbliche Farbe, ihr spezifisches Gewicht liegt bei 2.9, ihr Glühverlust geht bis zu 8 %. Ihre Erhärtung ist eine nur langsame, ihre Eigenfestigkeit eine geringe. Dagegen beträgt die Durchschnitts-Mörtelfestigkeit (mit 3 Sand), 72 Stunden in feuchter Luft, die übrige Zeit unter Wasser gelagert:

nach	7	28	365 Tagen
für Zug:	$4\frac{1}{2}$	7	21 kg
„ Druck:	25	48	135 „

Die Schweizer Normen bestimmen als Mindestwerte für  
 leichten hydraul. Kalk 6 kg Zug- und 30 kg Druckfestigkeit,  
 schweren „ „ 8 kg „ „ 50 kg „

Auf seine Volumbeständigkeit prüft man den hydraulischen Kalk zweckmäßig durch Dampfdarren oder warme Bäder von  $50^\circ\text{C}$ .: zeigen sich alsdann nach 6—8 Stunden an den Probekuchen keinerlei Verkrümmungen, Netz-

oder Kantenrisse als Folgen eines allmählich verlaufenden Nachlöschprozesses körniger Einschlüsse z. B. überbrannter oder mangelhaft hydratisierter Kalkkörnchen, so ist das Material frei von schädlichem Treiben.

Ist das Material nicht ganz homogen in der Masse, so wird das trocken abgelöschte Kalkpulver von etwa vorhandenen Tonknötchen am besten mittels eines Separators befreit. Die ausgesiebten Tonknötchen werden aber nicht etwa fortgeworfen. Sie werden vielmehr als wertvolles hydraulisches Material auf einem Mahlapparat fein gemahlen und dann in entsprechender Menge dem Kalkpulver beigemischt.

### b. Der Romanzement.

Dem eigentlichen hydraulischen Kalk steht am nächsten der Romanzement, wie er zuerst aus den Kalknieren der Themse gewonnen wurde. Auch der Romanzement bildet ein natürliches Vorkommen; er hat unter den hydraulischen Kalken den höchsten Silikatgehalt gegenüber einem solchen von nur 50—70 % kohlensaurem Kalk. Immerhin aber enthält auch der Romanzement noch einen gewissen Prozentsatz an freiem Aetzkalk, was ihn, außer anderen Erkennungsmerkmalen, als charakteristisch vom Portlandzement unterscheidet.

Die Zusammensetzung des Romanzementes ist eine etwas wechselnde; es mögen als Typen dafür die Analysen von drei der bekanntesten Romanzemente hier aufgeführt werden (Hauenschild):

	Perlmoser	Egger & Lüthi Kufstein	Alexander Curti Piesting
Kieselsäure . . . . .	23·67	26·80	25·00
Tonerde . . . . .	8·83	10·30	9·00
Eisenoxyd . . . . .	5·92	1·90	4·39
Kalk . . . . .	58·80	59·80	58·02
Magnesia . . . . .	0·73	0·30	1·08
Alkali . . . . .	1·22	0·70	0·62

Diese Zusammensetzung nähert sich also bereits sehr derjenigen des Portlandzementes; sie kann aber im Verhältnis von Kalk zu Silikat bis zu 1·2 : 1 sinken.

Die Temperatur, bei welcher Romanzement gebrannt wird, darf ebenfalls nicht so hoch gesteigert werden, daß dabei, wie beim Portlandzement, eine Sinterung stattfindet. Während aber der eigentliche hydraulische Kalk sich mit Wasser noch ablöscht, muß der Romanzement, wie auch der Portlandzement, künstlich bis zur Mehlfeinheit zerkleinert werden.

Der gebrannte und gemahlene Romanzement ist ein meist lichtgelb bis rötlich braun gefärbtes Pulver vom spez. Gewicht 2·7. Die Abbindezeit ist wechselnd; meist erfolgt aber das Erstarren ziemlich prompt. Beim Anmachen mit Wasser soll er sich nicht besonders stark erwärmen.

Die Eigenfestigkeit ist eine mittlere; als Mörtel mit 3 Teilen Sand betragen die Durchschnittsfestigkeiten:

nach	7	28	365 Tagen
für Zug	10	15	25 kg
für Druck	75	120	225 kg

Diese Festigkeiten sind also erheblich größer als beim eigentlichen hydraulischen Kalk, dagegen entsprechend der geringeren Dichte niedriger als beim Portlandzement.

Bei der Prüfung auf Volumbeständigkeit soll Romanzement in der Dampfdarre oder warmem Wasser von 70—75° C. nach 6 Stunden keinerlei Verkrümmungen resp. Netz- oder Kantenrisse aufweisen.

Romanzement muß sehr gut gelagert werden, da er außerordentlich begierig Wasser und Kohlensäure aufnimmt und dadurch mehr oder weniger zersetzt wird. Aus diesem Grunde ist er auch nicht zum überseeischen Export geeignet: an Haltbarkeit ist ihm der Portlandzement weitaus überlegen.

### c. Dolomitischer Zement.

Der aus magnesiahaltigen Gesteinen erbrannte dolomitische Zement ist eigentlich nur eine Abart des Romanzementes und wird, wenn auch nicht ganz mit Recht, oft unter dessen Namen geführt, zuweilen aber auch als Schwarzkalk bezeichnet.

Die eigentlichen Dolomitgesteine enthalten auf 54·3 % kohlensauren Kalk 45·7 % kohlensaurer Magnesia; indessen sind sie zumeist mit anderweitigen Bestandteilen vermengt. Verf. hat in Rußland ein solches Material längere Zeit unter den Händen gehabt, dessen Zusammensetzung im Durchschnitt der einzelnen ziemlich dünnen Schichten etwa die folgende war:

Silikate . . . . .	6·6 %,
Kohlensaurer Kalk . . . .	53·6 —,
Kohlensaurer Magnesia . . .	37·8 —.

Das Wesen dieser Zemente kennzeichnet sich in der Eigenschaft der Magnesia, in Gegenwart von kohlensaurem Kalk unter Wasser zu erhärten. Man muß also das Brennen solcher Materialien nur soweit treiben, daß möglichst nur die Kohlensäure der Magnesia ausgetrieben wird: jedenfalls soll man 400° C. nicht überschreiten. Brennt man zu stark, so bildet sich Aetzkalk, der im Wasser als Kalkbrei keinerlei hydraulische Eigenschaften entwickelt. Nur bei Material, welches einen höheren Tongehalt besitzt, kann man mit dem Brennen über 400° C. hinausgehen, da alsdann der Aetzkalk mit den Silikaten hydraulische Verbindungen eingeht, die sich im Wasser nicht merklich dehnen (Dr. Michaëlis). Man kann indessen, um nicht mit dem Einhalten der genauen Temperatur allzu ängstlich sein zu müssen, etwas nachhelfen, indem man dem gebrannten Produkt künstlich etwas aufgeschlossenes Silikat, z. B. in Form von Zieglmehl zusetzt.



Auch der dolomitische Zement soll sich beim Anmachen mit Wasser nicht allzu erheblich erwärmen. Seine Eigenfestigkeit wie auch seine Mörtelfestigkeit liegt zwischen der des eigentlichen hydraulischen Kalkes und der des Romanzementes. Jenes russische Material hat bei 3—4 Stunden Abbindezeit als Mörtel (1 : 5 Sand) nach 7 Tagen Luft- und 21 Tagen Wasserlagerung ca. 9·0 kg Zugfestigkeit. Mit Wasser löscht der Magnesia-zement sich nicht mehr ab: vielmehr muß er wie auch der Romanzement zu Pulver gefeint werden.

#### d. Normen zur Prüfung von Romanzement.

Einheitliche Normen zur Wertbestimmung sind ebenso wenig wie für Luftkalk auch für den eigentlichen hydraulischen Kalk und den Magnesia-zement aufgestellt. Dagegen sind für Romanzement in Oesterreich wie in Rußland bestimmte Vorschriften erlassen, welche wie folgt lauten.

*Oesterreichische* Bestimmungen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Romanzement (Zementkalk).

##### Definition von Romanzement.

Romanzemente sind Erzeugnisse, welche aus tonreichen Kalkmergeln durch Brennen unterhalb der Sintergrenze gewonnen werden und bei Benetzung mit Wasser sich nicht löschen, und daher erst durch mechanische Zerkleinerung in Mehlform gebracht werden müssen.

##### I. Verpackung und Gewicht.

Romanzement ist nach dem Gewicht 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 Normengewicht 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 Uebernahme 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.

### 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 Bindekraft 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 (Normal-Konsistenz) herzustellen.

Der Apparat zur Bestimmung der Konsistenz besteht aus einem Gestell, 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 die Bodenfläche herabgelassen, so zeigt der am Führungsstabe befindliche Zeiger auf den Nullpunkt der Teilung, sodaß 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 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 zu Stande 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 qmm 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 aufzulegen.

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 einer solchen 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 volumbeständig anzusehen, wenn derselbe, mit Wasser ohne Sandzusatz angemacht, an der Luft oder im Wasser die beim Abbinden angenommene Form dauernd beibehält,

Die Prüfung auf Volumbeständigkeit 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 ca. 10 cm im Durchmesser haben, in der Mitte ca. 1 cm dick sind und gegen die Ränder hin dünn auslaufen.

Der Wasserzusatz ist hierbei um ca. 1 % des Zementgewichtes größer zu nehmen, als für die Normkonsistenz 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 feucht gehaltenen 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 mittels eines Siebes von 2500 Maschen pro 1 qcm und 0·07 mm Drahtstärke und eines solchen von 900 Maschen pro 1 qcm und 0·10 mm Drahtstärke zu prüfen.

Der Siebe-Rückstand darf auf dem 2500-Maschensieb keineswegs mehr als 36 % und auf dem 900-Maschensieb 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 mittels 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 letzteren.

#### 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, welche an der Bruchfläche 5 qcm Querschnitt (2·25 cm Länge und 2·22 cm Breite) besitzen, die Druckproben an Würfeln von 50 qcm Fläche (7·07 cm Seitenlänge) vorzunehmen.

Sämtliche Probekörper sind die ersten 24 Stunden nach ihrer Anfertigung an der Luft, die übrige Zeit bis zur Probevornahme unter Wasser aufzubewahren.

Als Kontrolle für die Gleichmäßigkeit der gelieferten Ware dient die Zugprobe nach 7- und 28tägiger 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 Bindefähigkeit 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 mittels eines Siebes von 64 Maschen pro 1 qcm und 0·40 mm Drahtstärke die größten Teile ausscheidet und sodann mittels eines Siebes von 144 Maschen pro 1 qcm 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 28tägiger 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 Vor-  
nahme 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 28tägiger Erhärtung ausgeführt  
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 Normalsandes 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 qcm 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 Oeffnung des Litergefäßes be-  
deckt; dieser Kegel ist schließlich mit einem geradlinigen Streicheisen voll-  
kommen eben abzustreichen.

Während der ganzen Dauer dieser Manipulation ist jede Erschütterung  
des Litergefäßes sorgfältig zu vermeiden.

#### VI. Zug- und Druckfestigkeit.

In Normal-Mörtelmischung 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 Minimal-Festigkeiten  
erreichen:

Kategorie	Erhärtungsdauer	Minimal-	
		Druck- Festigkeit	Zug- Festigkeit pro qcm
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 maschinell  
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, resp. 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 Verschlüßvorrichtung der Formen für die Zugprobekörper muß dem bei der Erzeugung dieser Körper entstehenden Drucke genügend Widerstand leisten, da sonst durch Nachlassen dieses Verschlusses der Zerreißenquerschnitt vergrößert und unrichtige Festigkeitsresultate sich ergeben würden; ein durch Federkraft erzeugter Verschlüß 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 Normal-Mörtelmischung 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 Normal-Mörtelkonsistenz, mit welcher alle Probekörper anzufertigen sind.

Die Arbeit, welche bei der Erzeugung der Probekörper zu leisten ist, wird mit 0·3 mkg 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 mittels 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 Rammklotzes oder Hammers, bei den Zugprobekörpern jedoch durch 120 Schläge eines 0·25 m hoch herabfallenden, 2 kg schweren Rammklotzes oder Hammers komprimiert. Unmittelbar nach dem letzten Schlage 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 mittels 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 an-

fangs schwach und von der Seite her, dann immer stärker so lange in die Formen ein, bis an seiner Oberfläche Feuchtigkeit ausschwitzt.

Ein bis zu diesem Zeitpunkte fortgesetztes Einschlagen, das circa 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 Romazement.

Zugprobekörper aus reinem Romazement 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 Wassersatz wird hier ebenso bestimmt wie dort angegeben.

Die Herstellung von Zugprobekörpern mittels 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 Romazement 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 Rücksichtnahme 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 Romazement 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 6 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.

Beim 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.

\* \* \*

#### *Russische* Romanzement-Normen<sup>1)</sup>.

##### § 1.

Begriffserklärung der Romanzemente und deren Zusammensetzung.

a. Romanzement ist ein Produkt, erhalten aus Kalk- oder Dolomitmergeln durch mäßiges Brennen unterhalb der Sintergrenze und darauf folgende Zerkleinerung des Brenngutes bis zur Mehlfeinheit.

Anmerkung. Die nachfolgenden temporären Normen beziehen sich auf den im Moskauer Rayon produzierten künstlichen Zement, der durch Mischen von unterhalb der Sintergrenze gebranntem, magnesiahaltigem Mergel und Ton und Zerkleinerung der Mischung bis zur Mehlfeinheit hergestellt wird und ebenfalls den Namen Romanzement führt.

b. Die quantitativen Bestandteile des Romanzementes werden nicht begrenzt, mit Ausnahme des Schwefelsäureanhydrids, dessen Menge nicht größer als 2·6 % sein darf.

##### § 2.

Allgemeines über die Eigenschaften der Romanzemente und ihre Prüfung.

a. Die Prüfungen der unten (in den §§ 3—7) angegebenen Eigenschaften, denen der Romanzement Genüge leisten muß, werden in voller Uebereinstimmung mit den gegenwärtigen Regeln ausgeführt.

---

<sup>1)</sup> Ins Deutsche übersetzt von Jul. Zelm, Ingenieur-Chemiker an der Riga'er Zementfabrik C. C. Schmidt.

Anmerkung 1. Alle Mörtel, die den in den §§ 4, 5 und 7 angegebenen Prüfungen und Untersuchungen unterworfen werden, müssen mit Süßwasser angerührt werden.

Anmerkung 2. Alle Bestimmungen und Prüfungen sind in einem Raum mit einer gleichmäßigen Temperatur von 15—18° C. auszuführen, wobei sowohl der Zement als Sand und Wasser Zimmertemperatur haben müssen. In Fällen, wo diese Anforderung hinsichtlich der Temperatur nicht erfüllbar ist, muß hierüber im Prüfungsbuch eine Anmerkung gemacht werden mit dem Hinweise auf die Temperatur während der Prüfung.

Anmerkung 3. Die Anzahl der aus ein und demselben Mörtel angefertigten Probekörper (§ 7) soll nicht mehr als 6 betragen, und die Anfertigung derselben aus dem angerührten Mörtel ist auf jeden Fall vor dem Erhärtungsbeginn zu beendigen.

Anmerkung 4. Der aus einer Mischung von Zement und Sand angerührte Mörtel muß 5 Minuten lang, gerechnet vom Augenblick des Wasserzusatzes, ohne Unterbrechung durchgearbeitet werden.

Anmerkung 5. Sowohl die Kuchen aus Zementbrei (§§ 4 und 5), als auch die Probekörper aus Zement und Sand für die Prüfung auf Zugfestigkeit (§ 7) müssen, so lange sie noch nicht ins Wasser gelegt sind, in einem feuchten Raume aufbewahrt werden.

Die Herstellung obenerwähnter Kuchen und Probekörper geschieht auf einer Wasser nicht absaugenden Unterlage, z. B. auf einer Marmor- oder Glasplatte.

### § 3.

#### Das spezifische Gewicht des Romanzementes.

Das spezifische Gewicht des Romanzementes darf nicht weniger als 2.60 und nicht mehr als 3.00 betragen, wobei der Zement bei 120° C. vorher getrocknet sein muß.

Anmerkung. Das spezifische Gewicht wird vermittels der Volumometer von Schumann oder Le Chatelier-Candlot bestimmt.

Das Volumometer von Schumann besteht aus einem Glasgefäß nebst Glasröhre, die in  $\frac{1}{10}$  ccm eingeteilt ist. Nachdem man das Glasgefäß bis zum Nullstrich der Teilung auf der Röhre mit Terpentinöl gefüllt hat, schüttet man allmählich 50 g Zement (bis auf Milligramm genau gewogen) in dasselbe, den Apparat dabei rüttelnd und an die Röhre klopfend. Nach Entfernung der Luft schließt man die Röhre mit einem Pfropfen, wartet 7 bis 10 Minuten, bis die Flüssigkeit klar geworden ist, und liest den Stand derselben (am tiefsten Punkt der konkaven Oberfläche — am Meniscus) ab. Der Quotient aus dem Gewicht des hineingeschütteten Zementes und dem Volumen, das derselbe im Volumometer einnimmt, ergibt das spezifische Gewicht des Zementes. Es ist darauf zu achten, daß die Temperatur während des Versuches sich nicht ändert und daß sowohl der Apparat wie auch das Terpentinöl und der Zement möglichst lange einer gleichen Temperatur ausgesetzt worden sind.

Das Mittel aus zwei Bestimmungen wird als spezifisches Gewicht des betreffenden Zementes angenommen.

Der Apparat von Le Chatelier-Candlot besteht aus einem Gläschen von ca. 120 ccm Inhalt, dessen oberen Teil eine enge Röhre von 20 cm Länge bildet. Die obere Hälfte dieser Röhre hat eine kugelförmige Ausbuchtung, die oben und unten durch Teilstriche auf der Röhre begrenzt ist; das durch die beiden Teilstriche begrenzte Volumen beträgt 20 ccm.

Ueber der Ausbuchtung ist die Röhre durch Teilstriche in 3 ccm geteilt; jedes ccm wiederum in  $\frac{1}{10}$  ccm. Der innere Durchmesser der Röhre mit Ausnahme der Ausbuchtung beträgt ungefähr 0·009 m; die Länge der Röhre vom oberen Teil des Gläschens bis zur Ausbuchtung, d. h. bis zum unteren Teilstrich derselben, 10 cm.

Zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes verfährt man folgendermaßen: Man füllt den Apparat bis zum unteren Teilstrich der Ausbuchtung mit Benzin, wägt genau 64 g Zement ab und schüttet denselben mittels eines Trichters, dessen unteres Ende einige Millimeter vom oberen Teilstrich der Ausbuchtung absteht, in das Gläschen; auf diese Weise kann sich das Zementpulver nicht auf den Wandungen der Röhre anhäufen und dieselbe verstopfen, und da beide Teilstriche sehr nahe der Ausbuchtung liegen, hat man keine Veranlassung, zu befürchten, daß das Einschütten des Zementpulvers durch Klumpenbildung behindert werden könnte, wie solches häufig beim Schumann'schen Apparat passiert. Sobald die Oberfläche des Benzins sich dem oberen Teilstrich zu nähern beginnt, muß man das Zementpulver sehr vorsichtig und in sehr kleinen Mengen zuschütten, bis das Benzin den oberen Teilstrich berührt; der Rest des Zementpulvers wird gewogen und die erhaltene Gewichtsmenge von 64 g abgezogen. Die Differenz gibt das Gewicht des Pulvers an, das 20 ccm Benzin verdrängt hat, und indem man dasselbe durch 20 teilt, erhält man das spezifische Gewicht des Zementes. Während des ganzen Versuches muß der Apparat mit Ausnahme des oberen Teils im Wasser stehen, wodurch man infolge von Temperaturschwankungen erzeugte Fehler vermeiden kann. Auf die Annäherung der Benzinoberfläche zu den Teilstrichen muß sehr sorgfältig geachtet werden. Man hält deshalb den Apparat in gleicher Höhe mit dem Auge und hinter ersterem, um den Meniscus scharf zu erblicken, ein weißes oder schwarzes Papier; der Meniscus muß den Teilstrich vollständig berühren. Kleine Luftbläschen entweichen von selbst, ohne daß man nötig hat, den Apparat zu berühren. Infolge der bedeutenden Länge der Röhre verteilt sich das Zementpulver und scheidet die eingeschlossene Luft aus.

Folgendes muß bei den Versuchen berücksichtigt werden:

- 1) Man hat streng darauf zu achten, den Zement vollständig pulverisiert anzuwenden; alle Klümpchen und Körnchen, die infolge von Feuchtigkeit auf dem 900-Maschen-Siebe zurückbleiben, müssen zerrieben, durchgeseiht und mit der ganzen Masse vermischt werden.
- 2) Als Flüssigkeit ist Benzin oder Mineral-Essenz (? Der Verf.) anzuwenden.

3) Die Temperatur muß während des Versuches gleichmäßig und nicht höher als 15° C. sein.

#### § 4.

Bedingungen für die Bindezeit des Romanzementes.

Die Bindezeit des frisch gemahlten Zementes soll für den Mörtel von Normalkonsistenz mindestens 15 Minuten betragen, gerechnet vom Augenblick des Wasserzusatzes zum Zement.

Anmerkung 1. Die Wassermenge für die Normalkonsistenz des Mörtels aus reinem Zement wird durch den Konsistenzmesser bestimmt; dieser Apparat besteht aus einem Schaft von 1 cm Durchmesser nebst Tellerchen im Gesamtgewicht von 330 g, einer zylindrischen Dose von 4 cm Höhe und 8 cm Durchmesser zur Aufnahme des Zementbreies und einer mit einem Zeiger versehenen Skala in Millimeterteilung. Zur Bestimmung der Normalkonsistenz des Mörtels aus reinem Romanzement werden 300 g des Zementes mit soviel Wasser angerührt, daß man annähernd einen steifen Brei erhält, der auf das sorgfältigste 5 Minuten lang durchgearbeitet wird und dann, womöglich ohne zu rütteln, in die zylindrische Dose, die auf einer nicht absaugenden (Glas-) Unterlage placiert sein muß, gefüllt wird; der überschüssige Zementbrei wird abgestrichen. Hierauf wird der Schaft des Konsistenzmessers vorsichtig soweit herabgelassen, daß der Zeiger auf den Teilstrich 40 der Skala zeigt, worauf man den ersteren frei in den Brei einsinken läßt. Diejenige Wassermenge in Prozenten des Gewichtes vom angerührten Romanzement, bei welcher der Schaft so weit einsinkt, daß der Zeiger auf den Teilstrich 6 der Skala (innerhalb der Grenzen  $5\frac{1}{2}$ — $6\frac{1}{2}$ ) zeigt, entspricht der Normalkonsistenz des Mörtels aus reinem Romanzement. Diese Wassermenge läßt sich mit einer Genauigkeit von  $\frac{1}{2}$  % bestimmen.

Anmerkung 2. Die der Normalkonsistenz des Mörtels aus reinem Romanzement entsprechende Wassermenge schwankt für die verschiedenen Romanzemente gewöhnlich zwischen den Grenzen 40—55 %, ist jedoch für verschiedene von einer und derselben Fabrik gelieferte Partien Romanzement der betreffenden Lieferung ziemlich konstant.

Anmerkung 3. Zur Bestimmung der Bindezeit des Romanzementes werden 300 g des letzteren mit der oben bestimmten normalen Wassermenge zu einem Brei angerührt und unter Beobachtung des oben angegebenen Verfahrens in die zylindrische Dose gefüllt. Darauf bringt man den Zementbrei unter die mit 300 g belastete Nadel von 1 qmm Querschnitt (Vicat'sche Nadel) und läßt diese in Intervallen von je 1 Minute frei in den Zementbrei einsinken, wobei jedes Mal eine andere Partie des Breies unter die Nadel geführt wird. Als Schluß der Bindezeit wird der Augenblick angenommen, in dem die Nadel nicht tiefer als  $\frac{1}{2}$  mm in den Zementbrei einsinkt.

#### § 5.

Bedingungen für die Volumbeständigkeit.

Der Mörtel aus reinem Romanzement von Normalkonsistenz muß sowohl an der Luft als auch im Wasser volumbeständig sein, d. h. die aus diesem

Mörtel, wie unten angegeben, hergestellten Kuchen dürfen sowohl bei der Probe durch Erwärmen (Darrprobe) als auch bei der durch Verbleiben im Wasser weder Krümmungen noch radiale Risse an den Rändern zeigen. Trockenrisse, die nicht an den Rändern des Kuchens, sondern in der Mitte derselben in Form von konzentrischen, oberflächlichen Linien auftreten, sind kein Beweis für die Volumveränderlichkeit des Zementmörtels. Für jede dieser Proben auf Volumbeständigkeit wendet man 2 Kuchen an. Für die Darrproben werden aus je 50 g Zement Kuchen angemacht von ca. 7 cm Durchmesser auf einer mit angefeuchtetem Fließpapier bedeckten Glasplatte. Diese Kuchen werden nach zweitägigem Liegen an der Luft in einem Trockenschrank mindestens 2 Stunden lang einer Temperatur von 120° C. ausgesetzt. Die nach oben beschriebener Methode angefertigten Kuchen für die Probe im Wasser müssen an der Luft im feuchten Raum länger als 2 Tage aufbewahrt werden, worauf man sie ins Wasser legt, in welchem sie bis zum 28. Tage verbleiben müssen.

#### § 6.

##### Feinheit der Mahlung des Romanzementes.

Der Romanzement muß möglichst fein gemahlen sein; beim Durchsieben des Zementpulvers durch ein Sieb von 900 Maschen pro qcm darf der Rückstand auf dem Siebe nicht mehr als 15 % betragen.

Die Drahtstärke für das Sieb von 900 Maschen pro qcm muß 0.1 mm betragen. Für die Bestimmung der Mahlfeinheit nimmt man 100 g Zement.

#### § 7.

##### Bedingungen für die Prüfungen des Romanzementes auf Zugfestigkeit.

a) Die Zugfestigkeit des Romanzementes wird durch Prüfung einer Mischung von Zement und Sand im Verhältnis von 1 : 5 nach dem Gewicht bestimmt. Sämtliche Prüfungen des Romanzementes auf seine Festigkeit werden vermittels einheitlicher Apparate und an Probekörpern von gleichem Querschnitt von 5 qcm an der Zerreißstelle und einheitlicher Herstellung ausgeführt.

Zur Herstellung der Probekörper für die Prüfung des Mörtels von Romanzement und Sand wendet man eine der Normalkonsistenz des Mörtels entsprechende Wassermenge an, die durch eine gewisse mechanische Arbeit bestimmt wird. Letztere soll bei der Erzeugung des Probekörpers mittels der Klebeschen Ramme 0.1 m/kg pro 1 g Trockensubstanz betragen. Das Volumgewicht eines mit oben vorgeschriebener mechanischer Arbeit frisch hergestellten Würfels ergibt das spezifische Gewicht des frischen Mörtels von Normalkonsistenz in der Mischung von 1 : 5. Bei der Anfertigung der Zugprobekörper muß das Einstampfen des Mörtels in die Formen so lange andauern, bis das Volumgewicht dem oben erwähnten spezifischen Gewichte entspricht. Zur Herstellung der Probekörper wird der Mörtel mit bedeutendem Ueberschuß in Metallformen gefüllt, die entweder geölt oder mit Wasser angefeuchtet und auf eine Wasser nicht absaugende Unterlage, z. B. eine

Marmorplatte, gelegt sind. Die Probekörper werden unmittelbar nach der Herstellung vorsichtig, ohne sie zu beschädigen herausgenommen.

Die Prüfung der Probekörper erfolgt mit dem Hebelapparat von Michaëlis und zwar gleichzeitig an 6 Probekörpern; die mittlere Festigkeit des geprüften Zementes wird aus den 4 höchsten bei der Prüfung sich ergebenden Festigkeitszahlen berechnet.

b) Prüfung der Probekörper aus der Mörtelmischung von Romanzement und Sand. Zur Herstellung der Probekörper für diese Prüfung mischt man Romanzement und Sand in dem Verhältnis von 1 Gewichtsteil Romanzement auf 5 Gewichtsteile Normalsand. Der für die erwähnte Mischung zu verwendende Sand muß Quarzsand und durch 3 Siebe von 64, 144 und 225 Maschen pro qcm durchgeseiht sein. Die Rückstände, die beim Durchsieben des Sandes auf den Sieben von 144 und 225 Maschen pro qcm zurückbleiben, liefern, zu gleichen Teilen mit einander vermischt, den erwähnten Normalsand. Die Drahtstärke der Siebe muß betragen: 0·4 mm für das Sieb von 64 Maschen, 0·3 mm für das Sieb von 144 Maschen und 0·2 mm für das Sieb von 225 Maschen pro qcm. Die nach dem angegebenen Verfahren aus der Mischung von Romanzement und Sand hergestellten Probekörper müssen 28 Tage nach dem Anrühren des Mörtels eine Zugfestigkeit von mindestens 5 (fünf) kg pro qcm beim Erhärten an der Luft und mindestens 3 (drei) kg pro qcm beim Erhärten unter Wasser aufweisen.

c) Die Prüfung des Romanzementes muß auch am Mörtel aus reinem Zement 28 Tage nach dem Anrühren desselben ausgeführt werden; doch haben diese Prüfungsergebnisse auf die Annahme des Zementes keinen Einfluß und werden nur zur Kenntnisnahme in das Prüfungsjournal eingetragen.

d) Zur Vergewisserung dessen, daß der Zement keinen Rückgang in seiner Festigkeit aufweist, wird die Prüfung des Mörtels 1 : 5 bis auf zwei Monate ausgedehnt; die Prüfungsergebnisse nach dieser Frist werden in das Prüfungsbuch eingetragen und müssen, mit den 28 tägigen verglichen, eine Zunahme der Festigkeit aufweisen.

Anmerkung 1. Bestimmung der Wassermenge für die Normalkonsistenz des Mörtels aus Romanzement und Sand.

Die zum Anrühren einer Mischung von 1 Teil Zement und 5 Teilen Sand erforderliche, der Normalkonsistenz des Sandmörtels entsprechende Wassermenge wird entweder auf der Zementramme durch eine gewisse oben erwähnte mechanische Arbeit bestimmt oder nach Angabe der Fabrik genommen. Wenn die Wassermenge auf der Zementramme nicht bestimmt werden kann und vom Fabrikanten nicht angegeben ist, so sind 10—13 % vom Gewicht der trockenen Mischung als Wasserzusatz zu nehmen und innerhalb dieser Grenzen die Wassermenge zu verändern, entsprechend der Anforderung, einen bequem zu verarbeitenden Zementbrei zu erzielen.

Anmerkung 2. Ueber die Herstellung der Probekörper der Mörtelmischung aus Romanzement und Sand.

Der Mörtel wird bei der Handarbeit mit einem 250 g schweren Spatel



resp. mit einem Holzhammer von demselben Gewicht oder auf der Klebeschalen Ramme resp. auf dem Böhmeschen Hammerapparat so lange in die Form hineingeschlagen, bis sich auf der Oberfläche desselben Wasser zeigt; dann wird der überschüssige Mörtel abgestrichen und die Oberfläche des die Form ausfüllenden Breies mit einem Messer geebnet. Das Hinzufügen von Mörtel und nochmaliges Einschlagen ist nicht gestattet. In Streitfällen sind die Prüfungsergebnisse der mittels maschineller Arbeit angefertigten Probekörper entscheidend.

Anmerkung 3. Aufbewahrung der Probekörper bis zum Prüfungstermin:

Die frischen, auf der flachen Seite liegenden Probekörper werden mit einer Glasglocke bedeckt. Am dritten Tage, gerechnet vom Beginn der Anfertigung, entfernt man die Glasglocke und stellt die Probekörper auf den Rand, um sie der allseitigen Einwirkung der Luft auszusetzen.

Die der Erhärtung im Wasser unterliegenden Probekörper werden nach dreitägigem Liegen an der Luft unter der Glasglocke, auf dem Rande stehend in das Wasser gelegt, in welchem sie bis zum Augenblick der Prüfung verbleiben. Das Wasser, in dem die Probekörper aufbewahrt werden, muß mindestens ein Mal wöchentlich erneuert werden.

Anmerkung 4. Der Apparat von Michaëlis. Der Apparat von Michaëlis ist ein Hebelapparat mit doppelter Uebertragung. Ist das Verhältnis der Hebelarme  $10 : 1$  und  $5 : 1$ , der Querschnitt des Probekörpers am Halse =  $5 \text{ qcm}$ , so ergibt sich die Zugfestigkeit des Probekörpers, indem man das Gewicht, welches das Zerreißen herbeiführte, mit  $10$  multipliziert. Vor dem Gebrauch ist der Apparat mit Hilfe eines beweglichen, auf dem langen Hebelarme befindlichen Gegengewichtes auszubalancieren. Vor der Ausführung des Versuches werden die Probekörper leicht abgewischt und vorsichtig von Unebenheiten befreit, wobei die geringste Beschädigung vermieden werden muß. Das Belasten der Schale muß auf mechanische Weise erfolgen, z. B. vermittels der Apparate von Bertelemei, Ureschew, Michaëlis, durch feines Schrot (für die Apparate von Ureschew und Bertelemei wendet man Schrot No. 9, für den von Michaëlis No. 5 an) und mit gleichmäßiger Geschwindigkeit, annähernd gegen  $100 \text{ g}$  in der Sekunde.

Falls die Prüfung des Romanzementes auf Zugfestigkeit sehr stark von einander abweichende Resultate ergeben sollte, so ist besondere Aufmerksamkeit dem Zerreißquerschnitt zuzuwenden, um zu erforschen, ob sich in demselben nicht schon vor der Prüfung Risse gebildet hatten und ob die Probekörper die richtige Form gehabt haben.

## § 8.

### Verpackung und Gewicht.

Der Romanzement wird in Fässern oder Säcken verpackt mit Angabe des Bruttogewichtes auf jedem Sacke und jedem Faß. Außerdem muß auf den Säcken und Fässern die Fabrikfirma deutlich vermerkt sein.

## 2. Die künstlichen hydraulischen Kalke.

Während man die natürlichen hydraulischen Mörtel erst in der neueren Zeit auffand, sind die künstlichen zum Teil bereits im Altertum bekannt gewesen. Schon bei den alten Römern machte sich das Bedürfnis geltend, ein Mörtelmaterial zu besitzen, das für ihre großartigen Wasserbauten die nötige Festigkeit besaß.

Es ist hier zunächst von dem Portlandzement abzusehen, den man ja wohl auch den künstlichen hydraulischen Kalken zuzurechnen hat: aber der Portlandzement nimmt infolge der Vielseitigkeit seiner Verwendbarkeit wie überhaupt infolge seiner Eigenart eine ganz besondere Stellung unter den Mörtelbildnern ein. Vielmehr sind unter die eigentlichen künstlichen hydraulischen Kalke nur der Puzzolanzement und die ihm verwandten Mörtelmaterialien, Traß- und Santorinzement, sowie der erst in neuerer Zeit bekannter gewordene Schlackenzement einbegriffen.

Die künstlichen hydraulischen Kalke bilden stets ein „Mischprodukt“, dessen ständiger Komponent der Kalk und zwar gewöhnlich der Luftkalk ist. Dieser ist nun an und für sich kein Wassermörtel. Um ihn also zu einem solchen zu machen, vermischt man ihn mit Stoffen, die zwar ebenfalls wieder keine selbständigen Mörtelbildner sind, die aber infolge ihrer Zusammensetzung die zu einem hydraulischen Mörtelmaterial nötigen Hydraulefaktoren liefern können. Beide Komponenten sind also jeder für sich unselbständige Wassermörtelstoffe; erst durch ihre Vereinigung werden die Vorbedingungen geschaffen, die eine Erhärtung im Wasser ermöglichen.

Im Altertum waren als solche Zusatzstoffe zum Kalk jene bekannten vulkanischen Gesteine in Gebrauch, die besonders in Italien weiter verbreitet waren und von ihrem Hauptfundort „Puteoli“ den nachmaligen Namen „Puzzolanzement“ entliehen. Außerdem wurden noch zwei andere Materialien aufgefunden, die einen wertvollen Zuschlagstoff abgaben: die Santorinerde und später der Traß. Erst in neuerer Zeit ging man dann noch dazu über, dort, wo die natürlichen Vorkommen: Puzzolane, Santorinerde und Traß fehlten oder durch weite Entfernung zu teuer kamen, diese durch künstliche Produkte zu ersetzen. Solche Produkte waren gebrannter Ton, Ziegelmehl, Kohlenaschen, gepulvertes Glas und Abfälle aus anderen industriellen Großbetrieben, z. B. der Alaunfabrikation und besonders der Verhüttung des Eisens: letztere die bekannten Hochofenschlacken. Vornehmlich die Fabrikation des sogenannten Schlackenzementes hat vor einigen Jahren einen ganz bedeutenden Aufschwung genommen.

Die Einteilung der künstlichen hydraulischen Kalke ergibt sich aus dem Gesagten naturgemäß als die folgende:

a) Kalk mit natürlichen Zuschlagstoffen:

Puzzolanzement,  
Santorinzement,  
Traßzement;

b) Kalk mit künstlichen Zuschlagstoffen:

Schlackenzement etc.

Sie werden sämtlich in der Weise hergestellt, daß man zunächst den Kalk in irgend einer Weise zu Kalkhydratpulver ablöscht, wobei auf eine glatte und vollständigste Ablöschung zu achten ist, will man verhindern, daß größere Kalkkörnchen in der Masse bleiben. Diese, weil vielleicht überbrannt oder nicht genügend hydratisiert, würden sich erst nachträglich ablöschen und dann unfehlbar einen treibenden Mörtel liefern. Es kann nicht nachdrücklich genug darauf aufmerksam gemacht werden, daß beide Komponenten ein außerordentlich feines Pulver bilden müssen, um energisch und zuverlässig in Aktion treten zu können. Während dies beim Kalk durch sorgfältiges Hydratisieren und Separieren ziemlich leicht zu erreichen ist, müssen die hydraulischen Zuschlagstoffe erst gemahlen werden. Danach werden beide Bestandteile in Pulverform durch Mischmaschinen aufs innigste mit einander vermischt und gelangen dann meist in Sackpackung zum Versand. — Man bedient sich zu all' diesen erforderlichen Operationen derselben Apparate wie auch beim Portlandzement, und wie sie bei diesem ausführlicher beschrieben sind.

Die Mischungsverhältnisse von Kalk und den hydraulischen Zuschlägen sind ganz individueller Natur und somit etwas verschieden: sie richten sich ganz nach der Zusammensetzung der Zuschläge.

Es muß also davon abgesehen werden, sogenannte „Normalmischungen“ mit bestimmten Verhältnissen beider Komponenten zu einander anzugeben. Verf. beschränkt sich deshalb lediglich darauf, die Festigkeiten einiger Mischungen hier aufzuführen (nach Tetmajer):

Puzzolanzementmörtel<sup>1)</sup>: 1 : 3 Sand:

7 Tage Luft-, 21 Tage Wasserlagerung:

Puzzolan	Kalk	Zugfestigkeit	Druckfestigkeit
60	40	4·8	25
80	20	4·5	34
60	40	11·0	60
80	20	14·0	90
60	40	14·5	77
80	20	15·5	78

<sup>1)</sup> Zum besseren Vergleich ist überall die Normalmörtelfestigkeit (1 : 3 Sand) angeführt.

Für Traßmörtel ergaben sich bei verschiedenen Versuchsreihen in Mischungen von 2 Traß auf 1 Kalk als Normalmörtel mit 3 Sand nach 28 Tagen, in derselben Weise gelagert wie die vorstehenden Puzzolanzementmörtel:

Zugfestigkeit 10—16 kg,  
Druckfestigkeit 50—90 kg;

Aehnliche Zahlen liefern auch die Normalmörtel aus Santorinerde mit Kalk: das Mischungsverhältnis ist dabei meist 1 : 3.

Für die Prüfung von Traß auf seinen mörteltechnischen Wert sind auf der Rüdersdorfer Versammlung des Deutschen Verbandes für die Materialprüfungen der Technik im September 1900 folgende Beschlüsse zu Normen erhoben worden.

### I. Bestimmung des hygroskopischen Wassers und des Hydratwassers (Glühverlust).

*Vorbemerkung.* Guter Traß wird aus hydraulischen Tuffsteinen gemahlen. Die Untersuchung auf Glühverlust gibt in den meisten Fällen Anhalt dafür, ob der Traß aus guten hydraulischen Tuffsteinen hergestellt ist.

Guter Traß soll mindestens 7 % Glühverlust (Hydratwasser, chemisch gebundenes Wasser) ergeben; doch soll diese Prüfung nicht allein als entscheidend für den Wert des Trasses angesehen werden.

Trasse von  $5\frac{1}{2}$ — $7\frac{1}{2}$  % Glühverlust sind zum Gebrauch zuzulassen, wenn die für die Festigkeit gestellten Bedingungen erfüllt werden.

a) *Vorbereitung der Proben.* Von dem zu untersuchenden Traß wird eine Durchschnittsprobe von etwa 20 g entnommen und in einer Reibschale soweit zerkleinert, daß alles durch ein Sieb mit 5,000 Maschen auf 1 qcm geht.

Wird der zu untersuchende Traß aus angelieferten, ungemahlene Tuffsteinen hergestellt, so ist darauf zu achten, daß die aus den letzteren entnommene Probe eine möglichst richtige Durchschnittsprobe von etwa 10 kg aus der Lieferung darstellt und daß die entnommenen Steine genügend durch einander gemischt werden.

Die 10 kg faustgroße Stücke sind im Mörser zu zerstoßen, bis auf dem 10-Maschensieb kein Rückstand verbleibt. Von dem Siebgut ist nach gründlichem Durchmischen 1 kg zu entnehmen, welches soweit zerkleinert wird, daß auf dem 60-Maschensieb kein Rückstand verbleibt. Von diesem Siebgut sind 100 g fein zu reiben, bis auf dem 900-Maschensieb kein Rückstand verbleibt.

b) *Ermittelung des Trockenverlustes.* Um die Menge des hygroskopischen (mechanisch festgehaltenen) Wassers zu bestimmen, werden von der nach der Vorschrift unter a) vorbereiteten Traßmenge 10 g in ein Wägegläschen mit eingeschlifftem Stopfen und einer Bodenfläche von mindestens 4 cm Durchmesser gefüllt. Das Gläschen wird offen mit geneigt auf die Oeffnung

gelegtem Stopfen in einen Trockenschrank<sup>1)</sup> mit Wasserumspülung und Lufterneuerung gebracht und während drei Stunden gleichmäßig auf annähernd 98° C. erhitzt.

Als dann wird das Gefäß mit dem warmen Stopfen verschlossen, herausgenommen und zum Abkühlen in einen Exsikkator gebracht. Die dann festgestellte Gewichtsabnahme wird als der Gehalt des Trasses an hygroskopischem Wasser angesehen.<sup>2)</sup>

c) *Ermittlung des Glühverlustes.* Um den Glühverlust zu bestimmen, werden von der nach der Vorschrift unter a) vorbereiteten Traßprobe 10 g (die zweite Hälfte der vorbereiteten Menge) in einem Platin- oder Porzellantiegel entweder 30 Minuten über dem Gasgebläse oder im Hempel'schen Glühofen mindestens 40 Minuten bis zur Rotglut erhitzt. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Anfangserwärmung des Trasses, der außer Wasser auch Luft enthält, nur langsam gesteigert wird, sodaß erst in 5—10 Minuten Rotglut eintritt. Bei zu schneller Erhitzung reißen das heftig austretende Wasser, sowie die eingeschlossene Luft feine Teile des Trasses mit sich, wodurch Stoffverlust entsteht, der sich fälschlich als Glühverlust geltend machen würde.

Nach Ablauf der Glühzeit ist der Tiegel mit einer angewärmten Zange sofort zum Erkalten in einen Exsikkator zu bringen.

Nach dem Erkalten wird die Gewichtsabnahme festgestellt.

Bei Berechnung des Glühverlustes (Hydratwassers) muß von dem Gewichtsverlust des geglühten Trasses der Gewichtsverlust des gleichzeitig getrockneten Trasses (das hygroskopische Wasser) in Abzug gebracht werden. Der dann noch verbleibende Gewichtsverlust des geglühten Trasses muß auf die Gewichtsmenge des vorgetrockneten Trasses, also Traß ohne hygroskopisches Wasser, in Prozenten berechnet werden.

## II. Mahlfeinheit.<sup>3)</sup>

Für die Prüfung auf Mahlfeinheit sollen die für die Zementprüfung üblichen Siebe mit 144, 900 und 5,000 Maschen auf 1 qcm benutzt werden.

Für die Siebung sind je 100 g bei 98—100° C. getrocknetes Pulver zu benutzen, und zwar soll die Siebung auf dem feinsten Gewebe beginnen. Der

---

<sup>1)</sup> Es ist darauf zu achten, daß die Flamme nicht unter dem Boden des Schrankes hervorschlägt, wodurch der Trockenraum stärker erwärmt wird. Es ist ferner darauf zu achten, daß sich keine Wasserdämpfe im Innern des Schrankes niederschlagen können.

<sup>2)</sup> Für die genaue Ermittlung des mechanisch gebundenen Wassers ist es notwendig, die Trocknung bei ungefähr 98° C. bis zu gleichbleibendem Gewicht fortzusetzen; für die Praxis werden aber meistens drei Stunden Trockenzeit genügen, da nach dieser Zeit die Gewichtsabnahme nur noch Zehntel Prozent zu betragen pflegt, um welche sich der Glühverlust alsdann höher stellt.

<sup>3)</sup> Der Traß soll so fein wie möglich gemahlen werden, da die Bindefähigkeit des Stoffes mit seiner Feinheit wächst. Zur Zeit ist es gerechtfertigt, zu fordern, daß auf dem Siebe mit 900 Maschen auf 1 qcm höchstens 25% und auf dem Siebe mit 5,000 Maschen auf 1 qcm nicht mehr als 50% liegen bleiben.

darauf zurückbleibende Rest soll gewogen und auf das nächstfolgende Sieb gebracht werden u. s. w.

### III. Nadelprobe.

Das Traßpulver ist im Anlieferungszustande zu verwenden; doch sollen die auf dem 144-Maschensiebe liegenden Körner ausgeschlossen werden, da sie den Nadelversuch vereiteln können. Eine Mischung von 2 Gew.-T. Traß, 1 Gew.-T. Kalkhydratpulver und 0·9—1 Gew.-T. Wasser ist bei 15 bis 18° C. anzurühren, in Hartgummidosen ohne Boden, die auf eine Glasplatte gesetzt werden, zu füllen und glatt abzustreichen. Die Dose soll sofort unter Wasser von 15—18° C. gebracht<sup>1)</sup> und nach 2, 3, 4 und 5 Tagen im normalen Nadelapparat derartig geprüft werden, daß festgestellt wird, mit welcher Belastung die 300 g schwere Normalnadel mit 1 qmm kreisförmigem Querschnitt den Mörtel durchdringt.

Wenn der Traßmörtel bei niederen Temperaturen verwendet wird, z. B. im Winter oder für Grundbauten, so empfiehlt es sich, eine zweite Versuchsreihe bei entsprechender Temperatur auszuführen. In jedem Falle sind die Wasser- und die Luftwärme anzugeben.

Als Kalk soll bis zur Feststellung eines Normalkalkes ein möglichst reiner Marmorkalk verwendet werden.

### IV. Zug- und Druckfestigkeit.

Aus 2 Gew.-T Traß + 1 Gew.-T. Kalkhydratpulver + 3 Gew.-Teilen Normalsand + 0·9—1 Gew.-T. Wasser sollen Zug- und Druckproben in der für die Zementprüfungen üblichen Form und Größe mit 150 Schlägen von Böhme's Hammer eingerammt werden. Die Zugproben sind 20 Minuten nach Herstellung, die Druckproben 24 Stunden nach Herstellung aus den Formen zu nehmen.

Alle Körper sollen 24 Stunden nach der Herstellung in einem bedeckten, mit feuchter Luft erfüllten Zinkkasten aufbewahrt werden und hiernach 6 bzw. 27 Tage unter Wasser von 15—18° C. weiter erhärten. Unmittelbar nach der Entnahme aus dem Wasser sind die Körper zu prüfen.<sup>2)</sup>

Die Vorbereitung und die Verarbeitung der Mörtelstoffe soll in folgender Weise geschehen:

1. Das Traßpulver ist im Anlieferungszustande zu verwenden.
2. Der Kalk ist aus einem reinen Luft- (Fett-) Kalk<sup>3)</sup> zu brennen. Je

---

<sup>1)</sup> Die Ausführung der Nadelprobe bei Luftlagerung wird empfohlen, wenn der Traßmörtel zu Luftbauten verwendet werden soll.

<sup>2)</sup> Zur Zeit ist es üblich, nach 28 Tagen wenigstens 12 kg/qcm Zugfestigkeit und wenigstens 60 kg/qcm Druckfestigkeit des Kalk-Traßmörtels zu verlangen; für die Berechnung des Mittelwertes werden die 6 höchsten Zahlen aus je 10 erprobten Körpern benutzt.

<sup>3)</sup> Sobald ein Normalkalk vereinbart worden ist, soll dieser zu allen Zwecken verwendet werden.

5 kg des Aetzkalkes sind auf Walnußgröße zu zerkleinern und in Drahtsieben so lange unter Wasser von 20° C. zu halten, bis keine Blasen mehr aufsteigen. Dann ist der Kalk in ein hölzernes, mit Zink ausgeschlagenes Gefäß zu schütten, acht Tage lang bedeckt stehen zu lassen und auf dem 120-Maschensieb abzusieben. Das Grobe ist zu verwerfen.

Richtig gelöschter Kalk hat etwa 25 % Wasser. Soll der Kalk für spätere Versuche aufbewahrt werden, so ist er luftdicht abzuschließen.<sup>1)</sup>

Als Normalsand soll der für Zementprüfungen übliche Sand von Freienwalde Verwendung finden.

Die Mischung des Mörtels soll in dem Normal-Mörtelmischer von Steinbrück-Schmelzer derartig vorgenommen werden, daß die in einer Schüssel trocken vorgemischten, abgewogenen Mengen von Traß und Kalkpulver 20 Umgänge des Mörtelmischer erleiden, dann wieder in einer Schüssel mit dem Sande trocken vorgemischt und abermals während 20 Umdrehungen im Mischer bearbeitet werden, wobei das erforderliche Wasser während der ersten Schüsselumdrehung zugesetzt wird. —

In der Praxis wird übrigens die Nadelprüfung in der Weise ausgeführt, daß die Mörtelmischung aus 2 Gew.-T. Traß, 1 Gew.-T. Kalk und 1 Gew.-T. Wasser je nach 2 bzw. 4 Tagen geprüft wird, und zwar bei 15° C. Dabei soll sie zunächst nicht mehr den Eindruck eines Fingers aufnehmen und sodann die mit 1 kg beschwerte Vicat-Nadel nicht tiefer als 5 mm eindringen lassen.

Bei höherer Temperatur wird das Gewicht sinngemäß gesteigert, nämlich bei ca. 19° C. auf 2 kg und bei ca. 22½° C. auf 3¼ kg.

Ferner wird vom Traß noch verlangt, daß das Hektolitergewicht, lose eingelaufen, nicht mehr als höchstens 94 kg betragen soll.<sup>2)</sup> —

Die künstlichen hydraulischen Kalke sind vorzugsweise Wassermörtel und eignen sich wenig oder garnicht für Luftbauten. Santorinmörtel ist sogar ausschließlich Wassermörtel und zeigt an der Luft durchaus negative Resultate.

Auch die Schlackenzemente sind wesentlich Wassermörtel.

Als Material zu den Schlackenzementen eignen sich unter den Hochofenschlacken fast ausschließlich nur die basischen<sup>3)</sup>, granulierten Hochofenschlacken und unter diesen wieder in erster Reihe die aus dem Gießereiroheisenprozeß erhaltenen. Ihre Güte hängt wesentlich mit davon ab, daß sie in möglichst weißglühendem Fluß und unter starkem Druck in recht kaltes Wasser einströmen: derartige Schlacken liefern bei sonst entsprechender chemischer Zusammensetzung sehr wertvolle hydraulische Zuschlagsmittel.<sup>4)</sup>

1) Für Laboratorien und Versuchsanstalten empfiehlt es sich, derartig vorbereiteten Kalk in luftdicht verschlossenen Gefäßen vorrätig zu halten.

2) Vergl. hierzu Anton Hambloch, Andernach a. Rh., „Der rheinische Traß als hydraulischer Zuschlag in seiner Bedeutung für das Baugewerbe“, 1903, Selbstverlag.

3) Basisch in dem spezifischen Sinne, daß auf ein Äquivalent Silikat mehr als ein Äquivalent Kalk in der Schlacke vorhanden ist.

4) Ueber Schlackenzemente hat besonders Prof. Tetmajer in den Berichten der Züricher Versuchsanstalt eingehende und wertvolle Studien veröffentlicht (1893—94), denen Verf. neben eigenen Versuchen in den weiteren Ausführungen im wesentlichen folgt.

Die granulierten Hochofenschlacke enthält gemäß ihrer Herstellung eine bedeutende Menge Wasser, bis über 60 %, das auch außerordentlich hartnäckig festgehalten wird. Infolgedessen ist das Trocknen solcher Hochofenschlacken etwas sehr lästiges, schwieriges und auch kostspieliges. Auf festen Darren gelingt es überhaupt nicht, die letzten Spuren des anhaftenden Wassers auszutreiben. Einzig und allein läßt sich das mittels Trockentrommeln ermöglichen, welche auf dem Prinzip des Gegenstromes oder Gleichstromes bei steter Bewegung des zu trocknenden Materials basieren. Diese Apparate sind daher für Schlackenzementfabriken im höchsten Grade empfehlenswert.

Versuche, die Schlacke naß zu vermahlen und dann, um das teure Trocknen zu ersparen, das der Schlacke noch anhaftende Wasser zum Ablöschen des Kalkes zu Kalkhydrat zu benutzen, haben nicht zu befriedigenden Resultaten geführt. Es scheint äußerst schwierig zu sein, dabei die unbedingt erforderliche vollständige Hydratisierung wie auch die feine Verteilung und innige Mischung zu erreichen. Wenigstens trat bei der Prüfung von derartig hergestellten Schlackenzementen Treiben und selbstverständlich zugleich damit eine wesentliche Herabminderung der Festigkeit ein.

Die getrocknete Schlacke wird dann gemahlen. Auch das Mahlen der Hochofenschlacken ist ebenso wie das Trocknen eine verhältnismäßig kostspielige Sache, indem dieselben einmal sich nur äußerst schwierig vermahlen lassen, andererseits aber wieder außerordentlich fein gemahlen sein müssen, um ihre volle Wirkung ausüben zu können. Unter den bekannten Mahlapparaten eignen sich hierfür besonders die horizontalen Kugel-Rollmühlen. Die gepulverte Schlacke wird dann zusammen mit Kalkhydratpulver in Mischmaschinen sorgfältig gemischt und der fertige Schlackenzement in Sackpackung zum Versand gebracht.

Auch beim Schlackenzement ist das Mischungsverhältnis Kalk zu Schlacke ein rein individuelles und hängt ausschließlich von dem Grade der Basizität der Schlacke ab; der Quotient  $\text{CaO} : \text{SiO}_2$  oder der Basizitätskoeffizient soll nicht kleiner als 1 sein. Weiter wächst die Kalkkapazität einer Schlacke mit dem steigenden Verhältnis von Tonerde zu Kieselsäure. Je höher der Quotient  $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ , desto höher kann man in der zur größtmöglichen Kraftentfaltung erforderlichen Kalkmenge gehen.

Auch das Alter der Schlacke<sup>1)</sup> spricht insofern mit, als gemahlene Schlacke durch längeres Lagern an ihrer Kalkkapazität Einbuße erleidet und dann weniger feste Mörtel liefert.

Die besten Schlacken sind unter normalen Verhältnissen die weißlich-grauen, welche bei der Erzeugung von Gießerei-Roheisen fallen. Die Farbe zieht auch bis licht-bräunlich hinüber; auch diese Schlacken stammen immer noch von gut warmem Eisen her. Zu verwerfen sind dagegen die grünlichen Schlacken vom ungarischen Eisen.

<sup>1)</sup> Das zum Schlackenzement verwendete Kalkhydrat soll zweckmäßig nicht über drei Wochen alt sein.



Die Schlackenzemente bilden ein meist lichtgraues Pulver vom spezifischen Gewicht 2·7. Sie erhärten anfangs nur langsam, erreichen aber schließlich eine ganz außerordentliche Festigkeit. Bei der Erhärtung wirkt der Kalk auf das lösliche Silikat der Schlacke in der Weise ein, daß sich durch Vermittelung des Wassers — also auf nassem Wege — ein gallertartiges Hydrosilikat bildet. Fehlt dieses Wasser, wird es also z. B. bei Verwendung des Schlackenzementes zu Hochbauten durch Austrocknen dem Mörtel entzogen, so fällt damit auch die Grundbedingung für eine fortschreitende energische Erhärtung weg und hört dieselbe vorzeitig auf: die Schlackenzemente sind damit ihrem innersten Wesen nach als spezielle Wassermörtel charakterisiert.

Ist dagegen bei entsprechender Aufbereitung der Mörtel zum Wasserbau benutzt, so erreicht er mit zunehmendem Alter eine Festigkeit, wie sie sonst nur bei sehr gutem Portlandzement zu beobachten ist. Verf. fand z. B. in einer Versuchsreihe für den Normalmörtel (1 : 3 Sand) folgende vorzügliche Durchschnittszahlen:

nach	7	28	365 Tagen,
für Zug	12	25	36 kg,
„ Druck	108	219	345 „ .

Diese Zahlen sprechen eine beredte Sprache. — Nur das Verhältnis von Zug zu Druck verschiebt sich hier nicht (wie beim Portlandzement) im Laufe der Zeit zu Gunsten der Druckfestigkeit. Das Verhältnis von Zug zu Druck ist nur unwesentlich gestiegen, von 1 : 9 auf 1 : 9·6, während es beim Portlandzement manchmal bis auf 1 : 12 und noch höher steigt.

Einen relativ großen Wert besitzen die Schlackenzemente gegenüber den anderen hydraulischen Kalken dadurch, daß sie durchaus gleichmäßig hergestellt werden können, sobald überhaupt erst einmal das richtige Mischungsverhältnis für die in Frage kommenden Materialien aufgefunden ist. Denn die Schlacke aus ein und demselben Hochofen ändert sich resp. schwankt nur innerhalb ganz enger Grenzen, sofern nur in dem Ofen immer dieselbe Art Eisen erzeugt wird.

Bei den verschiedenen Schlackenzementen ist natürlich dann auch die Festigkeit eine sehr verschiedene und schwankt innerhalb ziemlich weiter Grenzwerte, für welche hier folgende Zahlen gegeben sein mögen:

Schlacke	Kalk	Zug- festigkeit	Druck- festigkeit
100	15	8·1—33·1	55·6—238·8
100	20	9·0—36·3	55·8—251·4
100	25	8·0—38·1	46·6—242·8
100	30	7·3—40·5	50·2—261·0

Alles in Normal-Mörtelmischungen (1 : 3 Sand) nach 28 Tagen: die Maximalgrenze beträgt etwa das Fünffache der Minimalgrenze. Das sind Schwankungen, wie sie kein anderer Mörtel zeigt.

Dem Schlackenzement sind denn auch ziemlich weite Grenzen in seiner Zusammensetzung gewährt. Das bewirkt weiter, daß eigentliche Treibererscheinungen fast ausschließlich nur auf einer mangelhaften Aufbereitung beruhen, wie sie sich aus grober Mahlung beider Komponenten und ungenügender Hydratisierung des Kalkes ergibt. Die Prüfungen auf die Volumbeständigkeit erfolgen in der gleichen Weise, wie beim Portlandzement beschrieben: guter Schlackenzement soll selbst die schärferen Proben, wie z. B. die Kochprobe, tadellos bestehen.

Die Schlackenzemente eignen sich für alle Wasserbauten, besonders wenn nicht direkt ins Wasser hinein gearbeitet, z. B. betoniert wird; infolge ihrer einfachen Herstellung sind sie im Kostenpunkte dem Portlandzement überlegen, so daß sie, mit richtigem Verständnis verarbeitet, ihm an geeigneter Stelle wohl Konkurrenz zu machen vermögen.

VII

Der Portlandzement.

---



## Der Portlandzement.

## 1. Ursprung, Zusammenetzung und Begriffs-fassung.

Das Vaterland des Portlandzementes ist England, sein Entdecker ein gewisser Joseph Aspdin in Leeds. Wie er bei seinen Versuchen, die natürlichen hydraulischen Mergel in Portlander Portlandzement durch künstliche zu ersetzen, beobachtete, daß eine Mischung eines bestimmten Mischungsverhältnisses und einer entsprechend hohen Temperatur beim Brennen ein Produkt zu erhalten, das sich nach seinen Eigenschaften als ein ganz hervorragendes, hydraulisches Mergelmaterial auswies. Er benannte dasselbe „Portlandzement“, weil es, wenn in Wasser zerbrütet, einem vorzüglichen Basalte seiner Gegend, dem „Portlandstein“ in Farbe und Härte vollkommen ähnlich ist.

Aspdin's Entdeckung wurde bald allgemein verbreitet und auch in Deutschland in ihrer ganzen Bedeutung sehr schnell erkannt und gewürdigt. Aus der ersten Fabrik am von Aspdin bei Harrogate, aus welcher sich in rascher Folge weitere Werke in Bülchew, Stebbin, Bonn, Linsberg, Oppeln, Lebbin, Mücheln, Diebitz u. A. m.

Naturgemäß waren die ersten Untersuchungen noch immer etwas ungenügend, bis endlich nach einer großen Reihe von Analysen der besten Portlandzemente und eigenen zu diesem Zwecke angestellten Versuchen Dr. W. Michaelis von Nachweis führte, daß die Zusammensetzung des Portlandzementes eine bestimmte und begrenzte ist. Dr. Michaelis stellte in einer ausgedehnten Versuchsreihe fest, unter welchen Umständen, das als Verhältniß der Gesamtalkaline zu Kalk im fertigen Produkt das von annähernd 1 : 2 zu normieren sei. Dieser Quotient ist das hydraulische Mergel.

Die Abweichungen von diesem Verhältnisse nach oben und unten sind nur hinsichtlich einiger Grenzen gestattet, etwa von 1,7 bis zu 2,2. Nur für Produkte aus mittelmäßig reifen Mergeln, wie z. B. in Norweger- (Kaukasus), bei gewissen Flugschiefern bei Opfern, in Gegend von Bielefeld, Pommern, Lüneburg (Lüneburg) und anderen Orten, ist es möglich, die Maximumgrenze nicht zu überschreiten und bis zu 1,7 zu gelangen. Bei den sehr



## VII.

### Der Portlandzement.

#### 1. Ursprung, Zusammensetzung und Begriffs-Fassung.

Das Vaterland des Portlandzementes ist England, sein Entdecker ein gewisser Joseph Aspdin in Leeds, welchem es bei seinen Versuchen, die natürlichen hydraulischen Mörtelbildner, Puzzolan- und Romanzement, durch künstliche zu ersetzen, zum ersten Mal gelang, unter Beobachtung eines bestimmten Mischungsverhältnisses und einer entsprechend hohen Temperatur beim Brennen ein Produkt zu erhalten, das sich nach seinen Eigenschaften als ein ganz hervorragendes, hydraulisches Mörtelmaterial auswies. Er benannte dasselbe „Portlandzement“, weil es, wenn in Wasser erhärtet, einem vorzüglichen Bausteine jener Gegend, dem „Portlandstone“ in Farbe und Haltbarkeit auffallend glich.

Aspdin's Entdeckung wurde bald allgemein verbreitet und auch in Deutschland in ihrer ganzen Bedeutung sehr rasch erkannt und gewürdigt. An die erste Fabrik auf dem Festlande bei Boulogne s./m. reihten sich in rascher Folge weitere Werke in Züllichow, Stettin, Bonn, Lüneburg, Oppeln, Lebbin, Mannheim, Biebrich u. A. m.

Naturgemäß waren die ersten Erzeugnisse noch immer etwas mangelhaft, bis endlich nach einer großen Reihe von Analysen der besten Portlandzemente und eigenen zu diesem Zwecke angestellten Versuchen Dr. W. Michaëlis den Nachweis führte, daß die Zusammensetzung des Portlandzementes eine ziemlich eng begrenzte ist. Dr. Michaëlis stellte in einer ausgedehnten Versuchsreihe diese Grenzen dahin fest, daß als Verhältnis der Gesamtsilikate zu Kalk im fertigen Produkt das von annähernd 1 : 2 zu normieren sei. Dieser Quotient ist das hydraulische Modul.

Die Abweichungen von diesem Verhältnis nach oben und unten sind nur innerhalb enger Grenzen gestattet, etwa von 1·7 bis zu 2·2. Nur für Produkte aus natürlich vorkommenden Rohstoffen, wie z. B. in Noworossisk (Kaukasus), bei gewissen Plänerschichten bei Oppeln, in Gartenau (Salzburg), Perlmoos, Kirchbichl (Tirol) und wenigen anderen Orten, ist es möglich, die Maximalgrenze noch zu erhöhen und bis zu 1 : 2·4 zu gehen. Es hat das seinen

Grund in der ungemein feinen Verteilung der einzelnen Bestandteile beim Werdeprozeß der Natur, die wir selbst mit den besten Maschinen niemals erreichen werden.

Dr. Michaëlis hat dafür den Nachweis geliefert, indem er Zemente (er nahm dazu Stern-Zement), die bis auf ein hydraulisches Modul von 1 : 2·5 gebracht waren, im Sauerstoffstrom schmolz. Durch das Schmelzen erzielte er naturgemäß eine außerordentlich innige Mischung der einzelnen Bestandteile. Diese Versuche ergaben zwei wesentliche Resultate:

1. Der geschmolzene Zement zeigte selbst bei höherem hydraulischen Modul gegenüber dem entsprechenden, nur bis zur Sinterung gebrannten, eine größere Volumbeständigkeit. So entsprach der geschmolzene Zement 1 : 2·5 dem nur gesinterten 1 : 2·4. Für die ganz scharfen Proben war der Zement 1 : 2·5 allerdings etwas zu hoch. Aber die Zemente 1 : 2·4 und 1 : 2·35 hielten selbst die rigorosesten Prüfungen tadellos aus. Zugleich ergaben die Festigkeitsproben für den Zement 1 : 2·4 (mit 3 Sand) nach 28 Tagen 27·7 kg Zug- und 486 kg Druckfestigkeit: gewiß ein hervorragendes Resultat!

2. Damit war zugleich der Beweis erbracht, daß, wie früher vielfach behauptet wurde, ein Ueberbrennen des Zementes durch zu hohe Temperatur nicht erfolgt: man darf eben nicht die schwarzen Schlacken für Zement ansprechen. Nicht die hohe Temperatur an sich vermag den Zement zu verderben, nur ein allzu langes Andauern derselben wirkt schädlich.

Natürlich wird niemand die Sinterung bis zum Schmelzen treiben: das würde die Gestehungskosten wesentlich in die Höhe bringen. —

Damit sind die Grenzen der Zusammensetzung des Portlandzementes gegeben. Das hydraulische Modul wird danach für künstliche Produkte zwischen 1·7 bis 2·2 schwanken und für die natürlichen bis 2·4 ansteigen dürfen. Letztere Zahl ist daher auch z. B. in die russischen Normen aufgenommen.

Oberhalb dieser Grenzen tritt eine starke Volumveränderung, das sogenannte Treiben ein, unterhalb findet reichliches Abmullen und Zerrieseln statt, das bis zu gänzlichem Zerfallen des Klinkers führen kann.

Zugleich kann man, was späterhin noch ausführlicher zu erörtern sein wird, die Regel aufstellen, daß kalkreiche Zemente langsamer abbinden, aber energischer erhärten als die kalkarmen Zemente.

Außer auf das unumgänglich notwendig inezuhaltende Verhältnis von Silikat zu Kalk ist auch auf das der Silikate unter einander ein großer Wert zu legen, da ein verschiedener Gehalt an diesen den Zementen auch verschiedenartige Eigenschaften beilegt.

So hat es sich gezeigt, daß die kieselsäurereichen Zemente langsamer abbinden als die tonerdereichen, welche letztere die sogenannten Schnellbinder und Gießzemente liefern. Dafür aber erhärten die kieselsäurereichen Zemente von Anfang an sehr energisch, dehnen den Erhärtungsprozeß sehr lange aus und sind weiter besonders auch bei ihrer Verwendung im Seewasser allen anderen Zementen in hohem Grade überlegen. Die Stettiner Zemente z. B.

zeigen nach Dr. Michaëlis einen Gehalt an Kieselsäure bis fast zu 25 % gegenüber ca. 5·7 % Tonerde und 2·5 % Eisenoxyd. Sie werden also, wie z. B. der Chaux du Theil <sup>1)</sup>, der fast nur aus Kieselsäure und Kalk besteht, für Meeresbauten ein besonders vorzügliches Material bieten.

Die Kieselsäure ist eben der wichtigste Hydraulefaktor: sie quillt unter der Einwirkung des sich zuerst bildenden Kalkhydrates nach und nach auf und bedingt dadurch die langandauernde Nacherhärtung. Dem gegenüber erhärtet Kalkaluminat, und zwar in stark beschleunigter Reaktion, nur durch Wasseraufnahme.

Auch das Eisenoxyd ist insofern von Wichtigkeit, als es einmal dem Zerfallen der Klinker entgegenwirkt und zweitens als hervorragendes Flußmittel im Zemente dient. Mangelt es daran, so muß man es der Rohmasse vor dem Brennen z. B. in Form von Kiesabbrand künstlich beimengen.

Das Eisen wirkt aber kaum als Hydraulefaktor; sein Nutzen liegt fast ausschließlich in seiner Eigenschaft als Flußmittel: Kalkferrat bewirkt fast allein für sich die Sinterung! Dadurch daß Kalksilikat und Kalkaluminat noch völlig feuerbeständig sind, wenn Kalkferrat schon ins Fließen kommt, tritt die *Sinterung*, d. h. die Klinkerbildung ein.

In ähnlicher Weise wirken auch die Alkalien als Flußmittel, die eventuell durch calcinierte Soda ergänzt werden können. Auch ein Zusatz von  $\frac{1}{8}$  bis  $\frac{3}{4}$  % Flußspat ist für ein leichtes Sintern der Klinker sehr förderlich. Die Alkalien sind weiter für den Erhärtungsprozeß des Zementes sehr günstig: sie führen die Kieselsäure in eine lösliche, verbindungs-fähige Form über, in welchem Zustande sie sich auf nassem Wege mit dem Kalk verbindet.

Ferner ist noch in fast allen Zementen Magnesia und Schwefelsäure enthalten, letztere meist aus dem verwendeten Ton stammend oder beim Brennen aus den Brennmaterialien aufgenommen und fast ausschließlich an Kalk gebunden.

Die Frage der Magnesia hat vor mehreren Jahren zu weitläufigen Erörterungen Anlaß gegeben, indem sie als Treibenerreger erachtet wurde. Dieser Umstand erschien um so bedenklicher, als dieses Treiben sich erst nach Jahren äußert. Es wurde deshalb auch anfangs der Magnesiagehalt auf 3 % beschränkt und dann bis auf 5 % zugelassen: die Frage ist jetzt so ziemlich geklärt. Und besonders die Arbeiten von Meyer-Malstatt und Schott-Heidelberg gewähren die Beruhigung, daß vielleicht weniger die Magnesia als solche das böse Element ist, als vielmehr eine fehlerhafte Aufbereitung des betreffenden magnesiahaltigen Rohmaterials und nicht genügend vorsichtiges Brennen desselben.

1)	Chaux du Theil	Dr. Michaëlis	Hauenschild
	SiO <sub>2</sub>	24·0 %	23·0 %
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2·8 —	1·1 —
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0·9 —	1·3 —
	CaO	70·0 —	74·6 —



Magnesia ist nämlich ein ganz außerordentlich wirksames Flußmittel. Die Sinterung aber, die durch sie bewirkt wird, ist für den hydraulischen Effekt eher schädlich als nützlich, weil dabei Kieselsäure totgebrannt wird, ohne daß zugleich eine Magnesiahydrosilikatverbindung entstände.

Doch scheint, daß bei entsprechendem Aufbereiten und Brennen selbst ein höherer Gehalt an Magnesia, über 5 % hinaus, ein vollkommen einwandfreies Produkt geben könnte, das anstandslos verwendet werden dürfte. —

Damit ist qualitativ und quantitativ die Zusammensetzung des Portlandzementes gegeben, also mit den zulässigen Schwankungen etwa:

Kieselsäure . . . . .	18—26 %,
Tonerde . . . . .	4—10 —,
Eisenoxyd . . . . .	2—4 —,
Kalk . . . . .	57—66 —,
Magnesia . . . . .	bis 5 —,
Schwefelsäure . . . . .	bis 2 —;

Außer diesen wesentlichen Bestandteilen kommen dann noch als accessoirische hinzu: Manganoxydul (aus dem Ton) sowie Eisenoxydul und Schwefelcalcium, letztere beide bei schlechtem Brennen durch reduzierendes Feuer entstanden: sie wirken sämtlich nachteilig auf die Güte des Zementes. Seltener sind Titansäure und Phosphorsäure vorhanden.

Dann kommt noch, besonders bei länger gelagerten Zementen, der Glühverlust (Wasser und Kohlensäure) in Betracht, welcher meist 2—3 % beträgt.

Die Rohmaterialien, aus denen der Portlandzement hergestellt wird, sind wie aus der obigen Zusammensetzung zu ersehen, im wesentlichen kalk- und tonhaltige Stoffe. Zu ersteren rechnen alle kohlen-sauren Kalke, von den dichten Kalkgesteinen bis zur Kreide und dem Wiesenkalk. Von den Tönen sind nicht alle, wenigstens nicht so ohne weiteres brauchbar. Die schädlichen Beimengungen derselben an Schwefelkies und Sand müssen vielmehr sorgsam bei der Aufbereitung ausgeschieden werden.

Außerdem finden auch noch andere entsprechende Materialien Verwendung, wie z. B. bituminöse Liasschiefer und verschiedene Grünsteine wie Diabas und Diorit.

Ferner werden in neuerer Zeit auch noch künstliche Stoffe verwertet, meist Abfallprodukte aus anderen Industriezweigen. So kann man aus dem Abfallprodukt des Eisen-Verhüttungs-Prozesses, der granulierten basischen Hochofenschlacke, einen ausgezeichneten Portlandzement erbrennen.

\* \* \*

Dr. Michaëlis war bei seiner Aufstellung des hydraulischen Moduls von der chemischen Zusammensetzung einer Reihe vorzüglichster Portlandzemente ausgegangen. Der Erfolg hat ihm darin Recht gegeben: der eingeschlagene

Weg war der richtige und führte darum auch zum Ziele. Wollte man dagegen den umgekehrten Weg machen und aus dem hydraulischen Modul beziehungsweise der chemischen Zusammensetzung den Rückschluß ziehen, daß gegebenenfalls ein vorzüglicher Portlandzement oder überhaupt nur Portlandzement vorliegen müsse, so wäre das sehr irrig. Portlandzement hat allerdings wohl eine spezifische chemische Zusammensetzung; aber aus ihr einen vorliegenden Zement zu charakterisieren, würde zu Trugschlüssen führen.

Man hat versucht, eine prägnante Begriffserklärung des Portlandzementes aufzustellen; es scheint aber, daß dabei einmal der Ursprung der Benennung und zweitens die charakteristischen Eigenschaften in diese Erklärung nicht genügend mit einbezogen sind.

So lautet die Begriffserklärung des Vereins deutscher Portlandzement-Fabrikanten:

„Portlandzement ist ein Produkt, entstanden durch innige Mischung von kalk- und tonhaltigen Materialien als wesentlichen Bestandteilen, darauf folgendem Brennen bis zur Sinterung und Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit.“

Diese Begriffserklärung ist natürlich im logischen Sinne nichts weniger als eine solche. Es fehlt darin der unbedingt erforderliche Hinweis auf die dem Produkte anhaftenden resp. charakteristischen Eigenschaften, welche in irgend einer Weise erkennbar sein sollen.

Eine wirkliche „Begriffserklärung“ hätte also den Zement etwa als eine trockene Lösung von der oder jener gut charakterisierten chemischen Zusammensetzung (Konstitution) zu bezeichnen, die unter Wasseraufnahme erstarrt und dabei einen raumbeständigen Körper von hoher Festigkeit bildet.

Leider aber ist unsere Kenntnis von der tatsächlichen „Konstitution“ des Portlandzementes so überaus dürftig, daß die Aufstellung einer logischen Begriffserklärung z. Z. völlig unmöglich erscheint. Wir werden uns also auch noch fernerhin mit jener Pseudo-Begriffserklärung behelfen müssen, die freilich nur eine technische Fabrikations-Erklärung und daher besser als „*Begriffsfassung*“ zu bezeichnen ist.

Diese Begriffsfassung ist an sich soweit durchaus richtig, nur erscheint sie in einigen Punkten nicht exakt genug resp. unvollständig. So müßte es beim Brennen heißen, „bis mindestens zur Sinterung gebrannt“, nachdem die Untersuchungen, besonders von Dr. Michaëlis, gelehrt haben, daß ein Ueberbrennen durch hohe Temperatur allein, sofern sie nicht allzu lange anhält, ausgeschlossen ist. Zweitens müßte, wie solches bereits z. B. in den österreichischen und russischen Normen geschehen, unbedingt das hydraulische Modul in die Begriffserklärung mit einbezogen werden. — Andernfalls könnte man doch Kalk und Ton beliebig mischen, brennen und mahlen und erhielte noch lange keinen Portlandzement.

Auf die ursprüngliche Herleitung der Bezeichnung als „Portlandzement“ hat, soviel Verf. weiß, nur Prof. Tetmajer Rücksicht genommen. Bei allen

in der Züricher Prüfungsanstalt zur Untersuchung kommenden Zementen ist für die Einrubrizierung als „Portlandzement“ einzig und allein die Farbe maßgebend. Zeigen die betreffenden Zemente dann auch die charakteristischen Mörtteleigenschaften des Portlandzementes, so werden sie unbedenklich als solche angesprochen. — Damit geht Tetmajer wohl etwas zu weit: er gibt denn auch selbst zu, daß die Farbe ja auch künstlich hergestellt werden könne. Auch wechselt dieselbe doch stärker, je nach der Zusammensetzung und dem Grade der Sinterung. Manganhaltige Zemente, sowie solche mit stärkerem Eisengehalt, sind viel dunkler gefärbt, ebenso die stärker gebrannten Zemente.

Es bleibt also als wesentlich von der ursprünglichen Namensgebung durch Aspdin eigentlich nur die „Haltbarkeit gleich der des Portlandstone!“

Und diese sollte man nicht bloß in einer Unterabteilung der Normen unterbringen, sondern gleich in die Begriffsfassung mit einschalten.

Die Begriffsfassung des Vereins deutscher Portlandzement-Fabrikanten sollte also in den vorstehenden drei Punkten ergänzt resp. verschärft werden. Sie würde alsdann etwa die folgende Fassung haben:

„Portlandzement ist ein Produkt, entstanden durch innige Mischung von feinstgemahlener kalk- und tonhaltigen Materialien als wesentlichen Bestandteilen, darauffolgendem Brennen bis mindestens zur Sinterung und Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit, in welchem das hydraulische Modul innerhalb der zulässigen Schwankungen bei 1·7—2·2 liegt und nur bei natürlichen Vorkommen bis 2·4 ansteigen darf. Dieses Produkt soll, für sich allein oder mit Sand und Kies zum Mörtel angemacht, in kurzer Zeit abbinden und infolge der darauf eintretenden Erhärtung sowohl im Wasser wie an der Luft eine hohe, stetig wachsende Festigkeit erreichen sowie in jeder Form der Verwendung durchaus volumbeständig sein.“

Diese Fassung enthält inhaltlich das wesentlich Erforderliche; als „Formel“ beansprucht sie keineswegs, eine mustergültige zu sein. Die Schwierigkeiten einer solchen sind nicht unbedeutend, so lange nicht mit absoluten Begriffen operiert werden kann. Denn ein Begriff wie „wesentlich“ ist doch immerhin ein recht dehnbarer. Verf. hat schon einmal darauf hingewiesen, daß es vielleicht zweckmäßig sein wird, dieses „wesentlich“ durch eine Mindestgrenze zu ersetzen, wie z. B. bei Metalllegierungen üblich ist. Rechnet man den zulässigen Maximalgehalt an Gips und Magnesia zu je 2 % resp. 5 %, so käme man damit schon auf einen solchen Minimalgehalt an kalk- und tonhaltigen Stoffen von etwa 93 %.

## 2. Die verschiedenen Fabrikationsmethoden.

### a. Berechnung der Rohmischung.

Bei der engen Begrenzung der einzelnen Bestandteile des Portlandzementes muß auf die künstliche Zusammensetzung derselben die größte Sorgfalt verwendet werden. Im wesentlichen kommt es darauf an, das Verhältnis von Kalk zu den Silikaten gemäß dem hydraulischen Modul richtig zu treffen. Man muß dazu die betreffenden Rohmaterialien genau analysieren und daraus die jeweilige Zusammensetzung derselben berechnen.

Wir setzen dazu ganz allgemein den Koeffizienten des hydraulischen Moduls =  $n$ ; d. h. also, im fertigen Zement soll der Gehalt an Kalk  $n$  mal so groß sein wie der an Gesamtsilikat.

Enthält nun der Ton  $T$  auf  $s$  Teile Silikat  $c$  Teile Aetzkalk, so benötigen letztere an Silikat  $\frac{c}{n}$  Teile, welche also von vornherein von den  $s$  Teilen Silikat in Abzug kommen. Die restierenden  $\left(s - \frac{c}{n}\right)$  Teile Silikat brauchen zu ihrer Sättigung  $n$  mal soviel, also  $n \left(s - \frac{c}{n}\right)$  Teile Aetzkalk.

Enthält weiter der Kalkstein  $K$  an Silikat  $s_1$  Teile und an Aetzkalk  $c_1$  Teile, so werden wieder erstere  $n \cdot s_1$  Teile von dem letzteren absorbieren, sodaß nur  $c_1 - n \cdot s_1$  Teile als frei verfügbar nachbleiben.

Im Ton und Kalkstein bleibt nun das Sättigungsverhältnis stets das gleiche. Da aber  $n \left(s - \frac{c}{n}\right)$  Teile Aetzkalk vom Ton beansprucht werden, so muß von dem Kalkstein so viel mehr genommen werden, bis diese Zahl erreicht ist, also:

$$n \left(s - \frac{c}{n}\right) : (c_1 - n \cdot s_1)$$

Daraus ergibt sich als einfache Formel:

$$\frac{K}{T} = \frac{n \left(s - \frac{c}{n}\right)}{c_1 - n \cdot s_1} = \frac{n \cdot s - c}{c_1 - n \cdot s_1}$$

Diese Formel, welche in dieser Fassung seines Wissens zuerst vom Verf. in der I. Auflage des vorliegenden Buches (S. 89—90) veröffentlicht wurde,

ist, um neuerdings auftretende gegenteilige Ansichten zu berichtigen, durchaus nicht neu, sondern findet sich bereits bei Hauenschild, Katechismus der Baumaterialien, II. Teil: Die Mörtelsubstanzen, auf S. 136—138.

Haben wir z. B. einerseits einen Kalkstein von 2% Silikat und 95% kohlen-saurem Kalk (= 53·2% Aetzkalk) und andererseits einen Ton von 79% Silikat und 15% kohlen-saurem Kalk (= 8·4% Aetzkalk), so ergibt sich unter Ansetzung des Hydromoduls = 2, folgende Berechnung:

$$\text{Kalkstein : Ton} = \frac{2 \times 79 - 8 \cdot 4}{53 \cdot 2 - 2 \times 2} = \frac{149 \cdot 9}{49 \cdot 2} = \text{ca. } 3 : 1.$$

Wir werden also in diesem Falle unsere Rohmischung aus 3 Gewichtsteilen Kalkstein und 1 Gewichtsteil Ton zusammensetzen. —

Die vorstehende Formel gibt unter allen Umständen durchaus exakte Resultate. Hat man es aber, wie z. B. im vorstehenden Falle mit einem Ton zu tun, welcher kohlen-sauren Kalk in etwas beträchtlicher Menge enthält, so kommt man auch wohl mit einer einfacheren Methode aus.

Während für die obige Methode chemisch-analytische Arbeiten in größerem Umfange nötig sind, kann man sich in abgekürzter Weise mit einer einfachen Bestimmung des kohlen-sauren Kalkes mittels eines Calcimeters (vergl. S. 59—68) begnügen. Natürlich darf hierbei nicht kohlen-saure Magnesia (oder auch wohl kohlen-saures Eisen) in größerer Menge vorhanden sein.

Wir haben also mittels des Calcimeters den Gehalt an kohlen-saurem Kalk im Kalkstein (wie oben) zu 95%, im Ton zu 15% ermittelt und wollen das Rohmehl auf 75% kohlen-sauren Kalk stellen.

Da haben wir diesen 75% gefordertem kohlen-sauren Kalk gegenüber im Kalkstein ein Plus von 20%, im Ton ein Minus von 60%. Wir haben daher an Kalkstein soviel mal mehr als Ton zu nehmen, daß der Minder-gehalt im Ton gerade gedeckt ist. Daraus ergibt sich als einfache Formel:

$$\begin{array}{ccc} 95 & & 60 \\ & \searrow & / \\ & 75 & \\ & / & \searrow \\ 15 & & 20 \end{array} \quad \text{d. h. Kalkstein : Ton} = \frac{60}{20} = 3 : 1.$$

Das abgekürzte Verfahren hat uns also zu genau dem gleichen Mischungs-verhältnis geführt wie die auf exakter chemischer Analyse aufgebaute Formel. —

Hat man die Mischung auf diese Weise festgestellt, so muß dieselbe weiter auf ihre Richtigkeit geprüft werden. Man nimmt dazu entweder eine Restbestimmung des Rohmehls vor und schließt aus dem gefundenen Gehalt an Silikat (ca. 20%) auf den kohlen-sauren resp. Aetzkalk, oder man bestimmt volumetrisch mittels Baur- oder Dietrich-Apparates die Kohlensäure bzw. den kohlen-sauren Kalk, oder man ermittelt schließlich denselben durch Titrieren mit Normal-Salzsäure. Von den genannten hat sich die volumetrische Bestimmung als die einfachste und bequemste weitaus am meisten eingebürgert.

Je nach der gewünschten und danach berechneten Zusammensetzung wird man dabei auf einen Gehalt von 74·5—77·7% kohlen-sauren Kalk kommen.

Ein höherer würde event. Treiben, ein niedrigerer würde Zerfallen veranlassen. Indessen sind, sofern man nicht in ganz kleinen Portionen direkt auf die Ziegelpresse arbeitet, Schwankungen innerhalb 3% zulässig, indem diese sich ziemlich ausgleichen.

Eine weitere Prüfung des Rohmehles besteht in einem Probebrande desselben, welcher dazu dient, die Eigenschaften des aus ihm erbrannten Zementes zu zeigen. — Zu diesem Zwecke läßt man sich einen Zylinder aus starkem Eisenblech anfertigen; innen füttert man ihn mit Schamottesteinen aus (auch den Deckel) und versieht ihn oben mit einem Abzugsrohr in einen Kamin. Der lichte Durchmesser eines solchen Ofens kann 25—30 cm, die Höhe über dem Roste, der aus losen Eisenstäben besteht, bis zum Abzuge etwa 50 cm betragen. Der Abzug ist zweckmäßig mit einem Schieber versehen, um den Luftzug regulieren zu können.

Man entzündet auf dem Roste ein Feuer aus Spänen und Holz und gibt eine Lage Koks auf, ca. 10 cm hoch. Ist alles in Glut, so wird die Koks-

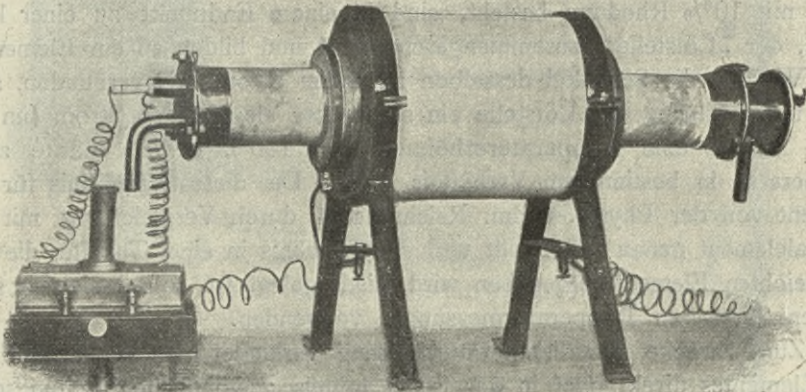


Fig. 61.

schicht um weitere 10 cm verstärkt und werden sofort die kleinen Probestücke von Hühnereigröße (also ca. 125 g schwer) aufgebracht; darauf kommt nochmals eine Deckschicht mit Koks. Bei größeren Mengen an Probematerial wechseln dann immer Koks und Probestücke; auf jeden Fall muß aber oben eine Deckschicht sein, damit auch die letzte, oberste Lage sich gut durchbrennt. Hat man die Mengen an Koks und Probestücken sowie den Zug im Ofen richtig bemessen, so wird der Brand bei nur einer Lage Probestücke ca. 2 Stunden dauern. Es ist für exakte Versuche daher gut, zuerst einen Tastversuch zu machen und danach die Verhältnisse für den eigentlichen Probe-

brand zu bemessen. Die erbrannten Klinkerstücke sind sorgfältig von der anhaftenden Schlacke zu befreien und können dann sofort weiter verarbeitet werden.

Im kleinen kann man sich für Probebrände auch der *elektrisch geheizten Laboratoriumsöfen* bedienen, wie solche z. B. von Heräus-Hanau hergestellt werden, und mit welchen sich in ganz kurzer Zeit Temperaturen bis zu  $1,500^{\circ}$  C. erreichen lassen (Fig. 61). Der jeweilig gewünschte Temperaturgrad läßt sich durch Variierung des Vorschaltwiderstandes sehr genau einstellen und beliebig lange erhalten.

Die Messung der Temperatur in einem solchen Ofen läßt sich in einfacher Weise mit Hilfe eines Holborn & Wien'schen Pyrometers äußerst exakt bewerkstelligen. So ist z. B. der Ofen in der nebenstehenden Abbildung (Fig. 61) mit diesem Pyrometer in Verbindung mit einem Galvanometer von Keiser & Schmidt ausgerüstet.

Auch die Temperatur in den gewöhnlichen Laboratoriumsöfen sowie überhaupt in den Brennöfen läßt sich mit diesen Pyrometern sehr zuverlässig ermitteln.

Das dem Pyrometer zu Grunde liegende Prinzip ist das folgende:

Zwei in der Regel 0.6 mm starke und 150 cm lange Drähte, von denen der eine aus absolut reinem Platin, der andere aus einer Legierung von solchem Platin mit 10% Rhodium besteht, sind in einem Endpunkt zu einer kleinen Kugel, der „Lötstelle“, zusammenschmolzen und bilden so ein Element.

Werden die Schenkel desselben zu einem Stromkreis verbunden, so entsteht bei Erhitzung der Lötstelle ein schwacher elektrischer Strom (im Mittel 0.001 V. für eine Temperaturerhöhung von  $100^{\circ}$ ), dessen Stärke zu der Temperatur in bestimmtem Verhältnis steht. Da dieses Verhältnis für jedes Element von der Physik.-techn. Reichsanstalt durch Vergleichung mit einem Normalelement genau festgestellt und das Ergebnis in einer Tabelle, die jedem so geeichten Element mitgegeben wird, niedergelegt ist, so läßt sich ein solches Element direkt zu Temperaturmessungen verwenden.

Zum Zwecke der Temperaturmessung verbindet man die beiden Enden des Elementes direkt oder in der Regel mittels gewöhnlichen Leitungsdrahtes mit einem geeigneten Galvanometer (Fig. 62) und bringt die Lötstelle an den Ort, dessen Temperatur gemessen werden soll. Durch Vergleichung der gefundenen elektromotorischen Kraft mit der Tabelle erfahren wir die Temperatur, die an der betreffenden Stelle herrscht. Die speziell für das Pyrometer konstruierten Galvanometer gestatten aber auch die direkte Ablesung der Temperatur, indem der Zeiger auf 2 Skalen spielt, deren eine die Mikrovolt, die andere die Temperaturgrade anzeigt.

Von nicht zu unterschätzendem Vorteil ist es, daß das Galvanometer in großer Entfernung von dem zu messenden Ofen aufgestellt werden kann, ohne daß die Genauigkeit der Messung im geringsten darunter leidet, indem die Verbindung zwischen Element und Galvanometer mittels gewöhnlichen Leitungsdrahtes hergestellt wird. Es ist nur darauf zu achten, daß der Widerstand in

der gesamten Leitung nicht viel mehr als 1 Ohm beträgt; bei einer Entfernung von 100 m zwischen Element und Galvanometer genügt hierfür Leitungsdraht (isolierter Kupferdraht) von 2 mm Durchmesser. Man kann hiernach mit einem Galvanometer, das beispielsweise auf einem Bureau Aufstellung findet, eine ganze Anzahl weit auseinanderliegender Oefen kontrollieren, indem man sie abwechselnd mit dem Galvanometer verbindet; die Anzeige des Instrumentes erfolgt momentan.

Die Genauigkeit dieses Pyrometers ist eine außerordentlich große; Prof. Holborn und Prof. Wien haben festgestellt, daß das Element die Temperaturen mit einem Fehler von nur  $\pm 5^{\circ}$  bei  $1000^{\circ}$  C. anzeigt.

Die Vorsichtsmaßregeln, welche zu beobachten sind, um einer Zerstörung der Elementdrähte während der Messungen vorzubeugen, sind dieselben, die

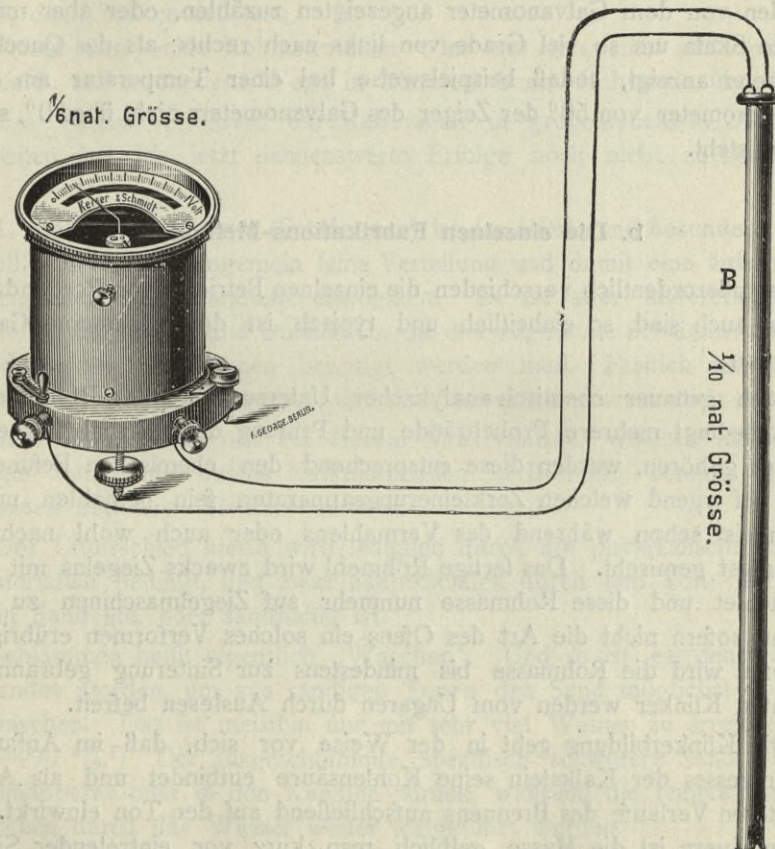


Fig. 62.

für Platin überhaupt gelten; dasselbe darf in glühendem Zustand nicht mit Substanzen in Berührung kommen, welche Verbindungen mit ihm eingehen und es dadurch unbrauchbar machen. In der Regel kommt deshalb das Element in Porzellanrohre montiert zur Anwendung und zwar ein engeres beiderseits offenes, welches die beiden Elementdrähte von einander isoliert, und ein



weiteres an einem Ende geschlossenes, welches das erstere umschließt und die Drähte vor der Einwirkung der Flammengase u. s. w. schützt.

Von der Königl. Porzellan-Manufaktur in Berlin werden Rohre aus einer besonders schwer schmelzbaren Porzellanmasse, „Marquart'sche Masse“ genannt, für diesen Zweck hergestellt, welche Temperaturen bis  $1600^{\circ}$  aushalten. Diese, wie auch gewöhnliche Porzellanrohre, werden auf Wunsch mitgeliefert.

Da die Angaben des Instrumentes nur für den Fall giltig sind, daß die Verbindungsstellen der Elemente mit den Leitungsdrähten in schmelzendem Eis liegen, also eine Temperatur von  $0^{\circ}$  C. haben, während die Außentemperaturen meist  $15-25^{\circ}$  betragen wird, so ist zunächst diese Außentemperatur an einem guten Quecksilberthermometer abzulesen, welches neben den Verbindungsstellen aufgehängt wird. Man kann dann entweder die Anzahl der Grade den von dem Galvanometer angezeigten zuzählen, oder aber man verrückt die Skala um so viel Grade von links nach rechts, als das Quecksilberthermometer anzeigt, sodaß beispielsweise bei einer Temperatur am Quecksilberthermometer von  $50^{\circ}$  der Zeiger des Galvanometers nicht über  $0^{\circ}$ , sondern über  $50^{\circ}$  steht.

#### **b. Die einzelnen Fabrikations-Methoden.**

So außerordentlich verschieden die einzelnen Betriebe von Portlandzement-Fabriken auch sind, so einheitlich und typisch ist der allgemeine Gang der Fabrikation.

Nach genauer chemisch-analytischer Untersuchung der Rohmaterialien, wozu unbedingt mehrere Probebrände und Prüfung des hierbei hergestellten Zementes gehören, werden diese entsprechend den chemischen Befunden gemengt, auf irgend welchen Zerkleinerungsapparaten fein gemahlen und entweder meist schon während des Vermahlens oder auch wohl nachträglich noch innigst gemischt. Das fertige Rohmehl wird zwecks Ziegeln mit Wasser angefeuchtet und diese Rohmasse nunmehr auf Ziegelmaschinen zu Steinen verformt, sofern nicht die Art des Ofens ein solches Verformen erübrigt. In den Oefen wird die Rohmasse bis mindestens zur Sinterung gebrannt. Die erbrannten Klinker werden vom Ungaren durch Auslesen befreit.

Die Klinkerbildung geht in der Weise vor sich, daß im Anfange des Brennprozesses der Kalkstein seine Kohlensäure entbindet und als Aetzkalk im weiteren Verlaufe des Brennens aufschließend auf den Ton einwirkt. Nach dem Entsäuern ist die Masse gelblich resp. kurz vor eintretender Sinterung bräunlich bis hellgrünlichgrau gefärbt. Während des Sinterns geht die Färbung in grünlich-schwarz über.

Das Brennen erfolgt bei einer Temperatur zwischen  $1350-1600^{\circ}$  C. Es soll in kürzester Zeit erfolgen und ebenso soll sofort nach erfolgter Sinterung die Abkühlung möglichst rasch und ausgiebig durchgeführt werden. Langsames Brennen, also allzulange „in Glut stehen“, sowie langsames Abkühlen

ist für die Qualität des erbrannten Zementes schädlich und verursacht zudem leicht ein Zerrieseln derartiger behandelter Klinker.

Die Klinker kommen zunächst noch erst ins Klinkerlager, um dort etwas abzulagern, und werden dann durch Zerkleinerungsmaschinen zu feinem Zementmehl vermahlen. Der fertige Zement wird nochmals im Silo abgelagert und ist damit zum Verpacken und Versand bereit.

Brennen und Klinkermahlen ist nahezu in allen Betrieben ziemlich gleichartig. Dagegen erfordert die Verschiedenheit der Rohmaterialien auch eine entsprechend verschiedenartige, individuelle Behandlung. Nach dieser Aufbereitung der Rohmaterialien unterscheidet man

1. das Naßverfahren (Schlämmen),
2. das Halbnaßverfahren,
3. das Trockenverfahren,

je nachdem man beide Rohmaterialien oder nur das eine schlämmen muß resp. beide auf trockenem Wege in Rohmehl bzw. Rohmasse überführt.

Ein viertes Verfahren, die Materialien in grubenfeuchtem Zustande zu verarbeiten, hat bis jetzt nennenswerte Erfolge noch nicht zu zeitigen vermocht.

1. Das *Naßverfahren* (Schlämmen) ist das älteste und besonders dadurch wertvoll, daß es eine ungemein feine Verteilung und damit eine äußerst innige Mischung aller Rohbestandteile ermöglicht. Es ist aber andererseits wieder kostspielig, zeitraubend und umfänglich, da das zugesetzte Schlämmwasser doch irgendwie vor dem Brennen beseitigt werden muß. Freilich hat hier der Drehofen sehr günstig eingesetzt und das Naßverfahren wesentlich vereinfacht.

Man unterscheidet nun bei diesem Naßverfahren, welches hauptsächlich für mittel und ganz weiche Kalkmaterialien in Betracht kommt, das *Dickschlämmen* und das *Dünnschlämmen*.

Der Unterschied hierin wird lediglich durch die physikalische Natur der Rohmaterialien bedingt, und zwar hauptsächlich durch den Ton, insofern er frei von Sand etc. oder sandhaltig ist.

Schlämmen heißt eigentlich „Waschen“. Und so ist es denn zunächst angewendet worden, um aus sandigen Tönen den Sand möglichst vollständig auszuwaschen. Das ist meisthin nur mit sehr viel Wasser zu erreichen, etwa mit 75—90 %<sup>1)</sup> Der ausgeschlämmte, spezifisch schwerere Sand bleibt im Schlämmaparat oder in den Kanälen zurück, während die feineren, leichteren Tonteilchen durch das Wasser weiter fortgeführt werden.

Ist kein oder doch nur sehr wenig Sand im Ton enthalten, so greift man zum Dickschlämmen, welches nur mit 36—43 %<sup>1)</sup> Wasser arbeitet.

Aber auch für Kreide ist nicht immer einunddasselbe Schlämmverfahren geeignet. Außer größeren Feuersteinen, die stets im Schlämmaparat nachbleiben und somit leicht auszuscheiden sind, enthält die Kreide vielfach noch

<sup>1)</sup> In Prozenten auf fertigen Schlamm gerechnet.

sogenannten „Kreidesand“. Dieser ist hochprozentig und enthält meist bis zu 97 % kohlensauen Kalk, ist also ein vollwertiges Material.

Beim Dünnschlämmen, Kreide zusammen mit Ton, würde dieser Kreidesand mit dem Quarzsand des Tones ausgeschlämmt werden und somit verloren gehen. Man darf also in solchem Falle nicht Kreide und Ton zusammenschlämmen. Vielmehr empfiehlt es sich, erst den Ton abzuschlämmen und die „Tonbrühe“ dann als Schlammwasser in die Kreideschlammerei einzuleiten. Freilich bleibt dann der Kreidesand wieder zurück. Aber das ist dadurch gutzumachen, daß man diese Kreidesand-Rückstände gesondert auf geeigneten Mahlapparaten feinmahlt und schließlich wieder dem ersten Ton-Kreide-Schlamm zuführt.

Beim Dickschlämmen, also sandfreiem Ton, aber Kreidesand führender Kreide, läßt man Kreide und Ton zusammen im selben Schlammapparat sich schlämmen und dann zusammen über die entsprechenden Mahlapparate gehen.

Die nasse Aufbereitung wird also dadurch vollzogen, daß man Ton und Kalkstein entweder gleich zusammen oder jedes für sich besonders in Schlamm-

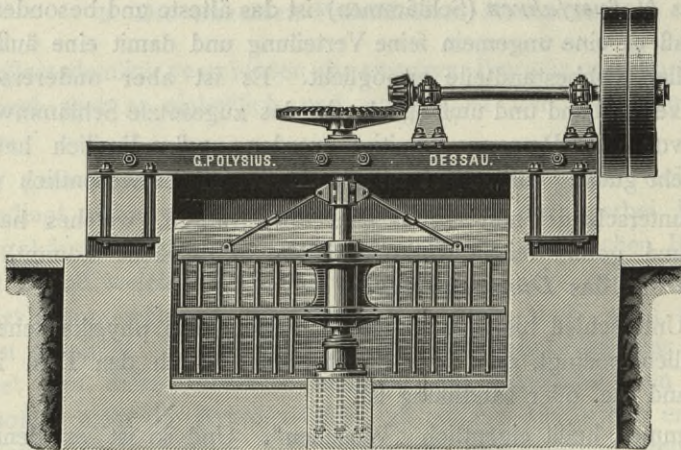


Fig. 63.

apparaten (Fig. 63) auflöst. Es sind das runde, meist gemauerte Bottiche, in denen ein Rührwerk rotiert, und in die man einen kontinuierlichen Strahl Wasser einfließen läßt. Das Rührwerk nimmt mit seinen Harken, Rechen und nachschleifenden schweren Ketten und Eisenstücken die Materialien teilweise mit und bewirkt durch Abschleifen und Zerreiben in Verbindung mit der Aufweichung durch das zufließende Wasser eine zwar nur allmähliche, aber dafür um so feinere Auflösung derselben. Die fertige Schlammmasse fließt durch ein enges Gitter oder grobes Sieb ab, während die unlöslichen Stücke zurückbleiben. Besonders in der Kreide, die gewöhnlich geschlämmt wird,

sind es die größeren Stücke von Feuerstein, welche diesen Rückstand bilden. Dieser muß natürlich von Zeit zu Zeit aus dem Schlämbottich entfernt werden. Da dieses aber mit Stillstehen des Apparates, also Zeitverlust verknüpft ist, so hat man versucht, die unlöslichen Rückstände automatisch zu entfernen. Solche Schlämmapparate mit selbsttätiger Ausscheidung der Rückstände (Fig. 64) baut als Spezialität B. Lüdicke-Werder a. H. Ein Becherwerk, mit besonderer Ein- und Ausrückung, nimmt je nach Bedarf die in der Mitte angesammelten Stücke in die Höhe und läßt sie über eine Schurre direkt in Wagen oder Karren fallen, mit denen sie auf die Halde gebracht werden. Diese Lüdickeschen Schlämmen haben sich ausgezeichnet bewährt.

Hat man übrigens nur reinen Feuerstein als Rückstand, so soll man diesen nicht fortwerfen, sondern von Zeit zu Zeit für sich abmahlen. Das Mehl

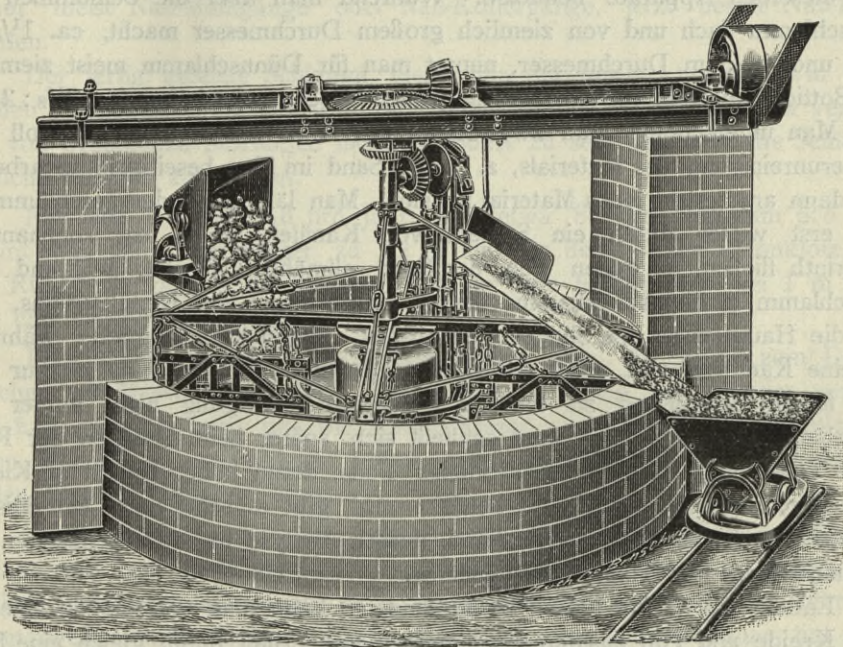


Fig. 64.

setzt man dann event. der Rohmischung zu, um den Gehalt derselben an Kieselsäure anzureichern.

Die Leistung solcher Schlämmapparate ist eine ganz enorme, hängt aber natürlich von der Härte der zu schlämmenden Materialien ab. Verf. hat z. B. mit zweien derselben von 4 m Durchmesser (Fig. 63), per Tag über 120 000 kg Schlamm mit 36 % Wasser fertiggestellt, ohne die Grenze der Leistungsfähigkeit auch nur annähernd zu erreichen. Drei Schlämmapparate von 4 m Durchmesser bewältigen vollkommen eine Jahresproduktion von 200 000 Faß. Ihre Tourenzahl beträgt 12 in der Minute, der Kraftaufwand ca. 7 Pferdestärken.

Eine eigentliche Vorzerkleinerung ist meist unnötig; es genügt, die größten Stücke mit einem Hammer zu zerschlagen. Auch ist zuweilen die Beschaffenheit des Rohmaterials selbst einer Vorzerkleinerung hinderlich: Verf. hat z. B. bei ziemlich harter Kreide (mit 20 % Wasser) mit Brechschnecken ohne jeglichen Erfolg gearbeitet; dieselben waren in wenigen Minuten vollständig verschmiert. Auch ein weiterer Wasserzufluß konnte einen Durchgang des Materials durch die Brechschnecken in keiner Weise bewirken. Eher könnte man dazu Steinbrecher mit breiten Backen und weit gestelltem Schlitz verwenden. Am besten aber nimmt man das Rührwerk selbst recht kräftig.

Die obigen Angaben beziehen sich, wie auch aus dem Gesagten leicht ersichtlich, auf Dickschlamm. Will man Dünnschlamm erzeugen, so kann man dieselben Apparate benutzen. Während man aber die Schlämmen für Dickschlamm flach und von ziemlich großem Durchmesser macht, ca.  $1\frac{1}{4}$  m Tiefe und 4—5 m Durchmesser, nimmt man für Dünnschlamm meist ziemlich tiefe Bottiche, die aber nur einen mäßig großen Durchmesser haben (ca.  $2\frac{1}{2}$  : 2 m).

Man unterscheidet nun zwei Arten des Schlämmens. Die eine soll nur die Verunreinigung des Materials, z. B. den Sand im Ton beseitigen, verarbeitet also dann am besten jedes Material für sich. Man läßt dann den geschlammten Ton erst weiter durch ein System von Kanälen, z. B. ein sogenanntes Labyrinth fließen, in denen sich der Sand allmählich absetzt, während der Tonschlamm in die Absatzbassins fließt. Den Anfang des Kanalsystems, wo also die Hauptmasse des Sandes sich absetzt, nimmt man doppelt: während der eine Kanal arbeitet, wird der andere gereinigt. — Hat man es nur mit ganz feinem Schluffsand zu tun, so ist dessen Beseitigung nicht immer erforderlich. Derartig feiner Sand schließt sich später beim Brennen der Rohmasse vollständig im Feuer auf. Solcher Tone, deren hoher Gehalt an Kieselsäure durch feinsten Schluffsand bewirkt wird, gibt es sehr viele: ein Beispiel davon ist auch der Ton aus Rußland, dessen Analyse bei der chemischen Zusammensetzung der Tone verzeichnet ist.

Enthält die Kreide keinen Kreidesand, so kann man natürlich in solchem Falle Kreide und Ton zusammenschlämmen und erhält damit gleich eine Rohmasse von richtiger und nahezu gleichmäßiger Zusammensetzung.

Diese andere Art des Schlämmens ist die eigentliche Aufbereitung und verarbeitet beide Materialien gleichzeitig. Dieselben werden direkt aus der Karre in den Schlämbottich gestürzt und in ihm bei Dickschlämmerei zu einem noch eben fließenden Brei aufgelöst, der durch das Abflußgitter in die Elevatorgrube gelangt. Aus dieser wird er durch ein Becherwerk in ein Sammelbassin über den Mahlapparaten gehoben. — Es mag noch besonders betont werden, daß man das Abflußgitter im Schlämbottich nicht zu niedrig anbringt und ferner dem Abflußkanal zu der Elevatorgrube genügenden Fall gibt, sowie schließlich, daß man den Zufluß des Wassers in den Schlämbottich genau reguliert. Man schlämmt am besten mit 36 % Wasser: einen steiferen Schlamm würden die Pumpen nicht bewältigen, und ein flüssigerer

würde unnötig schwer zu trocknen sein. Ein Liter Schlamm von 36 % Wasser wiegt ca. 1690 g; die Prüfung auf den Wassergehalt hat wiederholt am Tage im Laboratorium des Werkes zu erfolgen.

Das Sammelbassin, welches sein Abflußrohr zu den Naß-Mahlapparaten hat, soll nicht zu klein bemessen sein, um nicht von den häufiger vorkommenden Störungen des Naßelevators abhängig zu sein. Für eine Produktion von 330 Faß per Tag, bei der die zu verarbeitenden 140 000 kg Schlamm von 36% Wasser etwa 84 cbm ausmachen, muß das Sammelbassin mindestens 10 cbm fassen können. Es muß ferner mit einem Ueberlaufsrohr versehen sein, um beim Ausschalten der Mahlapparate nicht auch das Becherwerk still stellen zu müssen, wodurch dasselbe leicht eintrocknet.

Aus dem Sammelbassin gelangt der Schlamm auf die Mahlapparate: früher meist Naß-Mahlgänge oder Naß-Kollergänge, jetzt besser Naß-Rohrmühlen.

Der fertig gefeinte Schlamm fließt nun am besten nochmals in einen großen Homogenisierungsapparat, der wenigstens 100 cbm zu fassen vermag, um von eventuellen Störungen nicht behindert zu sein und z. B. die Schlämmbottiche reinigen zu können.

Für jede 100 000 Faß pro Jahr, also etwa 84 cbm Schlamm pro Tag, nimmt man den Durchmesser zu 12 m und für den inneren Betonklotz, der das Rührwerk trägt, 4 m: das gibt 100 qm freie Fläche resp. bei 1 m Höhe 100 cbm verfügbaren Raum.

Das Rührwerk kann hier leichter gebaut sein, da es nur zum Durchmischen der Masse dienen soll. Die Rührarme sollen zu einander verstellt und halb gekröpft sein, um die Masse besser zu verteilen. Auch sollen sie unten eine Kette nachschleifen lassen, um zu verhindern, daß sich auf dem Boden dickerer Schlamm absetzt.

Ferner soll der Schlamm einen möglichst weiten Weg im Apparat machen, um gut durchgemischt zu werden. Man erreicht das, indem man Einfluß- und Ausfluß-Oeffnung dicht neben einander legt und das Rührwerk in entgegengesetzter Richtung laufen läßt. An der Ausflußöffnung hat man übrigens die Tages-Kontrolproben zur Untersuchung im Laboratorium zu entnehmen.

Den Dickschlamm bringt man nun am besten direkt auf den Drehofen, welcher gerade Schlamm von ca. 37—43 % Wasser am besten zu verarbeiten vermag. Hat man solche nicht zur Verfügung, so muß der Schlamm soweit eingetrocknet (ingedickt) werden, daß er eine streichgerechte Masse bildet und sich zur Verformung auf der Strangpresse eignet.

Die Beförderung des Schlammes zum Ofen oder event. zu einem Trockenapparat erfolgt zweckmäßig mittels Plungerplumpe durch die entsprechenden Rohrleitungen. —

Hat man es mit Dünnschlamm zu tun, so wird dieser zunächst in große Absitzbassins geleitet, um hier den größten Teil des Schlämmwassers durch

freiwillige Verdunstung desselben an der Luft zu entfernen. Hierin liegt eine große Unbequemlichkeit für den Betrieb. Denn das Verdunsten des Wassers geht unter Umständen sehr langsam vor sich und erfordert je nach der Jahreszeit und der vorherrschenden Witterung bis zu einem halben Jahre Zeit. Auch gelingt es kaum, die Masse in den Bassins so weit abzutrocknen, daß sie direkt streichfähig ist. Die Absitzbassins einer solchen Zementfabrik nehmen zudem einen ganz bedeutenden Umfang des Terrains ein, da sie naturgemäß nicht allzutief, also nicht mehr als etwa  $1\frac{1}{2}$  m, gehalten werden dürfen. Da ferner die Rohmasse, der Schlamm, sehr lange in ihnen liegt, so bedeutet das eine bedeutende Kapitalsanlage, die zinslos in diesem Schlamm angelegt ist.

Der Betrieb der Absitzbassins erfolgt dergestalt, daß sie bis zum Rande vollgeschlämmt werden. Dann läßt man die Masse sich absetzen, zieht das überstehende Wasser ab und schlämmt neue Masse auf, bis das Bassin voll ist. Hiernach erst kann das Verdunsten des Schlämmwassers anfangen. Natürlich setzen sich die einzelnen Bestandteile des Schlammes je nach ihrem spezifischen Gewicht, also nicht ganz gleichmäßig ab. Indessen ist das bei sonst korrekter Zusammensetzung der Masse nicht allzubedenklich, da der eingedickte Schlamm, der horizontal aufgegeben war, später vertikal abgestochen wird. Auch kann ein guter Mischapparat dann noch die letzten Ungleichmäßigkeiten nahezu vollständig beheben.

In den Absitzbassins trocknet der Schlamm meist bis zu einem Wassergehalt von 40—45 %, zuweilen auch noch weiter bis zu 25 % herunter.

Im ersteren Falle bildet der Schlamm eine teigartige Masse, die aber, in Bewegung gebracht, wieder flüssig wird.

Will man die Masse nicht allzulange in den Absitzbassins liegen lassen, so hört man mit dem freiwilligen Verdunsten des Wassers auf, bis ein Wassergehalt von etwa 40 % erreicht ist. Solchen Schlamm kann man dann sofort dem Drehofen zuführen. Verfügt man dagegen nicht über diesen für das Naßverfahren nahezu unentbehrlich gewordenen Brennapparat, so muß man die weitere Austrocknung des Schlammes bis zur streichgerechten Masse von etwa 19—22 % Wassergehalt künstlich vornehmen.

Auch diese weitere beschleunigte Austrocknung hat man zunächst der Natur überlassen, indem man den Schlammteig in Patzen abstach und diese an der Luft auf Hürden, Trockengerüsten etc. weiter trocknete. Aber das erforderte viel Handarbeit bei starkem Verlust an Masse.

Man ging dann dazu über, dem Schlamm durch sogenannte Filterpressen einen Teil des noch anhaftenden Wassers zu entziehen. Aber deren Leistung war gegenüber dem Kostenaufwande nicht genügend ausreichend. Eine derartige Filterpresse nimmt nur Schlamm für ca. 10—12 Faß Zement auf und wird in der Doppelschicht etwa 9—10 Mal gefüllt, sodaß die Durchschnittstagesleistung nur etwa 100 Faß beträgt.

Als künstlicher Trockenapparat kam dann die Plandarre auf. Eine solche Darre ist so konstruiert, daß sie zur selben Zeit eine doppelte Beschickung

ermöglicht. Auf die eigentlichen Trockenkanäle, die  $\frac{3}{4}$  m breit und 15 m lang sind, werden eiserne Falzplatten gelegt und auf diese nochmals Schlamm aufgebracht. Die Höhe desselben kann oben wie unten 25—30 cm betragen. — Je vier Kanäle haben einen gemeinsamen Feuerrost, arbeiten also zusammen, so daß man beliebig viele Abteilungen resp. die einen stärker oder schwächer als die andern feuern kann. Durch die doppelte Beschickung erreicht man eine gute Ausnutzung des Raumes und des Brennmaterials. Auch arbeitet man ziemlich rasch: meist schon nach 48 Stunden ist der Schlamm zum größten Teil zu einer festen Masse eingetrocknet, wird dann losgebroschen und direkt in den Ofen gebracht.

Immerhin ist mit dem recht beträchtlichen Verbrauch an Kohle zu rechnen, was bei einer größeren Produktion doch ins Gewicht fällt. Unter Umständen empfiehlt es sich also, beide Systeme zu vereinigen, indem man nur einen Teil darbt und diesen dann mit nassem Schlamm in solchem Verhältnis mischt, daß man eine ziegelgerechte Masse gewinnt. Aber der Vorteil der Ersparnis an Kohle wird doch zum Teil auch wieder dadurch aufgehoben, daß man eben die Masse dann wieder ziegeln und trocknen lassen muß, ehe sie in den Ofen gelangen kann.

Das kombinierte Verfahren, den Schlamm nur teilweise ganz auszutrocknen und damit den übrigen Teil zur streichgerechten Masse einzudicken, ist jedenfalls nicht von der Hand zu weisen und arbeitet ganz rationell, sofern man sich nur zum Austrocknen des Schlammes eines geeigneten Apparates bedient. Ein solcher bietet sich uns in den sogenannten Trockentrommeln, wie solche noch später beim Trockenverfahren näher beschrieben sind.

Das kombinierte Verfahren ist z. B. mit einer Möller-Pfeifer'schen Trockentrommel mit gutem Erfolge auf einem großen französischen Werk eingeführt resp. noch weiter ausgebildet. Es besteht darin, daß die aus der Trommel kommenden trocknen Stücke (von kugeligem Gestalt) durch ein Sieb geschieden werden. Die größeren Stücke gelangen, ebenso wie bei der obigen Plandarre, direkt in den Brennofen, also auch unter Ersparnis der Ziegelkosten. Die kleineren Stücke, welche den Zug im Ofen hemmen würden, gelangen zur Schlammgrube zurück. Dort ziehen die noch warmen Brocken sehr rasch Wasser an, umhüllen sich dabei mit einer neuen Schicht Schlamm und passieren abermals die Trommel, um nunmehr auch ihrerseits in genügender Größe herauszukommen.

Das vollständige Austrocknen erfordert aber viel Brennmaterial. Es ist schon sehr lange bekannt, daß, während die Hauptmenge des Wassers sehr leicht beseitigt werden kann, die Verdampfungsziffer für den letzten Teil des Wassers eine recht ungünstige ist. Man wird also das kombinierte Verfahren vorteilhafter derart ausführen, daß man nicht vollständig austrocknet, also nur bis etwa 10 % herunter, und dann mit dieser halbtrocknen Masse den übrigen Schlamm eindickt.

Das hat den Verf. zu folgenden Erwägungen geführt. An irgend einer Stelle im Drehofen muß der Schlamm einen Wassergehalt haben, welcher



einer streichgerechten Masse entspricht, also ca. 20 ‰. Es liegt daher nahe, die Trocknung in der Trockentrommel nur soweit durchzuführen, daß die aus der Trommel herauskommende Masse etwa noch gegen 20 ‰ Wasser enthält, also gerade streichgerecht ist. Eventuelle Ungleichmäßigkeiten kann man durch ein Walzwerk ausgleichen. Versuche in der Praxis haben freilich diese Erwägungen zunächst erst zum Teil bestätigt.

Haben wir dann einen Schlamm von 40 ‰ Wassergehalt zu trocknen, so werden die ersten 20 ‰ Wasser sich leicht und mit geringem Brennstoffaufwande entfernen lassen. Natürlich muß aber in diesem Falle auch der gesamte Schlamm in derartiger Weise eingedickt werden.

Der bis auf etwa 20 ‰ Wassergehalt eingedickte Schlamm wird auf einer Strangfalzpresse geziegelt. Das Trocknen der Ziegel, ihr Brennen im Ofen sowie das Vermahlen der Klinker erfolgt des weiteren genau in der gleichen Weise wie beim Trockenverfahren.

\* \* \*

2. Zwischen dem vorbeschriebenen Naßverfahren und dem noch folgenden Trockenverfahren steht das *Halbnaßverfahren*. Es besteht darin, daß nur eines der Rohmaterialien naß aufbereitet, d. h. geschlämmt wird. Meist ist das der Ton, der hierdurch gewöhnlich von beigemengtem Sande befreit werden soll. Die Tonbrühe wird dann dem trocken gemahlene Kalkstein als Anfeuchtewasser zugeführt, ähnlich wie sie ja auch beim Naßverfahren der Kreide, wie vordem auseinandergesetzt ist, als Schlämmwasser zugeleitet wird. Das ist in den meisten Fällen ohne weiteres möglich, da doch der Ton meist nur  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{5}$  der ganzen Rohmasse ausmacht, so daß nicht allzuviel Wasser in diese hineingelangt. Freilich wird das noch immer so viel sein, daß das Ziegeln beim Halbnaßverfahren ebenso wie beim Naßverfahren auf einer Strangpresse zu erfolgen hat. Das bedeutet nur eine ganz geringe Verteuerung des Ziegels, der zudem eine höhere Festigkeit der Rohziegel gegenübersteht.

\* \* \*

3. Das *Trockenverfahren*, welches weitaus am meisten eingeführt ist, arbeitet in großen Zügen etwa in der folgenden Weise.

Zunächst werden die großen Stücke, wie sie aus dem Bruche kommen, also noch grubenfeucht, gröblich vorgebrochen, etwa auf Nuß- bis höchstens Eiggröße, besser sogar noch etwas kleiner. Das geschieht aus dem Grunde, um den Materialien für das nachfolgende Trocknen eine möglichst annähernd gleiche Korngröße zu geben. Wollte man groß- und kleinstückiges Material zusammen trocknen, so wäre das außerordentlich unrationell. Denn entweder sind die großen Stücke nicht bis in den Kern, also nicht genügend ausgetrocknet, verschmieren dann später die Mahlapparate und vermindern damit deren quantitative Leistung ganz bedeutend. Oder aber die Trocknung der

großen Stücke ist eine bis in das Innere hinein hinreichende. Dann wird wieder auf die kleinen Stückchen unnötig viel Wärme aufgewendet: also Verschwendung von Brennmaterial!

Wir brechen also zunächst, etwa auf Steinbrecher, Brechschnecke, Walzwerk oder Koller, vor und trocknen dann, vorläufig ohne Rücksicht darauf, ob wir beide Materialien getrennt oder gleich zusammen aufgeben. Meist wird das Vereinigen beider Materialien, Kalkstein und Ton, vorteilhaft erst nach dem Trocknen erfolgen, weil der sehr ungleiche Feuchtigkeitsgrad dieser Materialien ein rationelles Trocknen unmöglich machen würde. Der Kalkstein wäre eben viel rascher trocken als der Ton: also auch hier Verschwendung von Trockenkohle!

Die Materialien werden zudem besser erst nach dem Trocknen zusammengegeben, weil sie trocken genauer abgewogen werden können, als wenn man mit der stets schwankenden Grubenfeuchtigkeit zu rechnen hätte. Und das exakte Abwägen der Materialien ist eine unbedingte Notwendigkeit, will man die spezifisch beste Qualität an Zement aus den Materialien herausholen.

Die sorgsam abgewogenen Materialien gehen dann nunmehr meist vereint weiter in den Fabrikationsprozeß hinein, sofern nicht eine allzu große Differenz in der Härte und damit in der Vermahlfähigkeit der betreffenden Materialien besteht. Diese weitere Vermahlung des Rohgemenges oder der einzelnen Materialien für sich charakterisiert sich als ein Vorschroten zu Gries und ein schließliches Feinmahlen zu feinem Mehl: Rohmehl.

Auf diesem Wege werden die vereinigten Materialien meist schon recht gut miteinander gemischt und zwar um so inniger, je feiner die Mahlung ist. Denn innigste Mischung verlangt als unerläßliche Vorbedingung Schaffung kleinster Teilchen, feinsten Korngröße, d. h. feinste Mahlung.

Hat man indessen beide Materialien, z. B. Schlacke (als Ersatz von Ton) und Kalkstein, getrennt vermahlen, so müssen sie nach erfolgtem Feinmahlen erst exakt als Mehl abgewogen resp. abgeteilt und dann durch einen geeigneten Mischapparat nachdrücklichst und innigst mit einander gemischt werden.

Diese auf die eine oder andere Weise hergestellte innige Mischung der feinst gemahlten Rohmaterialien bildet das *Rohmehl* oder die *Rohmischung*.

Das Rohmehl kann man nun nicht immer direkt dem Brennprozeß übergeben. Es würde als Pulver sofort den ganzen Ofen zusetzen und den Zug darin abschneiden. Man muß also meistens das Rohmehl erst in eine geeignete Form bringen, um diesen Uebelstand zu vermeiden. Nur völlig ausgetrocknete Schlammmasse oder der Drehofen ermöglichen die direkte Eingabe des event. etwas angefeuchteten Rohmehles in den Ofen.

Andernfalls wird das Rohmehl erst geziegelt. Man benetzt zu diesem Zwecke das Rohmehl je nach Wahl der Ziegelpresse und des Ofens mit mehr oder weniger Wasser und erhält dadurch die sogenannte *Rohmasse*. Diese Rohmasse bringt man in die *Ziegelpresse*, Strangpresse oder Trocken-

pressen irgend welcher Art, und verformt sie gewöhnlich zu Steinen von dem üblichen Normalformat. Auf Form und Gestalt dieser Ziegel kommt es beim *Zementrohstein* nicht an, vielmehr wesentlich auf große Haltbarkeit, da der Zementziegel im Gegensatz zum Backsteinziegel (Tonziegel) meist einen etwas angreifenden Gang durch den Ofen zu machen hat.

Die Zementrohsteine werden ebenfalls wieder nicht gleich in den Ofen gebracht, sondern gewöhnlich vorher getrocknet. Als Trockenapparat hierfür haben sich mit bestem Erfolge die *Trockenkanäle* eingeführt.

Erst jetzt gelangen die getrockneten oder anderweitig gehärteten Zementrohsteine in den *Ofen*. Für das zu wählende Ofensystem ist einerseits die chemische und physikalische Beschaffenheit der Rohmaterialien und andererseits die Art des billigst zur Verfügung stehenden Brennmaterials maßgebend. So brennt man im Etagenofen mit Kohle, im Schneiderofen, einem Ofensystem mit kurzer Flamme, mit Koks, im Ringofen oftmals gemischt mit Kohle und Koks, entsprechend der Sinterfähigkeit des Rohmaterials.

Der gebrannte Zementstein heißt *Klinker*. Diese grünlich-schwarzen Klinker kommen zunächst in das Klinkerlager, um daselbst unter dem Einfluß der Atmosphären einen Trockenlöschprozeß durchzumachen.

Hiernach werden sie zur *Zementmühle* gebracht und auf ähnlichen Zerkleinerungsmaschinen wie das Rohmaterial zu feinem Zementmehl vermahlen. Der fertige Zement lagert schließlich nochmals im *Silo* ab und ist dann zum *Verpacken* und zum *Versand* bereit. —

Dieser typische Gang der Zementfabrikation ist natürlich entsprechend der außerordentlichen Verschiedenheit der Rohmaterialien genau zu individualisieren und jedem Rohmaterial exakt anzupassen. Wir werden darüber noch einige Ausführungen in dem Kapitel über Entwerfen von Zementfabriken zu machen haben. Ebenso finden sich die für alle Zementfabriken notwendigen Nebenapparate gleichfalls in einem besonderen Abschnitte vereinigt.

Nachdem somit im Vorstehenden der Werdegang des Portlandzementes skizziert ist, sollen die zusammengehörigen Apparate in einzelne Kapitel zusammengefaßt werden, so z.B. die Mahlapparate der Rohmehl- und Zementmühle, um ein einheitlich geschlossenes Bild dieser maschinellen Einrichtungen zu geben und unnötige Wiederholungen zu vermeiden.

### 3. Die Trockenapparate für die Rohmaterialien.

Um Rohmaterial rationell trocknen zu können, ist es, wie bereits ausgeführt, notwendig, dasselbe auf annähernd gleiche Korngröße zu bringen. Wir wollen annehmen, daß dieser Grundbedingung mit Hilfe eines Steinbrechers, Walzwerkes oder Kollerganges genügt ist, und wollen nunmehr die einzelnen Trockeneinrichtungen besprechen.

Hierbei erscheint es erforderlich, auch diejenigen Apparate zu erwähnen, welche früher in Gebrauch waren und auf älteren Werken auch wohl heute noch in Gebrauch sind.

a) Es ist hierfür zunächst der *Trockenofen* zu nennen. Derselbe ist meist in der Art eines Kalkschachtofens mit Planrostfeuerung ausgeführt. Das Material, fast ausschließlich Kalkstein, wird auf der Gicht in die Eingabeöffnung der auf den Ofen aufgesetzten Tute eingebracht und sinkt langsam im Ofen herunter. Die Heizgase, meist von einer Planrostfeuerung, durchstreichen den Ofen in entgegengesetzter Richtung von unten nach oben, geben ihre Wärme an die ihnen entgegenkommenden Kalksteinstücke ab und bewirken dadurch deren Austrocknung. Ein solcher Trockenofen arbeitet natürlich wenig vorteilhaft. Er erscheint in der Anlage wohl billig, ist es aber durchaus nicht, da seine Höhe nur mäßig sein darf, sodaß viele solcher Oefen nötig sein würden. Wollte man den Ofen hoch bauen, so würde die im unteren Teile verdampfte Grubenfeuchtigkeit durch die im oberen Teile frisch aufgegebenen kalten und feuchten Kalksteine immer wieder und wieder niedergeschlagen werden. Der obere Teil des Ofens wäre also der allerschönste Oberflächenkondensator. Wollte man andererseits diesen Fehler durch stärkeres Befeuern des Ofens beheben, so würde das zunächst eine Brennmaterial-Verschwendung bedeuten. Dann aber liefen die Kalksteine auch Gefahr, in der heißesten Zone des Ofens zum Teil ihre Kohlensäure zu verlieren, und damit wäre die Kontrolle der Rohmischung im Fabrikslaboratorium unmöglich gemacht. Eine ganz gut funktionierende Konstruktion eines solchen Ofens ist die von Smidth-Kopenhagen, der den Ofen mit Preßluft betreibt.

b) Ein zweiter Trockenapparat ist die *Darre*. Diese arbeitet selten mit eigenen Heizanlagen, entlehnt vielmehr ihre Hitze zum Trocknen meist anderen Apparaten. So sind auf manchen Fabriken *Koksdarren* eingerichtet, die also

eine doppelte Arbeit zu verrichten haben. Einmal liefern sie den zum Brennen in den Oefen benötigten Koks, und zweitens geben sie ihre Abhitze zum Erwärmen der Darrofläche her, auf der Kalkstein und Ton zum Trocknen ausgebreitet werden. Der Abzug des eigentlichen Koksofens teilt sich in 3 bis 4 Kanäle, die Füchse, die parallel neben einander herlaufen und am Ende wieder in einen gemeinsamen Querkanal, den Rauchsammler, einmünden, der sämtliche Kanäle aufnimmt und selbst wieder seinen Abzug in einen Schornstein hat. Jeder Längskanal hat einen kleinen Schieber, um den Luftzug regulieren zu können resp. den Kanal ganz zu schließen, falls der betreffende Koksofen außer Betrieb kommt.

In anderen Fällen behilft man sich mit dem Abdampf der Maschine oder entnimmt Dampf wohl gar auch direkt aus dem Kessel. Aeltere Maschinen z. B., die noch ohne Kondensation arbeiten, liefern ihren Abdampf entweder zum Vorwärmen des Kesselspeisewassers oder eben zum Heizen der Darroflächen. Auch auf Werken, die in wasserarmer Gegend liegen, also trotz größeren Kohlenaufwandes ohne Kondensation arbeiten müssen, wird der Abdampf der Maschine vorteilhaft zum Trocknen benutzt. Ob es aber vorteilhaft ist, direkt mit Dampf aus dem Kessel zu arbeiten, statt eine besondere Heizvorrichtung für die Darre anzulegen, z. B. mit Halbgasfeuerung, ist immerhin fraglich. Befindet man sich nicht in der Zwangslage der Wasserarmut, so muß eine sehr genaue Kalkulation der beiderseitigen Kosten aufgestellt werden, was vorteilhafter und billiger arbeitet. Beim Heizen mit Dampf entfällt allerdings zum guten Teil der Arbeitslohn für die Heizer.

Daß die abziehende Hitze aus fertig gebrannten Ringofenkammern genügt, ist wohl ausgeschlossen.

Beim Schachtofen streicht die Wärme direkt durch das zu trocknende Material, bei der Darre muß sie erst den Belag erwärmen, und naturgemäß wird auch das hintere Ende der Darre weniger gut zu trocknen vermögen. Letzteres gleicht man freilich dadurch aus, daß man das feuchtere Material, gewöhnlich also den Ton, auf der Vorderdarre, das weniger feuchte, den Kalkstein, auf der Hinterdarre trocknet.

Als Bodenbelag für die Darre wählt man zweckmäßig gußeiserne Platten, die mit einem Falz versehen sind, um einen dichten Verschuß zu erzielen. Eine sehr originelle und praktische Abdichtung erreicht man auch, indem man den umgebogenen Rand der Platte in Asphalt verlegt: dieses ist infolge der Hitze stets weich und bildet so eine Art von „Wasserverschuß“.

Die abgekühlten Dämpfe kondensiert man in einem Berieselungsapparat zu Wasser, das, weil ohne feste Bestandteile, als wertvolles Kesselspeisewasser wieder von neuem verwendet wird, so daß man mit recht wenig Wasser auszukommen vermag.

Alle Darren, gleichviel ob durch Koksöfen, Abdampf oder sonstwie erwärmt, lassen die heißen Gase oder Dämpfe in einem System paralleler Kanäle unter der Darre hindurchströmen: man richtet dieselben so ein, daß man

durch Verschuß einen Teil ganz abstellen kann oder je nach Bedarf stärker oder schwächer zu befeuern vermag.

Die festen Darren haben den Nachteil, daß das auf ihnen aufgeschüttete Material ein- oder zweimal gewendet werden muß, um rasch und durchgehendst zu trocknen; sie stehen also in dieser Hinsicht durch erhöhten Arbeitslohn den Trockenöfen nach. Auch gibt es manche Materialien, die ihr Wasser so hartnäckig festhalten, daß es fast unmöglich ist, sie auf festen Darren zu trocknen. Man darf nämlich nicht vergessen, daß diese nicht allzu stark befeuert werden dürfen, wenn nicht die gußeisernen Platten darunter leiden sollen oder gar dadurch, daß sie sich verziehen, überhaupt jede Dichtung unmöglich machen. Man konstruiert ja schon allein aus diesem Grunde bei festen Darren mit eigenen Heizanlagen die Vorderdarre, welche die stärkste Glut aushalten muß, gewöhnlich aus feuerfesten Steinen.

Aber auch die Darre ist nur ein kümmerlicher und teurer Notbehelf, der zudem nicht einmal für alle Materialien genügt.

c) Verschiedene Materialien, in erster Linie z. B. viele granulierten Hochofenschlacken, verlangen besonders zum Austrocknen der letzten Reste Wasser eine ziemlich beträchtliche Hitze. Manche Schlacken lassen sogar am Schlusse des Trockenprozesses ein gelindes Rösten wünschenswert erscheinen, da solche Schlacken sich leichter vermahlen. Für Schlackentrocknung speziell haben Gebr. Pfeiffer-Kaiserslautern wie auch die Adelenhütte sogenannte *Trockenschüsseln* konstruiert. Dieselben bestehen aus 5—6 übereinander gestellten, eisernen Schüsseln. Das Material wird oben aufgegeben und sinkt beim Abziehen langsam aber stetig nach unten, ist also ständig in Bewegung. Die Erwärmung dieser Schüsseln erfolgt durch Koksfeuer auf einem besonderen Rost unter der untersten Schüssel, dessen Glut von unten nach oben steigt und die Oberflächen der Schüsseln stark erwärmt. Auch hier haben wir es wie beim Trockenofen mit dem Prinzip des Gegenstromes zu tun, und wird das letzte hartnäckig festgehaltene Wasser erst durch die intensive Glut der untersten, also am stärksten erhitzten Schale entfernt. Der Verbrauch an Koks (oder auch Kohle) ist freilich ein recht bedeutender und mehr als eine dreifache Verdampfung ist mit diesem Apparate kaum zu erzielen. Er ist auch in der Bedienung insofern schwierig, als das herunterrieselnde Material sich nicht immer gleichmäßig auf die Schüsseln verteilt, oft ganze Flächen frei läßt und darum ständig von einem Arbeiter überwacht werden muß. Also: Teuer im Brennmaterial-Verbrauch und in der Bedienung!

d) Aber wir haben einen ganz vorzüglichen Trockenapparat in der *Trockentrommel*, die je nach Einführung der Rohmaterialien und Heizgase sich für alle Arten der Trocknung sowie für fast sämtliche Rohmaterialien, einschließlich Schlamm, eignet.

Die ersten und auch meist verbreiteten Trockentrommeln wurden von der Firma Fellner & Ziegler-Bockenheim b. Frankfurt a. M. konstruiert (Fig. 65). Es sind das längliche Zylinder, nach dem Entleerungsende zu etwas geneigt auf Rollen aufgelagert, welche um die Längsaxe rotieren. Das Material fällt

durch die Eingabeöffnung A am höher gelagerten Teile der Trommel in diese hinein, wird durch deren Umdrehungen in stetiger Bewegung gehalten und durchläuft die Trommel infolge deren Neigung vom oberen Eingangs- zum unteren Ausgangsende B. Die Heizgase, meist durch Koksfeuerung auf einer besonderen, daneben angelegten Heizeinrichtung D—E erzeugt, durchstreichen ihrerseits die Trommel in entgegengesetzter Richtung wie das Rohmaterial, also im Gegenstromprinzip vom tiefer zum höher gelagerten Teile der Trommel. Auf dem Wege durch die Trommel geben sie unter stetiger Berührung mit dem Material ihre Wärme an dieses ab und bewirken dadurch dessen energische und vollständige Austrocknung. Besonders für Schlacke kann die

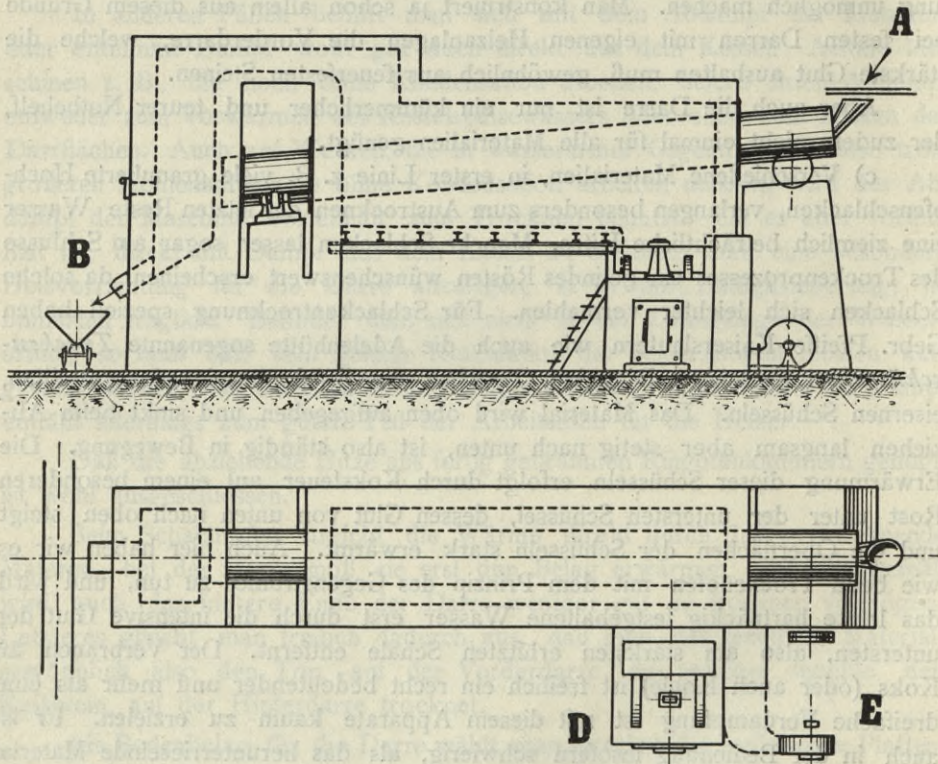


Fig. 65.

Trocknung vollständig bis zum Rösten gesteigert werden. In diesem Falle ist es nötig, hinter den Ausfall der Trockentrommel noch eine Kühltrommel einzuschalten, um die allzu heißen Schlacken vor der Vermahlung abzukühlen.

Je nach Art des Rohmaterials werden diese Trommeln entweder offen gelagert oder in Mauerwerk eingebaut (Fig. 65). Ersteres genügt zum Trocknen von Kalksteinen, letzteres ist zum Trocknen von Ton sehr erwünscht.

Die Verdampfung in diesen Trommeln, die außer dem Heizer keinerlei Bedienung erfordern, ist eine fünf- bis sechsfache. Die Leistung schwankt

natürlich je nach dem Feuchtigkeitsgehalt der Materialien ziemlich erheblich und beträgt pro Stunde zwischen 2,500 bis zu 4,500 kg getrocknetes Material. Speziell für Trocknung von Schlacke mit ca. 15 % Wassergehalt werden auf einem Werk etwa 3,000 kg Trockenmasse pro Stunde erzielt, bei einem Verbrauch an Gaskoks von  $4\frac{1}{2}$  kg auf 100 kg getrockneter Schlacke. —

Eine andere, besonders auch zur Schlackentrocknung ganz vorzüglich geeignete Trockentrommel ist diejenige von Petri & Hecking in Dortmund (Fig. 66). Dieser Apparat besteht aus einer eingebauten rotierenden Trommel, aber, im Gegensatz zu der vorigen, mit gleichem Eintritt für Material und Heizgase. Sie arbeitet also, wie auch die noch nachstehend beschriebenen Apparate, nach den Gleichstromprinzip. Wie aus der Abbildung ersichtlich, gelangt das Material durch einen Eingabetrichter am vorderen Ende in die Trommel und wird hier sofort von den Heizgasen getroffen, die

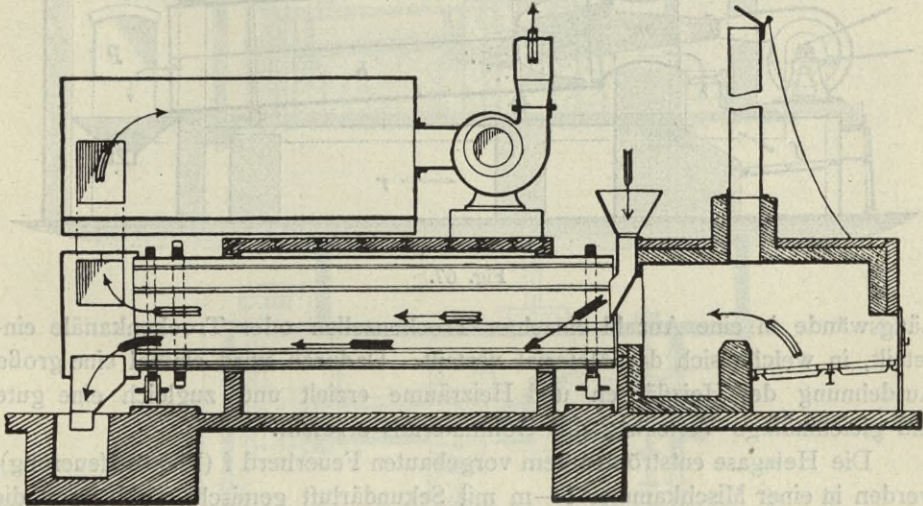


Fig. 66.

aus der vorgebauten Feuerstelle (Planrostfeuerung) hervorgehen. Auf dem Wege durch die Trommel wird das Material durch die Heizgase ausgetrocknet und fällt am Ende der Trommel in den Auslaufstutzen. Die verbrauchten Heizgasen werden mitsamt den Wasserdämpfen und den mitgerissenen Staubteilchen mittels eines Exhaustors durch eine Staubkammer geleitet, wo der Staub sich niederschlägt, und von da mit einer Temperatur von etwas unter  $100^{\circ}$  C. weiter ins Freie ausgeblasen.

Die Bewegung des Materials durch die horizontal auf Laufrollen aufgelagerte Trommel hindurch wird außer durch die Rotation der Trommel auch noch durch im Innern angebrachte Schaufeln bewirkt resp. befördert.

Die Leistung der Trommel ist recht bedeutend, hängt aber von der Art der Rohmaterialien und der Größe der Trommel ab. Von einer vom Verf. beobachteten Trommel wurden z. B. pro Arbeitsstunde 5,000 kg nasse,



granulierte Hochofenschlacke (mit ca. 25 % Wasser) mit einem Brennmaterialaufwande von etwa 165 kg guter westfälischer Steinkohle glatt und tadellos ausgetrocknet. Das ist etwa eine  $7\frac{1}{2}$ fache Verdampfung, eine für Schlacke sehr günstige Ziffer. —

Gleichfalls nach dem Prinzip des Gleichstromes arbeiten die bekannten Trockentrommeln von Möller & Pfeifer-Berlin (Fig. 67). Sie bestehen aus einem geneigt angeordneten, auf Laufrollen aufgelagerten Zylinder h, welcher für gewöhnlich nicht eingemauert ist. Die Materialien gelangen durch den Aufgabetrichter g in das Innere der Trommeln bzw. in den konischen Trommelkopf und werden daselbst sofort von den Heizgasen getroffen, noch ehe sie die Wandung der Trommel berührt haben. Die Trommel h ist durch

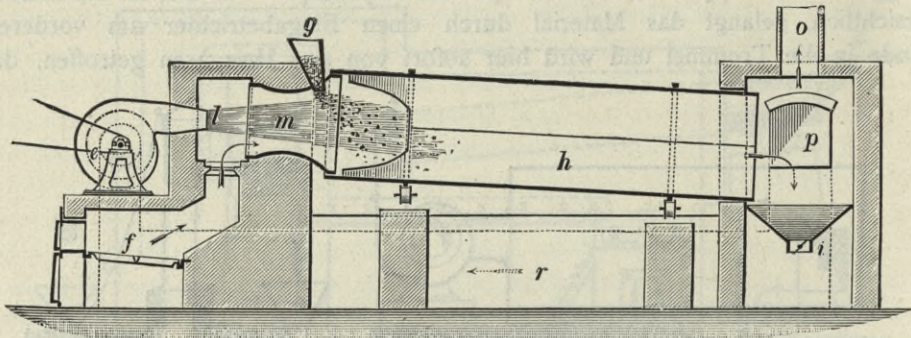


Fig. 67.

Längswände in eine Anzahl einzelner Trockenzellen oder Trockenkanäle eingeteilt, in welche sich das Material verteilt. Dadurch wird einmal eine große Ausdehnung der Heizflächen und Heizräume erzielt und zugleich eine gute und gleichmäßige Verteilung des Rohmaterials erreicht.

Die Heizgase entströmen dem vorgebauten Feuerherd f (Planrostfeuerung), werden in einer Mischkammer l—m mit Sekundärluft gemischt, um bequem die Temperatur regeln zu können, und gelangen weiter durch den Trommelkopf zusammen mit dem Material in das Innere der Trommel. Am Ende der Trommel fällt das getrocknete Material in den Auslaufstutzen i. Von den Heizgasen aber geht nur etwa der sechste Teil durch den Schlot o ins Freie. Der größere Teil wandert durch den als Staubabscheider ausgebildeten Abzugskanal p—r zum andern Ende der Trommel zurück und wird hier durch den Ventilator bzw. Ejektor e als Sekundärluft wieder der Trommel zugeführt: also eine recht vorteilhafte Ausnützung der Heizgase!

Die Leistung hängt natürlich auch hier wieder von der Beschaffenheit der Rohmaterialien und der Größe der Trommeln ab. Die Verdampfungsziffer schwankt bis zu  $7\frac{1}{2}$  fach.

Die Anordnung der Trockentrommeln im Trockengebäude, bzw. auch die Zuführung des feuchten Rohmaterials und Weiterbeförderung des getrockneten Kalksteines oder Tones ist aus Fig. 68 u. 69 ersichtlich. Die Hängebahn bringt das Material direkt bis in das Trockengebäude. Hier

wird der Kippkasten entleert und der Ton z. B. fällt direkt in das Walzwerk, von welchem aus die darunter befindliche Trommel gespeist wird. Der fertig getrocknete Ton fällt seinerseits wieder in eine Becherwerksgrube und

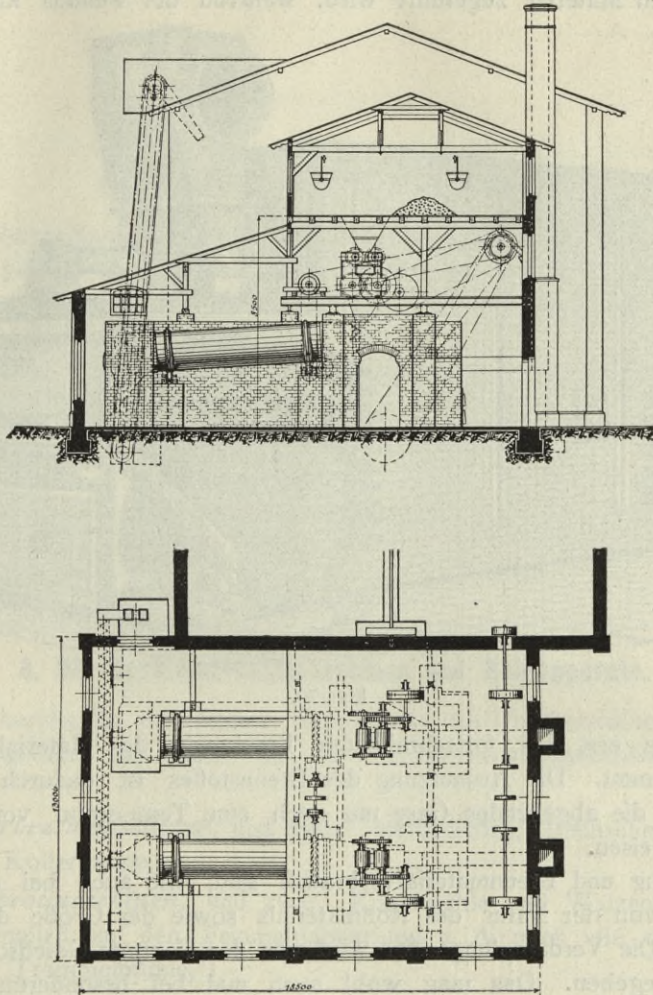


Fig. 68 und 69.

wird daraus automatisch und kontinuierlich hoch geschoben und weiter befördert. —

Nach demselben Gleichstromprinzip arbeiten weiter auch noch die Cummer'schen Trockentrommeln, die vom Eisenwerke (vorm. Nagel & Kämp) A.-G. in Hamburg-Uhlenhorst gebaut werden (Fig. 70) und sich auch in verschiedenen Fabriken recht gut eingeführt haben. Wir haben es auch hier wieder mit einer geneigt aufgelagerten, eingemauerten, rotierenden Trommel

zu tun, für welche die Heizgase auf einer eigentümlich angeordneten Schüttfeuerung (vergl. den Schnitt in der nachstehenden Abbildung) erzeugt werden. Die Heizgase werden dem zu trocknenden Material in der Trommel in der Weise zugeführt, daß der überwiegende Teil des Heißluftgemenges dem noch ganz feuchten Material zugeführt wird, während der weitaus kleinere Teil

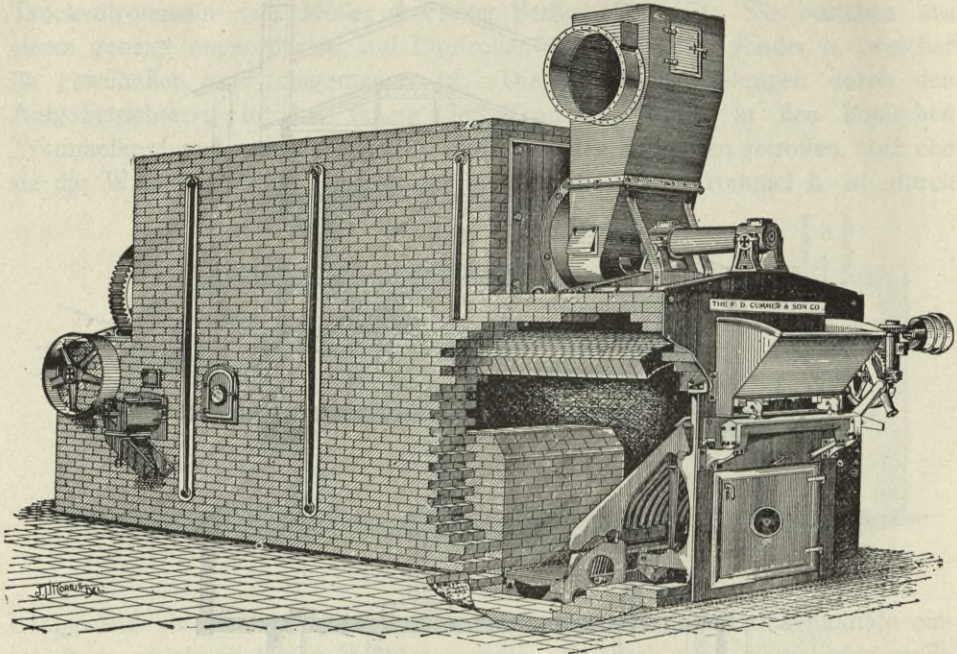


Fig. 70.

der Heizgase erst bei fortschreitender Trocknung des Materials zur Verwendung kommt. Die Ausnutzung des Brennstoffes ist dadurch eine recht gute, indem die abgehenden Gase nur noch eine Temperatur von ca. 50 bis 75° C. aufweisen.

Leistung und Brennmaterialverbrauch sind, wie auch bei den anderen Trommeln, von der Natur des Rohmaterials sowie der Größe der Trommel abhängig. Die Verdampfungsziffer wird von der Cummer-Gesellschaft bis zu 11fach angegeben. Das mag wohl auch mal bei besonderen Kontrollverdampfungen erreicht sein. Im laufenden Betriebe aber wird eine derartig günstige Ziffer kaum erzielt werden.

In jedem Falle sind die vorbeschriebenen Trockentrommeln für stückförmiges Rohmaterial wie für Schlamm die geeignetsten Trockenapparate.

#### 4. Die Roh- und Zementmühle.

Die Vermahlung der Rohmaterialien und Klinker hat es nicht allein mit den dazu geeigneten Zerkleinerungsmaschinen zu tun. Sie bedarf vielmehr noch einer ganzen Anzahl Nebenapparate. Wir werden daher die Mühlenanlagen einzuteilen haben in:

- A. Zerkleinerungsmaschinen,
- B. Sichtmaschinen,
- C. Wagen und Abteilverrichtungen,
- D. Mischapparate,
- E. Transporteinrichtungen,
- F. Entstäubung.

\* \* \*

##### A. Die Zerkleinerungsmaschinen und Mahlapparate.

Wie bereits in der kurzen Skizzierung des Trockenaufbereitungs-Verfahrens ausgeführt ist, teilen wir die *Zerkleinerungsmaschinen* in drei Gruppen:

a) *Vorbrechmaschinen*, und zwar: Steinbrecher, Brechschnecke, Walzwerke und Kollergänge,

b) *Schrotmaschinen*, und zwar: Kugelmühle und Walzenstuhl, sowie als Zwischenglied zu den Feinmahlapparaten u. A. noch die neue Krupp-Gruson'sche Trommelmühle,<sup>1)</sup>

c) *Feinmahl-Apparate*, und zwar: Mahlgänge, Rohr- oder Griesmühlen, Kugelrollmühlen, Griffmühle etc.

Die Unterschiede sind z. T. nicht ganz scharf einzuhalten. So z. B. arbeiten die älteren Kugelmühlen hier und da noch als Feinmahl-Apparate und der Mahlgang wird bisweilen auch nur zum Schroten benutzt.

Zu obigen drei Gruppen tritt dann noch eine vierte hinzu:

d) Verschiedene Apparate, in welcher einzelne besondere Mahlapparate in einer Gruppe zusammen besprochen werden mögen.

<sup>1)</sup> Vergl. hierzu die Ausführungen beim Drehofen über Vermahlung von dessen Klinkern.

Eine *Scheidung* der Mahlapparate *qualitativ* in Zerkleinerungsmaschinen für Rohmaterial und in solche für Zement ist im allgemeinen nicht mehr zugänglich, nachdem wir in den letzten Jahren gelernt haben, die Zerkleinerungsapparate der Natur der einzelnen Materialien entsprechend anzupassen.

\* \* \*

#### a) Vorbrechmaschinen.

*Steinbrecher* (Fig. 71 u. 72). Ohne diesen für Rohmaterial, und speziell harten Kalkstein, wie auch für Zement gleich geeigneten Apparat hat bis in die letzte Zeit hinein wohl keine Fabrik gearbeitet, und in der Tat gibt es auch kaum einen anderen Apparat, der diesem an absoluter Leistungsfähigkeit, ganz große Stücke zu zerkleinern, gleichkommt. Andererseits freilich

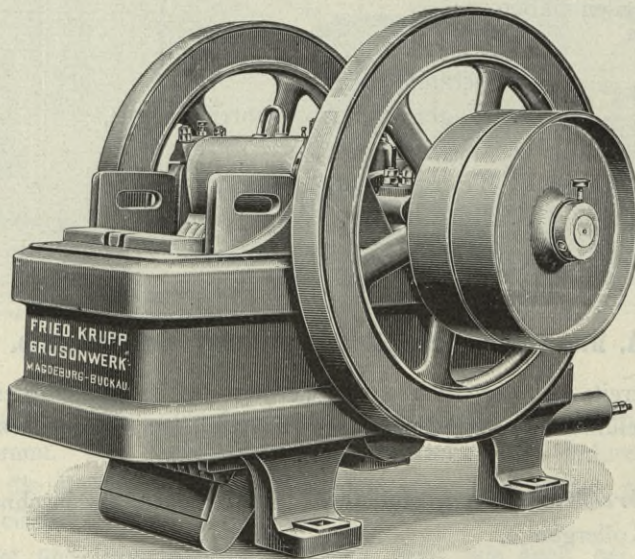


Fig. 71.

hat er gewisse Mängel, die dazu führten, einen entsprechenden Ersatz zu suchen, und diese Bestrebungen sind auch nicht ohne den gewünschten Erfolg geblieben.

Der Steinbrecher besteht aus einem starken eisernen Rahmen, in welchem zwei gerippte Hartgußplatten, die Backen, angebracht sind, deren vordere starr und unbeweglich mit dem Rahmen verbunden ist, während die hintere in einer Schwinde lagert und um eine Horizontalaxe schwingt. Beide Backen sind so gelagert, daß sie oben, an der Eingabeöffnung, auseinander sperren und sich nach unten konisch in einen Schlitz verengern, der beliebig weit oder eng gestellt werden kann und seitlich durch am Rahmen befestigte Platten abgeschlossen wird. Diese eigentümliche Spaltöffnung hat dem Apparat auch

den anderen Namen „*Maulbrecher*“ verschafft, insofern die beiden Backen in der Tat die Bewegung der Kinnladen beim Kauen nachahmen. Durch die pendelnde Bewegung der beweglichen Platte wird nämlich der Spalt kontinuierlich und zwar in sehr schnellem Tempo verengert und erweitert. Das eingeworfene Material wird zunächst oben erfaßt und dann nach und nach so weit zermalmt, bis es so klein geworden ist, daß es den unteren Spalt passieren kann.

Die Bewegung der schwingenden Backe wird gewöhnlich durch einen Exzenter und Kniehebel bewirkt. Der Exzenter ruft abwechselnd eine Biegung und Streckung der beiden den Kniehebel bildenden Druckplatten her-

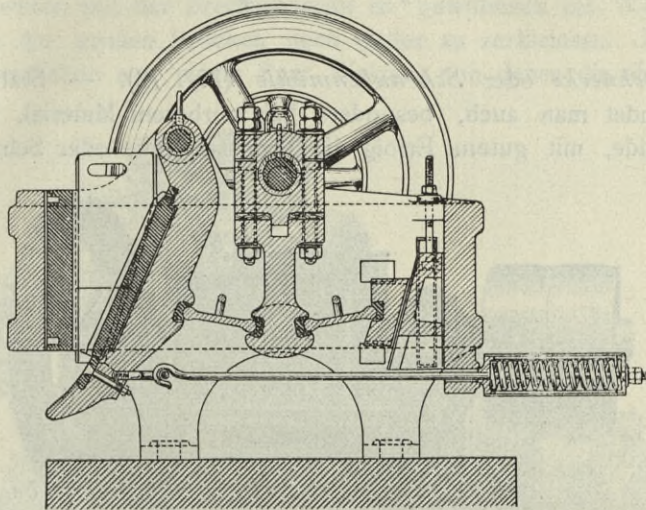


Fig. 72.

vor, und diese Bewegung wird auf die bewegliche Backe übertragen. Die dadurch bedingte Druckwirkung kann durch die Stellung des Exzenters und der Druckplatten beliebig geregelt werden. Ebenso ist die Spaltweite der beiden Brechbacken, auch selbst während des Betriebes, durch eine Keilvorrichtung ganz nach Wunsch zu ändern, je nachdem man gröber oder feiner brechen will. Feiner als Nußgröße zu brechen, ist unmöglich; immerhin wird schon hier ein gewisser Prozentsatz Gries erzielt.

Die Brechbacken sind bequem und rasch auszuwechseln, und man kann auch den oberen Teil, welcher der Abnutzung zumeist unterliegt, nach unten kehren, um die Platten vollständig zu verwerten.

Der Steinbrecher läuft sehr schnell, ca. 250 Touren in der Minute, er ist mit zwei Schwungrädern, Fest- und Losscheibe versehen und wird in der Regel durch einen Riemen angetrieben. Seine Leistung hängt von dem verlangten Feinheitsgrade des gebrochenen Materials wie auch von der Größe und Härte der aufgegebenen Stücke ab; die Feuchtigkeit kommt weniger in Betracht. Im Durchschnitt kann man die Leistung zu 3,000—12,000 kg be-

messen, bei einem Kraftverbrauch von  $4\frac{1}{2}$ —12 Pferdestärken und einer Schlitzweite von ca. 50 mm.

Ein Uebelstand ist, abgesehen vom Stäuben, daß bei Material von geschichteter Struktur dieses in Platten und länglichen Splintern gebrochen wird, was auch bei der weiteren Verarbeitung auf dem Walzwerk sich nur wenig bessert. In dieser Form aber ist das vorgebrochene Material für die meisten Feinmahlapparate am allerwenigsten geeignet. Bei körniger Struktur tritt dieser Fehler nicht auf: ein solches Material bricht in scharfkantigen und rundlichen Körnern bis zur Haselnußgröße.

\* \* \*

*Brechschnecke* oder *Schraubenmühle* (Fig. 73). — Statt des Steinbrechers wendet man auch, besonders bei mürberem Material, z. B. etwas härterer Kreide, mit gutem Erfolg die Brechschnecke oder Schraubenmühle

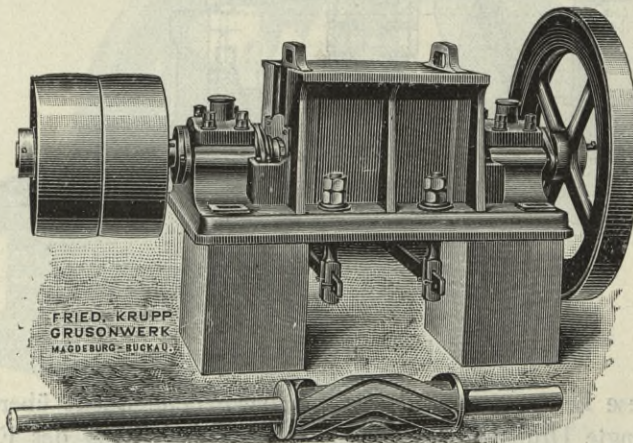


Fig. 73.

an; allerdings dürfen hier die Stücke des aufzugebenden Materials nicht über Kinderkopfgröße betragen.

Das arbeitende Moment besteht aus der in einem eisernen Trog eingelagerten liegenden Welle, auf deren Verstärkung schraubenförmige oder konvergierende, in Winkel abgesetzte Gänge oder Züge bis 50—60 mm tief eingelassen sind. Von dieser aus Hartguß angefertigten *Brechschnecke* wird das in den Trog eingegebene Material erfaßt, zerquetscht und durch einen verstellbaren Rost hindurchgepreßt. Letzterer kann so fein eingestellt werden, daß das Material, welches ihn passiert hat, sofort direkt auf die Feinmahlapparate aufgegeben werden kann. Der starken Beanspruchung des Apparates entsprechend sind die Längs- und Querwände des Troges durch auswechselbare Hartgußplatten geschützt.

Der Apparat hat ein Schwungrad, Fest- und Losscheibe und macht 250 bis 300 Touren in der Minute. Seine Leistung beträgt zwischen 1,000 bis 7,000 kg in der Stunde, bei einem Kraftbedarf von 2—10 Pferdestärken, wobei das Material bis etwa auf Bohnengröße gebrochen wird.

\* \* \*

*Walzwerke.* — Die Walzwerke werden entweder als eigentliche Vorbrechapparate verwendet oder zwischen diesen und einzelnen Feinmahlapparaten als Zwischenapparate eingeschaltet. Besonders mit dem Steinbrecher und auch zuweilen mit der Brechschnecke ist gewöhnlich ein Walzwerk verbunden, um die großen Brocken noch weiter zu zerkleinern. Dasselbe besteht im wesentlichen aus einem Paar Walzen, von denen die eine in festen,

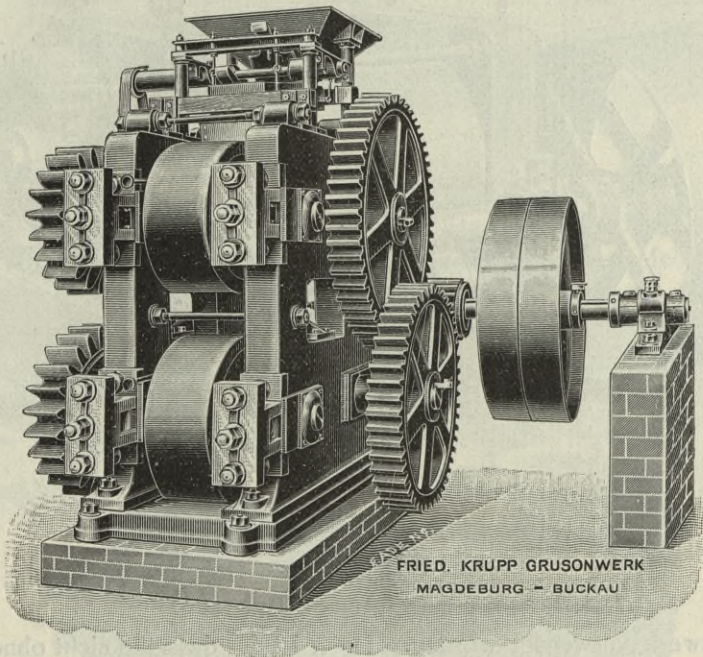


Fig. 74.

die andere in verstellbaren Lagern läuft, um den Abstand der beiden Walzen regulieren zu können. Ferner sind noch Gummi- oder Federpuffer vorgesehen, um zu vermeiden, daß die Walzen durch etwa hineingefallene größere Fremdkörper beschädigt werden. Die Puffer erlauben in solchem Falle ein Ausweichen der Walzen. Ein übergreifender Bord an der einen Walze verhindert das seitliche Herausfallen des Materials.

Für mürbe, ziemlich trockene Materialien wird oftmals nur die eine Walze angetrieben, während die andere leer läuft. Für sehr feuchtes Material,



speziell auch für gefrorenen Ton u. dergl., müssen indessen beide Walzen angetrieben werden.

Statt eines Walzenpaares nimmt man mit Vorteil zwei übereinander gelagerte Walzenpaare (Fig. 74), von denen die oberen weiter, die unteren enger gestellt sind. Auch wählt man gern für das obere Paar fein geriffelte, für das untere glatte Walzen. Das erhöht die Leistung des oberen Paares und schont die unteren Walzen. Weiter läßt man die zusammengekuppelten Walzen mit verschiedener Geschwindigkeit laufen oder gibt bei gleicher Geschwindigkeit verschieden große Durchmesser. Dadurch wird außer dem Zerdrücken des Materials auch noch ein Zerreiben bewirkt.

Besonders zum Aufbereiten von Ton für die nachfolgende Trocknung in einer Trockentrommel ist neuerdings das Walzwerk und zwar meist das ein-

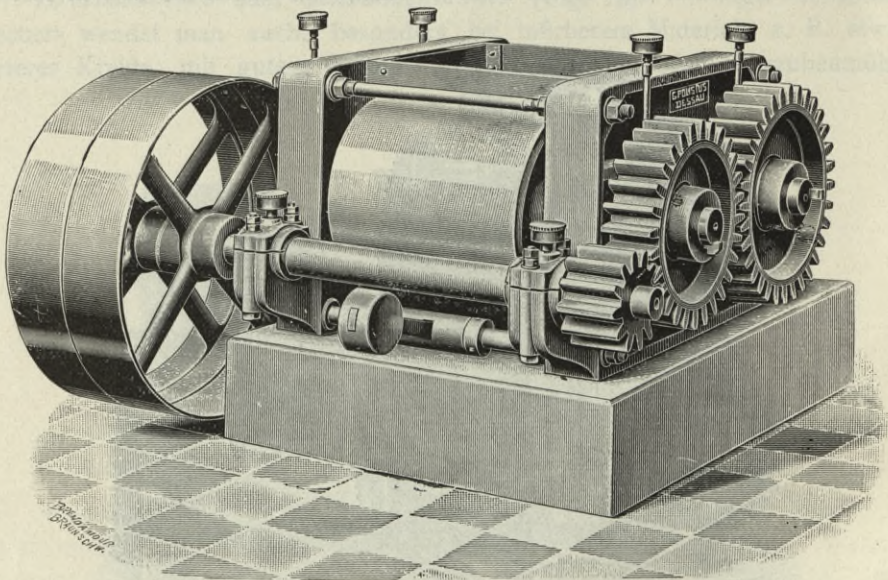


Fig. 75.

fache Walzwerk verwendet worden. Doch ist für dasselbe nicht ohne weiteres zu entscheiden, ob es glatt oder geriffelt sein soll. Vielmehr gibt hierfür einzig und allein ein längeres Arbeiten damit genügenden Aufschluß.

Die obenstehende Abbildung (Fig. 75) zeigt ein solches Polysius'sches Tonwalzwerk, das, wie wohl die meisten Walzwerke, noch mit Abstreichern versehen ist, um die Walzen von anhängendem Material zu reinigen und stets sauber zu erhalten: ein Haupterfordernis für gute Arbeit.

Der von einem Blechgehäuse umgebene oder auch offene Apparat hat Rädervorgelege, Fest- und Losscheibe und Riemenantrieb. Die Walzen selbst bestehen gewöhnlich aus einem gußeisernen, konisch geformten Kern, welcher einen Mantel aus Hartguß, die eigentliche Walze, trägt.

Die Leistung eines einfachen Walzwerkes mit glatten Walzen beträgt bei einem Durchmesser derselben von 700 mm und einer Länge von 300 mm etwa 5,000 kg pro Stunde, bei einem Kraftbedarf von ca. 9 Pferdestärken.

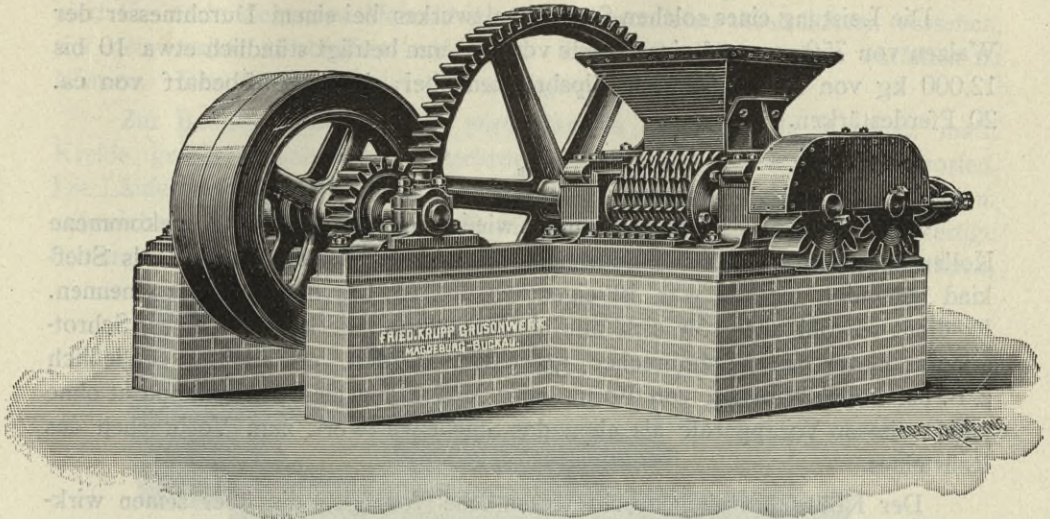


Fig. 76.

Bei einem Doppelwalzwerk von gleicher Größe steigt der Krattaufwand auf 12—18 Pferdestärken; dafür aber erzielt man umso feineres Mehl, was einerseits Schonung und andererseits bedeutend vermehrte Leistung der hinter geschalteten Feinmahlapparate bewirkt. —

Das Walzwerk wird außer für Zementrohmaterial besonders auch für die Gipsfabrikation benutzt, speziell für Herstellung von feinem Form- oder

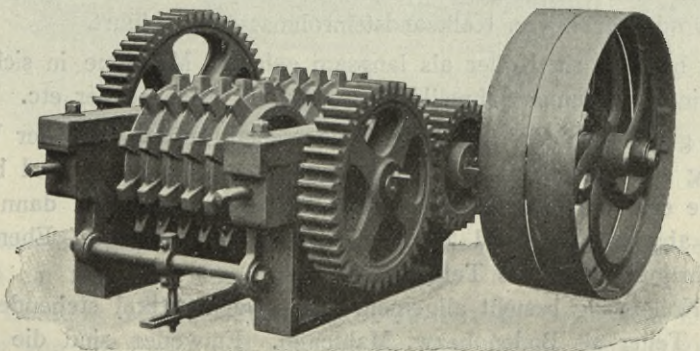


Fig. 77.

Modellgips. In diesem Falle wird ausschließlich das gezahnte Walzwerk genommen, das die groben Gipsstücke in kleinere Brocken zerreißt. Diese Brocken werden dann ausgelesen und im Muffelofen gebrannt. — Ein solches Gipswalzwerk zeigen die obenstehenden Abbildungen (Fig. 76 u. 77). Die

Walzen bestehen aus gezahnten Stahlgußscheiben und glatten Zwischenringen. Sie sind derartig zu einander angeordnet, daß die Zähne der einen Walze den Ringen der anderen gegenüberstehen.

Die Leistung eines solchen Stachelwalzwerkes bei einem Durchmesser der Walzen von 750 mm und einer Breite von 600 mm beträgt stündlich etwa 10 bis 12,000 kg von hühnereigroßen Gipsbrocken, bei einem Kraftbedarf von ca. 20 Pferdestärken.

\* \* \*

*Kollergänge.* — Der neuerdings wieder mehr in Aufnahme gekommene Kollergang, der lange Zeit hindurch speziell in der Zementindustrie als Stiefkind behandelt worden war, ist eigentlich fast ein Universalapparat zu nennen. Er dient sowohl allein für sich nur als Vorbrecher, er kann ferner als Schrotapparat hinter einen Steinbrecher geschaltet werden, er arbeitet schließlich z. B. bei der Fabrikation von Form- oder Modellgips als Feinmahlapparat ohne jede weiteren Vorapparate als eben das Stachelwalzwerk zum Vorbrechen des Rohsteines.

Der Koller hat einige recht wesentliche Vorzüge, die über seinen wirklichen und vermeintlichen Fehlern eine ganze Zeit hindurch vollständig vergessen schienen. Er vermag feuchtes wie trockenes Material zu verarbeiten, vom Schlamm bis zu gebranntem Material. Wo Steinbrecher, Brechschnecke und Walzwerk versagen, tritt willig der Koller ein.

Er ist weiter ein ganz vorzüglicher Mischapparat und dies so weit gehend, daß verschiedene Maschinenfabriken, wie Bernhardi-Eilenburg und Fr. Krupp-Grusonwerk, Magdeburg-Buckau, direkt Mischkollergänge bauen, das Grusonwerk z. B. nach dem Böklen'schen Prinzip. Diese Mischkollergänge haben sich mit ausgezeichnetem Erfolge für Herstellung von Betonmischungen oder auch von Kalksandsteinrohmasse eingeführt.

Dann braucht ein Koller als langsam gehende Maschine in sich weniger Kraft als ein sogenannter Schnellläufer, wie z. B. Steinbrecher etc.

Dem gegenüber darf freilich nicht übersehen werden, daß der Verschleiß nicht gering ist. Besonders die Koller nutzen sich rasch ab und bekommen in der Mitte eine muldenartige Vertiefung. Indessen brauchen dann auch nur die Ringe abgenommen und durch neue ersetzt zu werden. Ebenso ist es mit den Hartgußplatten des Tellers. —

Der Kollergang besteht allgemein aus zwei vertikal stehenden Läufern und einem Teller als Boden bzw. Mahlbahn. Entweder sind die Läufer an Schlepplagern um eine Vertikalwelle beweglich, oder aber der Teller rotiert und die Läufer sind in festen Stehlagern angeordnet. Der Antrieb erfolgt, durch Kegelräder und Vorgelege, entweder von oben oder von unten, je nach Zweckmäßigkeit für den betreffenden Betrieb.

So zeigt z. B. die nebenstehende Abbildung (Fig. 78) einen Polysius'schen Schlämmkoller. Der Boden des gemauerten Bottichs hat eine Mahlbahn aus

Hartgußpanzerplatten. Die gußeisernen, mit auswechselbaren Hartgußringen versehenen Läufer rotieren an Schleppkurbeln um die stehende Welle, welche am Boden in einem Spurlager, oben in einem Halslager läuft. Die Läufer sind für stark klebendes Material noch mit besonderen Abstreichern versehen, um stets sauber zu bleiben und damit ihre volle Wirksamkeit entfalten zu können. Der Antrieb erfolgt hier naturgemäß von oben.

Zur Bedienung des Kollers wird das zu schlämmende Material, meist Kreide, gewöhnlich ohne erst vorgebrochen zu werden, in den Koller geworfen. Die Läufer erfassen und zermalmen dasselbe unter dem zugleich einwirkenden, aufweichenden Einfluß des in den Bottich einströmenden Wassers. Der fertige Schlamm fließt durch einen Ueberlauf ab, der für Dünnschlamm ziemlich hoch,

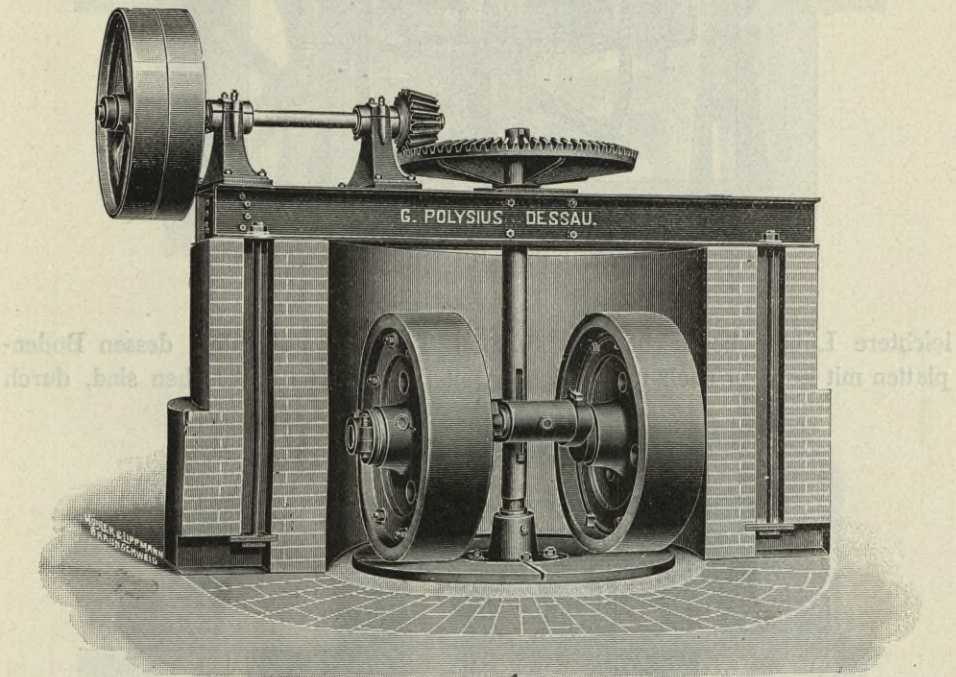


Fig. 78.

für Dickschlamm entsprechend niedriger angeordnet ist. Größere Teile werden hier durch ein Sieb oder Gitter zurückgehalten.

Die Leistung des vorstehenden Kollers beträgt bei einem Durchmesser der Läufer von 1,800 mm und einer Breite von 450 mm etwa 3,000 kg. Die Tourenzahl der Spindel ist 14 in der Minute, der Kraftbedarf hierfür ungefähr 10 Pferdestärken. —

Zur Vermahlung von sehr feuchtem Material dient auch der nebenstehende Koller (Fig. 79), wie er von Fr. Krupp-Grusonwerk gebaut wird. Hier sind im Gegensatz zu dem Polysius'schen Koller die Läufer von verschiedener Breite und in verschiedenem Abstände von dem Königsstock an-

geordnet. Der breitere und schwerere Läufer geht über den inneren Teil des Tellers, der aus massiven Bodenplatten gebildet wird. Der schmalere und

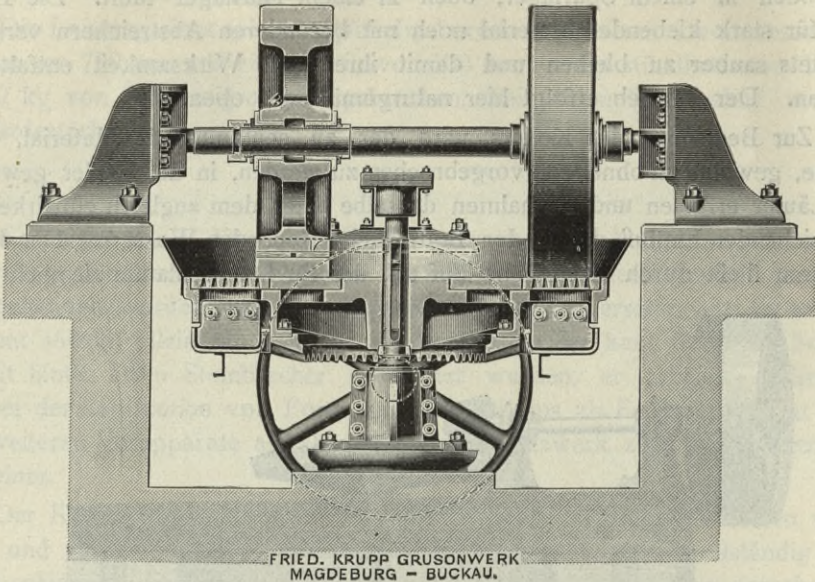


Fig. 79.

leichtere Läufer bestreicht den äußeren Teil der Mahlbahn, dessen Bodenplatten mit konisch nach unten sich erweiternden Löchern versehen sind, durch

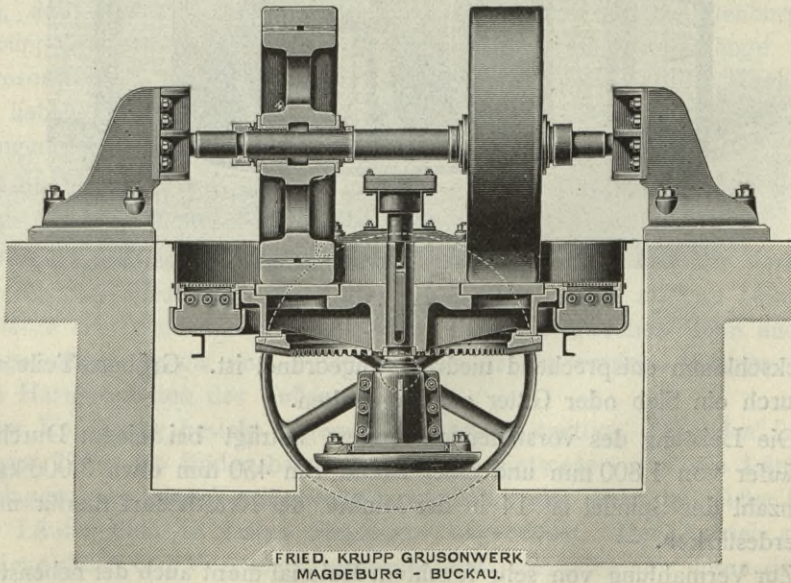


Fig. 80.

welche das fertige Mahlgut den Apparat verläßt. Auch rotiert hier der Teller, nicht wie bei Polysius die Läufer.

Die Leistung des Kollers hängt von der Beschaffenheit des Materials, Härte und Korngröße, sowie von der verlangten Mehlfineinheit ab. Sehr grobstückiges Material läßt man besser anderweitig vorzerkleinert aufgeben, da sonst die Läufer die größeren Stücke nicht erfassen könnten, sondern nur vor sich herschieben würden. Für Läufer von 1,800 mm Durchmesser und 450 mm Breite stellt sich z. B. für feuchten Ton die Leistung auf 10,000 kg, bei 16 Touren des Tellers in der Minute und einem Kraftbedarf von etwa 15 bis 16 Pferdestärken. —

Einen ähnlichen Koller baut das Grusonwerk auch für Trockenvermahlung (Fig. 80). Auch hier rotiert die Mahlbahn mit unterem Antrieb um

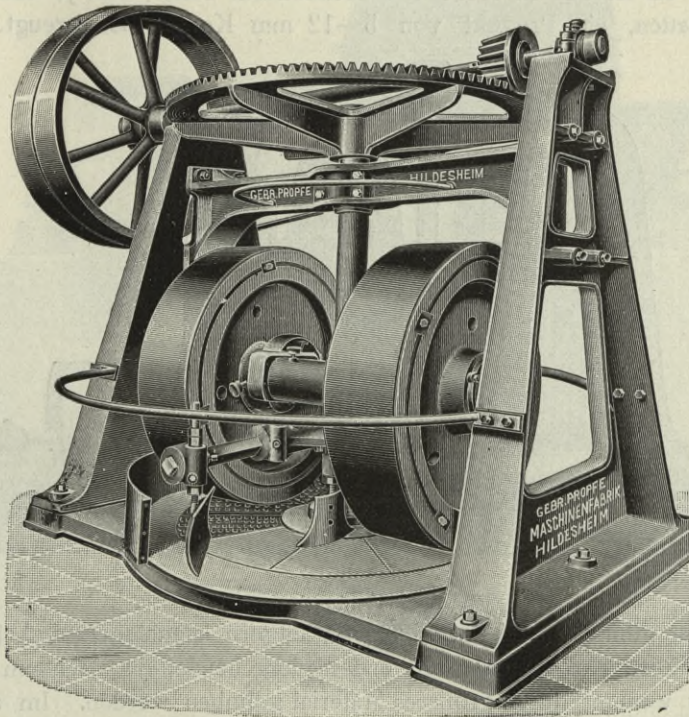


Fig. 81.

einen kurzen Königsstock, während die gußeisernen und mit Ringen aus Hartguß bezogenen Läufer sich an einer gemeinsamen, in festen Führungen ruhenden Axe drehen. Beide Läufer sind indessen im Gegensatz zum Naßkoller gleich breit, daher auch gleich schwer und in gleichem Abstände von der Spindel angeordnet. Sie rotieren auf einer festen Mahlbahn von massiven Bodenplatten aus Hartguß, während der äußere Rand aus siebförmig durchlöcherter Platten besteht, die zum Auslaß des fertigen Produktes dienen.

Leistung unter sonst gleichen Umständen dieselbe wie beim Naßkoller, allerdings bei 18 Touren in der Minute und einem Kraftverbrauch von 16—18 Pferdestärken. —

Mit rotierenden Läufern, Schleppkurbeln aus geschmiedetem Stahl an vertikalem Königsstock und oberem Antrieb ist der Kollergang von Gebr. Propfe-Hildesheim ausgerüstet (Fig. 81). Die Mahlbahn besteht aus Stahlgußplatten, auf denen das Material zerkleinert wird. Die Austragung erfolgt durch gelochte Platten. Die Verteilung des Materials auf die Mahl- resp. Austragsplatten erfolgt durch verstellbare Scharrflügel, deren Anordnung aus der nebenstehenden Abbildung besonders gut ersichtlich ist. —

Als moderner Typus für ganz schwere Kollergänge zum Vorbrechen von Zementrohmaterial, gleichgültig welcher Art, mag die nachstehende Abbildung eines Kollerganges von Amme, Giesecke & Konegen-Braunschweig dienen (Fig. 82). Es ist das ein Koller mit rotierendem Teller, der, je nach Lochung der Siebplatten, ein Produkt von 5—12 mm Korngröße erzeugt. Die Be-

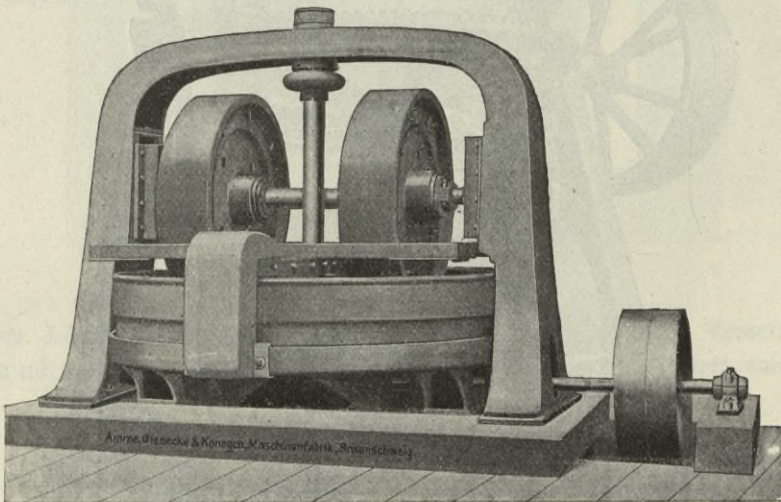


Fig. 82.

wegung der gemeinsamen, in festen Stehlagern eingelagerten Achse ist wie bei allen diesen Kollern eine auf- und niedergehende, je nachdem die Läufer mehr oder weniger durch gröberes Material gehoben werden. Im allgemeinen erscheint diese Konstruktion kräftiger und weniger dem Verschleiß unterworfen als die Schleppkurbellager. Die Läufer gehen nur über den massiven Belag des rotierenden Tellers, ohne die Siebplatten zu berühren und diese dabei vielleicht zu beschädigen. Die Verteilung des Materials auf die Mahl- bzw. Siebplatten erfolgt durch entsprechend angeordnete Abstreicher. Antrieb von unten.

Die Leistung für ganz große Koller mit 2,000 mm hohen Läufern von 500 mm Breite beträgt bei 15—16 Touren in der Minute bis zu 10,000 kg in der Stunde, je nach der Beschaffenheit des zu vermahlenden resp. vermahlenden Materials. Der Kraftaufwand stellt sich hierbei auf etwa 12—15 Pferdestärken. —

### b. Schrotmaschinen.

Zwischen die vorstehend beschriebenen Vorbrecher und die folgenden Schrotapparate schiebt sich, wie bereits besprochen, die Trocknung der Rohmaterialien ein. Erst nach diesem geht das Material auf die Schrotapparate über.

*Kugelmühlen* (Kugelfallmühlen) (Fig. 83). — Dieser Apparat wurde in Deutschland schon vor längerer Zeit und zwar zuerst von Gebr. Sachsenberg in Roßlau eingeführt. In letzter Zeit haben sich dann, angesichts der bedeutenden Erfolge dieser Zerkleinerungsmaschine speziell als Schrotapparat, wohl

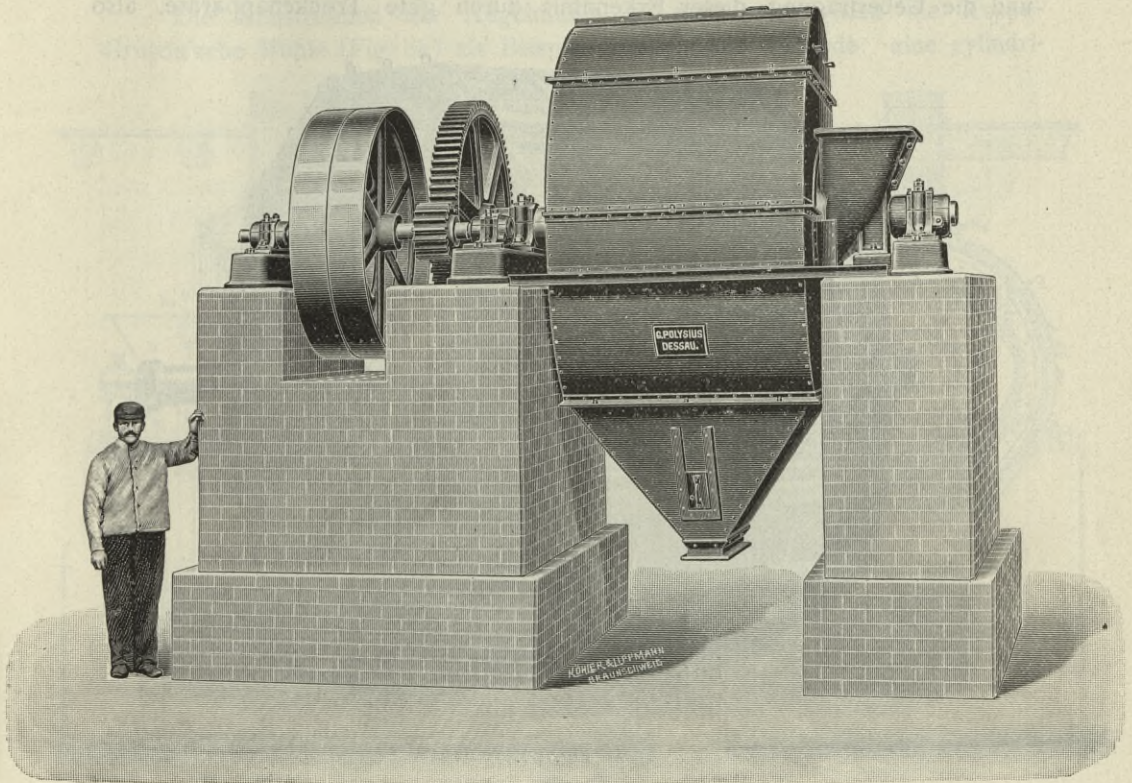


Fig. 83.

alle Maschinenfabriken dieser Fabrikation zugewandt, unter ihnen in erster Reihe Friedr. Krupp-Grusonwerk/Magdeburg-Buckau und Löhnert-Bromberg.

Die Ursache, daß dieser ganz ausgezeichnete Apparat sich anfänglich nicht gleich in vollem Umfange durchzusetzen vermochte, lag einerseits darin, daß man auf das eigentliche Gebiet desselben, die Vorschrotung, erst allmählich kam, vielmehr zunächst ihn nur als Feinmahlapparat und zwar ausschließlich für Zementklinker benutzte. Andererseits aber blieb der Kugelmühle die Vermahlung von Rohmaterial verschlossen, da man die Bedingungen nicht kannte, unter welchen eine derartige Vermahlung zu ermöglichen war. Die ersten



diesbezüglichen Versuche vor etwa 15 Jahren schlugen vollkommen fehl und erst vor 7 Jahren wurden dieselben von dem nunmehr leider zu früh verstorbenen Mohor von neuem und mit besserem Erfolge wieder aufgenommen. Die im folgenden Jahre unternommenen Probemahlungen des Verf. zeitigten dann gleich einen derartig durchschlagenden Erfolg, daß von ihm sofort eine ganze Reihe von Neuanlagen sowohl für Rohmehl wie für Zement nur mit Kugelmühlen ausgerüstet wurde.

Dieser Erfolg der Kugelmühle hatte als grundsätzliche Vorbedingung die Erkenntnis einer unbedingt vollkommenen Trocknung des Rohmaterials und die Uebertragung dieser Erkenntnis durch gute Trockenapparate, also

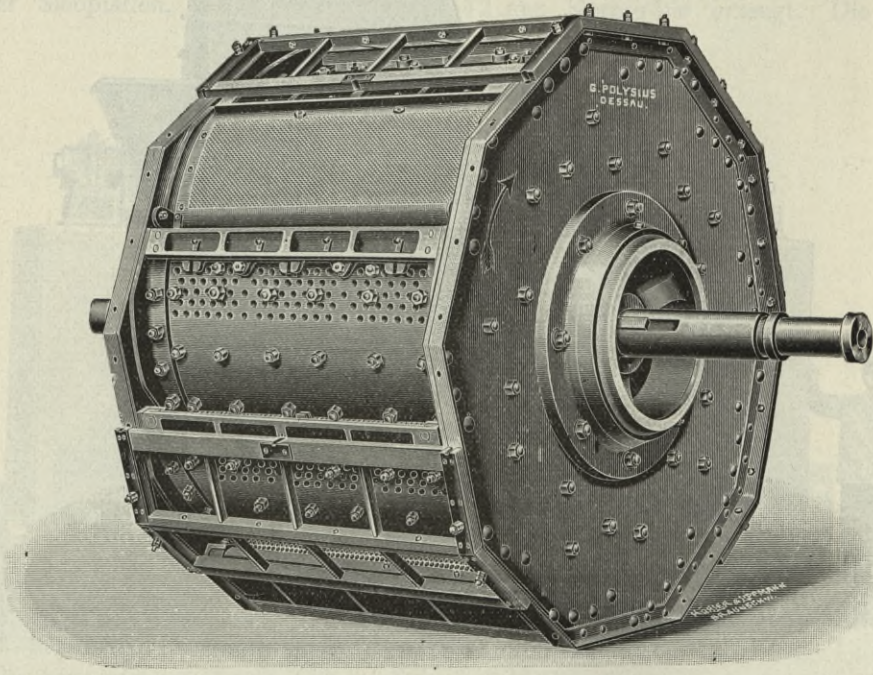


Fig. 84.

speziell die Trockentrommeln, in die Praxis. Und zweitens hätte man niemals die vorzüglichen Eigenschaften der Kugelmühle als Schrotapparat erkennen und ausnützen können ohne die ebenso unbedingt erforderliche und in der Rohrmühle als Feinmahlapparat insbesondere für Gries gefundene Ergänzung der Kugelmühle.

Die Kugelmühle wird heutzutage von allen größeren Maschinenfabriken gebaut. Es hat sich auch, abgesehen von einigen speziellen Patenten, ein ziemlich einheitlicher Typus entwickelt und vornehmlich scheint die Frage „ob Rostbalken oder Mahlplatte“ sich immer mehr zu Gunsten der letzteren zu entscheiden. Die Mahlplatte gibt zwar, wenn reparaturbedürftig, eine weit umfangreichere Reparatur als der einzelne Rostbalken. Aber diese Reparatur

tritt außerordentlich selten ein und gibt daher nur sehr wenig Anlaß zu Betriebsstörungen. —

Die Kugelmühle besteht aus einem geschlossenen, trommelartigen Mahlkörper, wie aus der nebenstehenden Abbildung einer Polysius'schen Kugelmühle (Fig. 84) ersichtlich ist. Dieses in sich Geschlossene des ganzen Apparates hat gleich die Annehmlichkeit, außerordentlich staubfrei arbeiten zu können, bezw. den Staub derartig leicht und vollständig aus dem Apparate absaugen zu können, wie es z. B. bei Steinbrecher, Mahlgang etc. in keiner Weise möglich ist.

Die Konstruktion der Kugelmühle ist nun (wir wollen die Krupp-Gruson'sche Mühle (Fig. 85) als Beispiel nehmen) die folgende: eine zylindri-

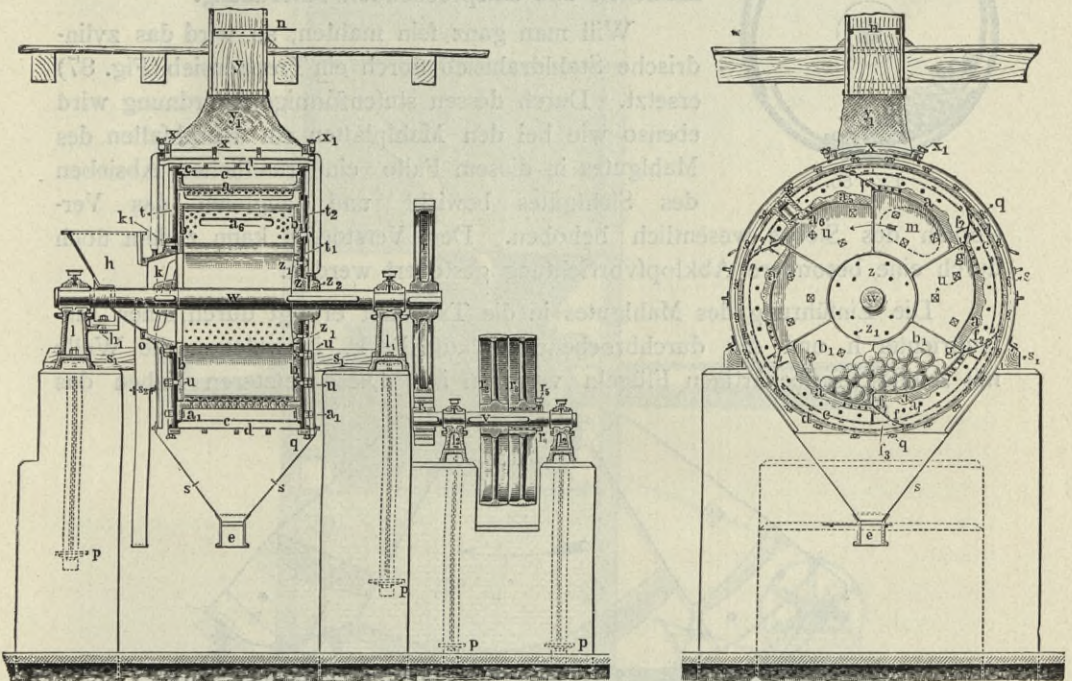


Fig. 85.

sche Mahltrommel, an einer horizontalen Stahlwelle  $w$  rotierend, staubdicht umgeben von einem Blechgehäuse  $s$ , deren Antrieb durch Rädervorgelege mit Fest- und Losscheibe  $r_{1-3}$  erfolgt. Der Mahlkörper setzt sich aus den seitlichen Stirnwänden  $t-t_1$  und der eigentlichen Mahlbahn zusammen. Die auf der Welle mit gußeisernen Naben fest aufmontierten Stirnwände sind aus Schmiedeeisen und werden vor dem Anprall des Mahlgutes und der Kugeln an der Innenseite durch Hartguß- oder Stahlgußplatten  $b-b_1$  geschützt.

Die Mahlplatten  $a$  sind auf der einen etwas verstärkten Seite nach oben gebogen. Auf der andern Seite sind sie gelocht und mit Rückführungsschaufeln  $f$  versehen. Dort, wo zwei Mahlplatten zusammenstoßen oder viel-

mehr übereinander greifen, sind Schlitzte g gelassen, welche durch Schutzsiebe zum Teil abgesperrt sind.

Die übereinandergreifenden Mahlplatten bilden eine unter sich zusammenhängende, stufenförmig ausgebildete Mahlbahn (Fig. 86), auf welcher die Kugeln in der Mühle entlang rollen, dabei von Stufe zu Stufe springend oder fallend. Hieraus ergibt sich auch die Bezeichnung als *Kugelfallmühle*.

Außerhalb dieser eigentlichen Mahlbahn ist ein kreisrunder Siebrahmen d angeordnet, dessen einzelne, auswechselbare Teile aus Stahldrahtsieben hergestellt sind. Zwischen diesem eigentlichen Siebe und der Mahlbahn ist noch ein Schutzsieb c aus geschlitzten Stahlblechen eingeschaltet, in einer den Mahlplatten ähnlichen und entsprechenden Anordnung.

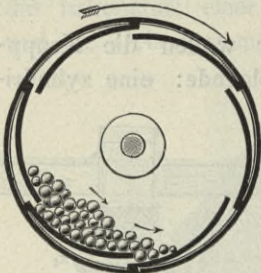


Fig. 86.

Will man ganz fein mahlen, so wird das zylindrische Stahldrahtsieb durch ein Treppensieb (Fig. 87) ersetzt. Durch dessen stufenförmige Anordnung wird ebenso wie bei den Mahlplatten ein Herabfallen des Mahlgutes in diesem Falle ein gründliches Absieben des Sichtgutes bewirkt und zugleich das Verstopfen des Siebes wesentlich behoben.

Dem Verstopfen kann zudem noch durch eine besondere Abklopfvorrichtung gesteuert werden.

Die Einführung des Mahlgutes in die Trommel erfolgt durch einen Einlauftrichter h und die durchbrochene Einlaufnabe k, in welcher die Welle mit schiffsschraubenartigen Flügeln versehen ist. Diese letzteren ziehen das

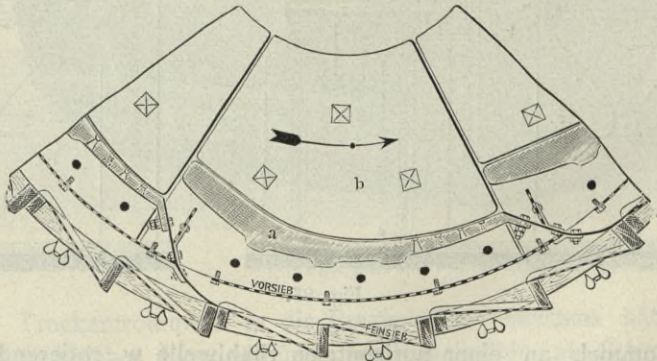


Fig. 87.

Material in die Trommel hinein und verhüten zugleich ein Herausspringen der Kugeln oder des Mahlgutes.

Die Austragung des fertigen Grieses erfolgt durch die Siebe hindurch in den unteren Teil des Blechmantels, von wo es durch den Auslaufstutzen kontinuierlich in eine Transportschnecke oder dergl. fällt.

Am oberen Teile des Blechmantels ist ein Dunstschlot angebracht, durch welchen auch der sich bildende Staub abgesaugt wird.

Wird das Material in groben Stücken von Hand in die Mühle eingegeben, so empfiehlt es sich, über den Eingabetrichter *h* einen Rost anzuordnen, damit nicht zu große Stücke hineinfallen und die Einlauföffnung verstopfen.

Hat dagegen das Material bereits einen Steinbrecher passiert und ist dadurch entsprechend vorgebrochen, so ist eine automatische Aufgabevorrichtung vorteilhaft. Denn exaktes Beschicken ist eine Hauptbedingung für guten und gleichmäßigen Gang des Apparates.

Diese Aufgabevorrichtungen werden direkt unterhalb eines Sammelbehälters (Fig. 88) angebracht, aus welchem das Material stetig und selbsttätig von dem Apparat entnommen wird. Auf der nachstehenden Abbildung

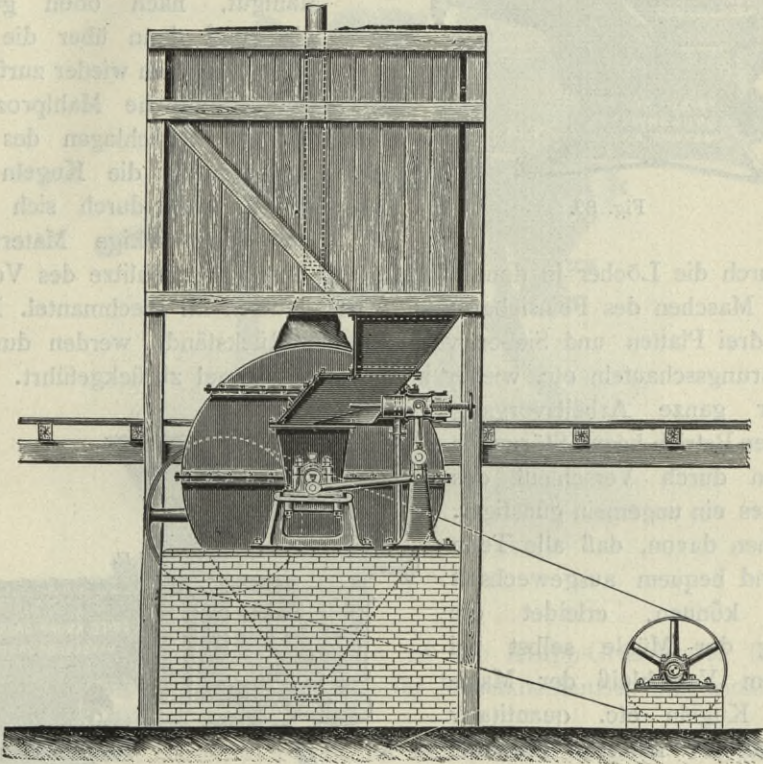


Fig. 88.

(Fig. 88) ist diese Aufgabevorrichtung von Polysius als eine Kolbenschubvorrichtung ausgebildet, welche direkt an die Hauptwelle der Mühle angekuppelt ist. Der Kolben schiebt bei jedem Vorwärtsgange eine ganz bestimmte, regulierbare Menge des Materials in den Fülltrichter hinein.

Das Grusonwerk bildet seine Aufgabevorrichtungen in verschiedener Weise aus, z. B. ebenfalls als Schub- oder Kolben-Aufgabeapparat; ferner baut es für diesen Zweck Schüttelapparate (Fig. 89) oder auch Stoßaufgabevorrichtungen (Fig. 90), von denen sich besonders die letztere Form für Material, das vom Steinbrecher kommt, gut bewährt und eingeführt hat. —

Die Schüttel- und Stoß-Aufgabevorrichtungen sind nach einem ähnlichen Prinzip konstruiert wie auch die Rüttelschuhe beim Mahlgang; es erübrigt sich also eine besondere, eingehende Beschreibung derselben. Man wird sich bei der Wahl unter allen Aufgabevorrichtungen hauptsächlich nach der Stückgröße des aufzugebenden Mahlgutes zu richten haben. —

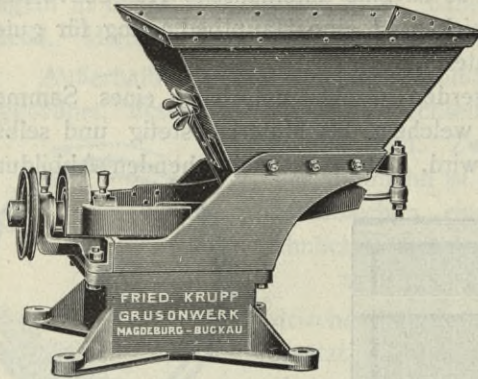


Fig. 89.

Der Mahlvorgang selbst in der Trommel vollzieht sich derartig, daß bei der Rotation derselben der Inhalt, also Kugeln und Mahlgut, nach oben getragen wird und dann über die Stufen der Mahlplatten wieder zurückfällt. Der eigentliche Mahlprozeß ist also ein Zerschlagen des Mahlgutes durch die Kugeln sowie z. T. auch durch sich selbst. Das kleinstückige Material ge-

langt durch die Löcher in den Mahlplatten, durch die Schlitze des Vorsiebes und die Maschen des Feinsiebes zum Auslaufstutzen im Blechmantel. Die auf diesen drei Platten und Sieben verbleibenden Rückstände werden durch die Rückführungsschaufeln etc. wieder in die Mahltrommel zurückgeführt.

Der ganze Arbeitsvorgang ist für den Betrieb bzw. Störungen desselben durch Verschleiß des Apparates ein ungemein günstiger. Abgesehen davon, daß alle Teile rasch und bequem ausgewechselt werden können, erleidet die Leistung der Mühle selbst bei stärkerem Verschleiß der Mahlplatten, Kugeln etc. quantitativ wie qualitativ keinerlei Einbuße, wie sie z. B. beim Mahlgang durch abgelaufene Schärfe sofort beiderseits in bedeutendem Maße eintritt.

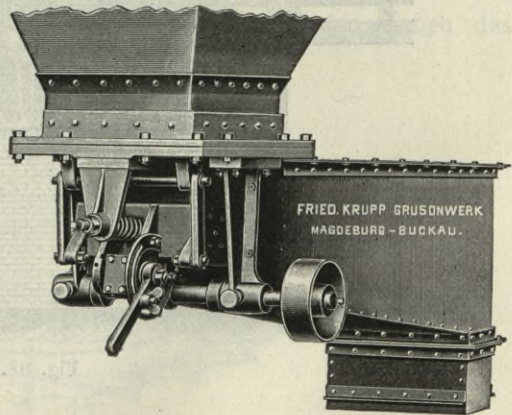


Fig. 90.

Leistungen und Kraftbedarf hängen wie überall von der Art des Materials, der gewünschten Feinheit der Mahlung, Größe der Mühle etc. ab. Interessant ist, daß quantitativ die Größe der Mühle wenig von Einfluß ist. Dagegen mahlt die größere Mühle bei gleicher quantitativer Leistung qualitativ besser, d. h. also feiner. Das hat denn auch mit dazu geführt, die Kugelmühlen recht groß zu bauen.

Die Leistung einer der größten Mühlen (No. VII des Grusonwerkes) von

2,700 mm Durchmesser und 1,180 mm Breite der Mahltrommel hat Verf. bei 21 Touren in der Minute und 25 P.S. Kraftbedarf für ziemlich hartes Rohmaterial wiederholt bis zu 3,400 kg Gries festgestellt. Dabei war als Feinsieb No. 50 genommen. — Für Zement stellt sich die Leistung durchschnittlich etwa so, daß eine große Kugelmühle (also die vorstehende No. VII des Grusonwerkes) für eine Jahresproduktion von fast 100,000 Faß ausreicht.

Auch für Laboratoriumsversuche eignet sich die Kugelmühle zum Vermahlen im kleinen sehr gut. Diejenige von Reber-Bonn genügt freilich nur

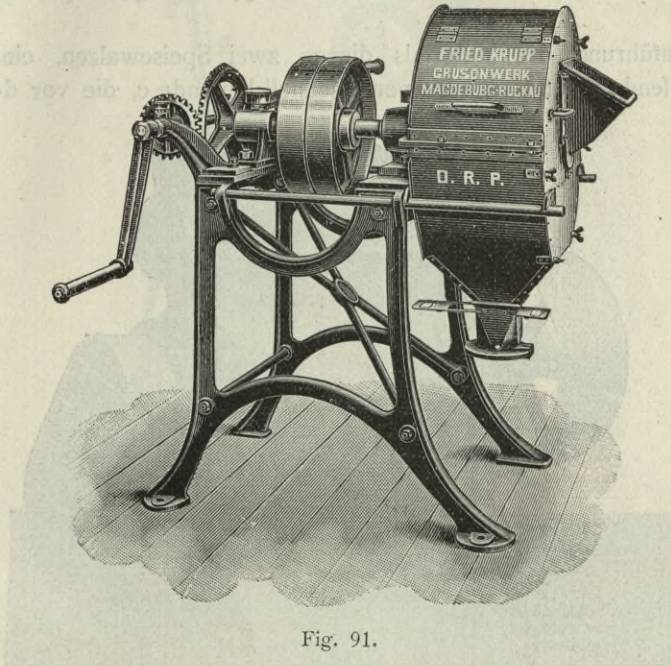


Fig. 91.

für mäßige Beanspruchung. Dagegen ist die Krupp-Gruson'sche (Fig. 91) recht leistungsfähig und für Hand- wie für Maschinenbetrieb eingerichtet.

\* \* \*

*Walzenstuhl (Mahlstuhl).* — Zum Vermahlen von vorgebrochenem Rohmaterial, von einer Korngröße bis zu etwa 10 mm, eignet sich auch sehr gut der von Amme, Giesecke & Konegen-Braunschweig eingeführte Mahlstuhl. Ebenso wie die Kugelmühle so hat auch dieser Mahlapparat (Fig. 92 u. 93) hauptsächlich den Zweck, ein Produkt zu erzeugen, das der Rohmühle zugeführt werden kann. Eine Feinmahlung, also die Erzeugung eines Mehles mit etwa 88—90% Feinmehl durch das 4,900 Maschensieb, ist ebenso wenig wie bei der Kugelmühle so auch bei diesem Apparat ein rationeller Betrieb. Die Zerkleinerung geschieht auf dem Mahlstuhle zwischen zwei schräg übereinander liegenden Hartguß-Expansionswalzen W, von denen die eine fest-

gelagert ist, während die andere durch starke Federn parallel gegen erstere gepreßt wird. Da die Walzen mit verschiedener Umfangsgeschwindigkeit laufen, so findet zwischen denselben weniger ein Quetschen des Mahlgutes als vielmehr ein Zerreiben desselben statt. Die eigentliche Mahlfläche ist, da die Walzen sich gewissermaßen nur in einer Linie berühren, sehr gering und dadurch der Kraftverbrauch verhältnismäßig klein.

Die Hauptschwierigkeit bei der Mühle bestand im Anfang in der gleichmäßigen Zuführung des Materials und in einem guten Reinhalten der Mahlwalzen, was beides bei dem vorliegenden Apparate ganz praktisch ermöglicht ist.

Zur Zuführung des Materials dienen zwei Speisewalzen, eine größere, langsam laufende b, und eine kleinere, schnell laufende c, die vor der ersten

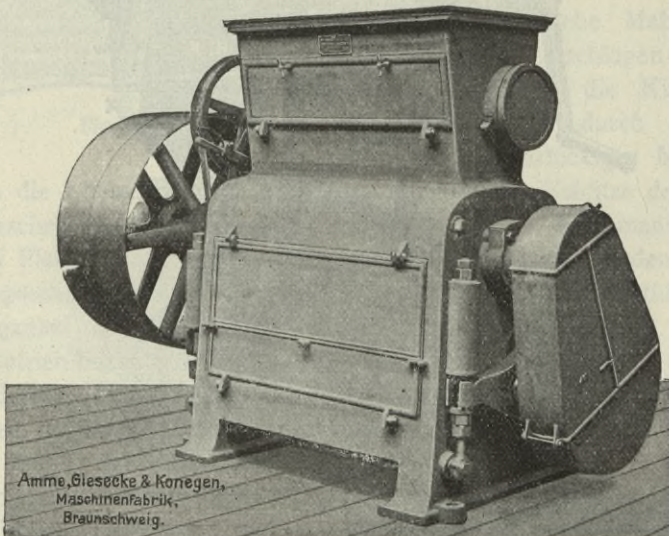


Fig. 92.

vorgelagert ist. Die Wirkung dieser Speisewalzen ist derart, daß die große, tiefgeriffelte Walze, sozusagen als Schöpfrad dienend, das Material dem Rumpfe E entnimmt und über die Schurre a der kleinen Walze zuführt. Diese nimmt eine weitere gleichmäßige Verteilung vor.

Das Material wird dann, über Schurren d und e auf die untere Walze fallend, von dieser erfaßt und der Vermahlung zugeführt. Es besteht also eine dreifache Speisung durch die Walzen b, c und W. Das ermöglicht eine gleichmäßige Speisung des Apparates und damit Mahlung des aufgegebenen Materials, das wie ein Schleier zwischen den beiden Mahlwalzen hindurchgeht.

Das Reinhalten der Mahlwalzen geschieht, wie auch sonst üblich, durch stählerne Abstreicher f, die durch Gewichtsdruck an den Walzen anliegen und dadurch ein zartes Abstreichen des an den Walzen haften gebliebenen Materials bewirken.

Eine Kontrolle der gleichmäßigen Speisung, Mahlung und Sauberhaltung der Walzen gewähren die Beobachtungsöffnungen g und h.

Die Leistung eines Mahlstuhles schwankt, wie bei allen Mahlapparaten, je nach den vorkommenden Verhältnissen: Korngröße und Härte etc. des auf-

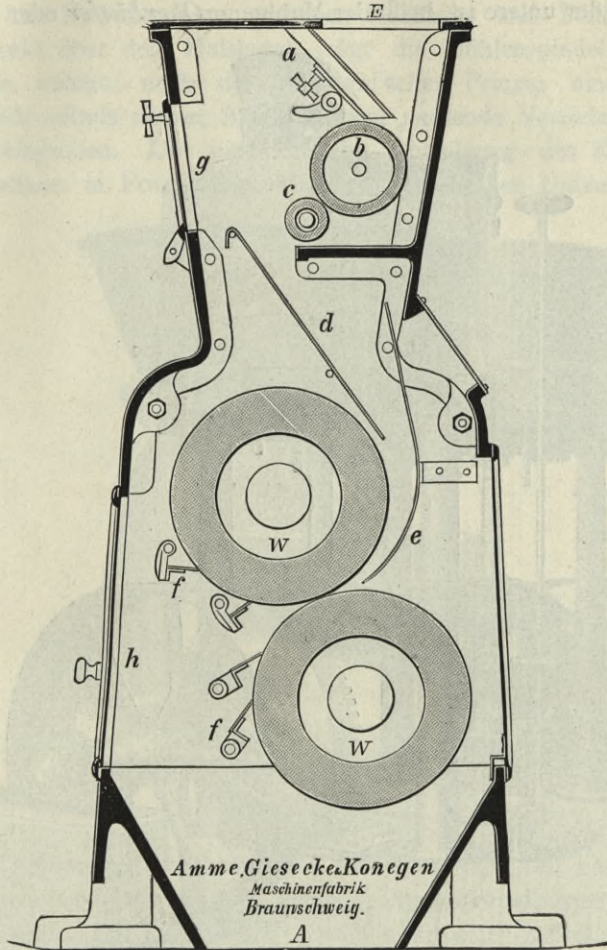


Fig. 93.

gegebenen Materials, verlangte Mehlfinheit u. s. w. zwischen 1,200 kg bis 3,000 kg in der Stunde, bei einem Kraftverbrauch von 8—12 Pferdestärken. —

\* \* \*

### c. Feinmahlapparate.

An die Schrotapparate schließen sich im weiteren Verlaufe des Mahlprozesses die eigentlichen Feinmahlapparate an.



*Mahlgänge.* — Von den Feinmahlapparaten sind die Mahlgänge die ältesten. Das Prinzip derselben, die übrigens neuerdings auch wohl nur zum Schrotten benutzt werden, besteht auf der reibenden Wirkung zweier dicht auf einander gelagerter Steine, von denen der eine festliegt, während der andere um eine Spindel rotiert. Je nachdem der rotierende Stein, der *Läufer*, der obere oder der untere ist, heißt der Mahlgang *Oberläufer* oder *Untersläufer*.

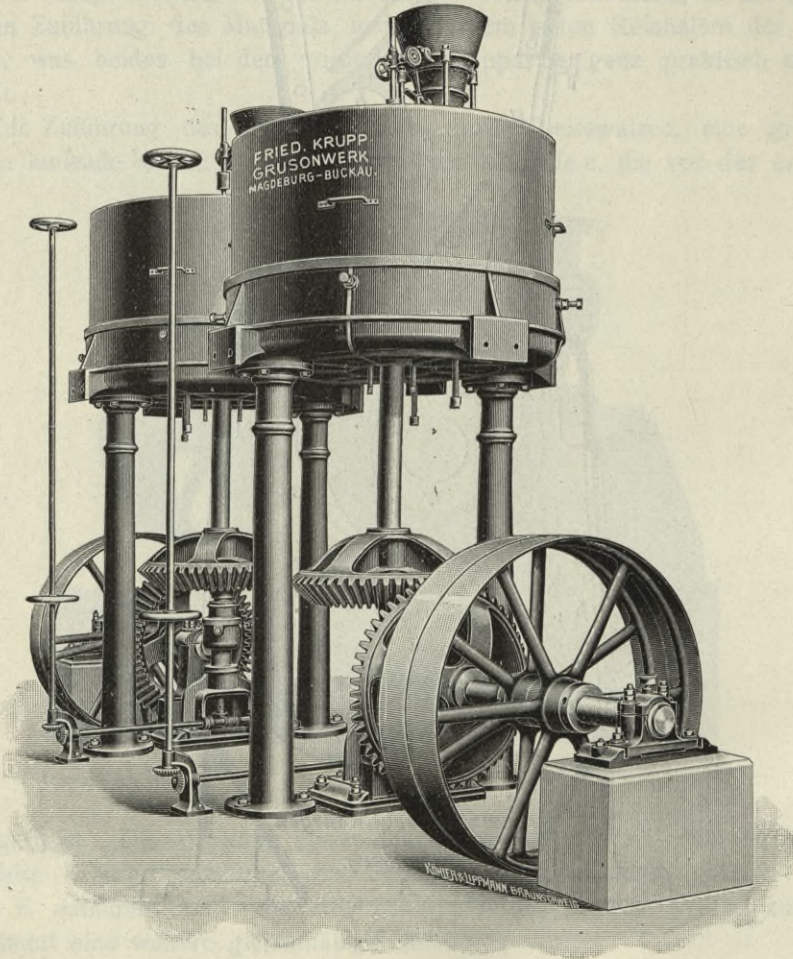


Fig. 94.

Von beiden Anordnungen ist die ältere der *Oberläufermahlgang*; seine Konstruktion ist, wie folgt: Auf zwei eisernen Säulen oder einem eisernen Hohlgußständer ist zunächst die Fundamentplatte als Steingehäuse für den eigentlichen Mahlkörper befestigt; sie ist in der Mitte durchbohrt und trägt das Halslager für die stehende Läuferwelle. Das Spurlager dieser Welle ist je nach Anordnung der Mahlgänge, ob einzelstehend resp. in Gruppen (Fig. 94), direkt auf einem Stellrad oder bei Reihenanordnung auf einer eisernen

Traverse über der liegenden Königswelle aufmontiert. Der Antrieb erfolgt meist mittels konischen Rädervorgeleges.

Auf der Fundamentplatte des Steingehäuses ist mittels Schrauben der Unterstein starr und unbeweglich befestigt. Er hat in der Mitte eine runde Öffnung, welche Platz für das Halslager der Spindel läßt. Bei Betrieb des Ganges muß der Zwischenraum zwischen Halslager und Stein gut verpackt werden. Direkt über dem Halslager trägt die Mühlenspindel den Kreuzkopf mit der Haue, welche, nach dem Kardani'schen Prinzip eine Art Kompaßgelenk bildend, mittels zweier Arme in dazu passende Vertiefungen des Oberläufersteines eingreifen. Die eigentümliche Anordnung des Kreuzkopfes und der Balancierhaue in Form eines allseitig beweglichen Universalgelenkes er-

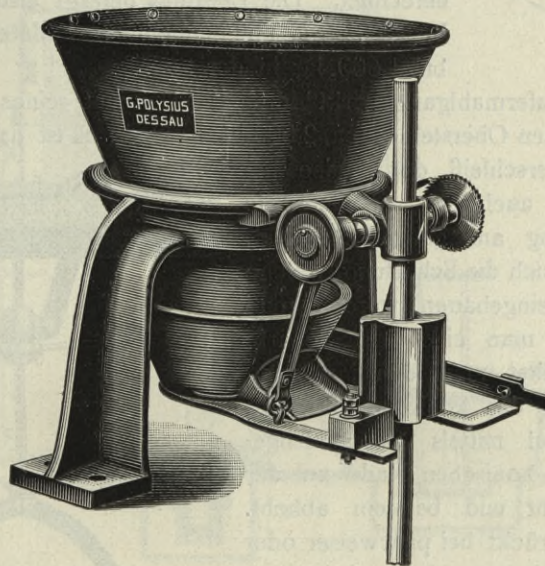


Fig. 95.

möglichst eine vollkommen ungehinderte Bewegungsfähigkeit des Läufersteines, z. B. ein Ausweichen nach oben, wenn größere Fremdkörper in den Gang hineingefallen sind. Der Läuferstein, ebenfalls mit einer zentralen Kreisöffnung versehen, ruht durch sein Eigengewicht fest in den Armen der Haue und empfängt durch diese und die mit ihr verbundene Spindel seine Bewegung. Beide Steine sind von einem Blechmantel umgeben, der nur oben eine kreisrunde Öffnung hat, entsprechend der des Obersteines, durch welche mittels eines kleinen Transportbandes oder auch wohl eines Rüttelschuhes (Fig. 95) das Mahlgut dem Apparat kontinuierlich zugeführt wird. Am unteren Rande hat der Blechmantel noch den Abfallstutzen, aus welchem das gemahlene Gut durch Schnecke und Becherwerk auf die Siebe gebracht wird, welche das Feinmehl absieben, während das Siebgrobe wieder dem Mahlgang zugeführt wird.

Die Mehlfeinheit hängt von der Größe resp. Schwere des Obersteines sowie von der weiteren oder engeren Stellung beider Steine zu einander ab.

Letztere ist jederzeit regulierbar und zwar entweder mittels eines direkten Handrades oder einer durch Hebelkraft wirkenden Stellvorrichtung. In beiden Fällen wird das Spurlager der Mühlenspinde! und damit der Oberstein gesenkt oder gehoben. Läßt man das Spurlager ganz herunter, so lagert der Oberstein mit seinem vollen Gewicht auf dem Unterstein; die Mehlfeinheit wird dadurch die beste, freilich aber auch zugleich damit der Kraftaufwand der größte.

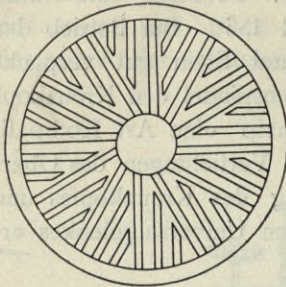


Fig. 96.

Gewöhnlich werden für Zementfabriken die Oberläufermahlgänge mit Steinen zu 1,500 mm Durchmesser gebaut und für 120 Touren in der Minute berechnet. Die Leistung beträgt alsdann, bei 18—25 Pferdestärken und mittelhartem Material, etwa 1,350 bis 1,600 kg in der Stunde.

Der Oberläufermahlgang wirkt durch das Gewicht seines auf dem Unterstein aufschleifenden Obersteines (ca. 2,000 kg). Dadurch ist natürlich ein nicht unwesentlicher Verschleiß der Steine bedingt, übrigens auch so ziemlich die einzige Abnützung am ganzen Apparat.

Zugleich verliert sich die Schärfung, welche in jeden Stein eingehauen werden muß (Fig. 96). Will man eine neue Schärfe auflegen, so schaltet man den Mahlgang aus, indem man das konische Triebrad der Mühlenspinde mittels Schneckengetriebes von dem konischen Rade auf der Königswelle leicht und bequem abhebt. Oder aber, man rückt bei paarweiser oder Gruppenanordnung um ein gemeinsames Königsrad das Spindeltriebrad durch Handrad und Schneckengetriebe aus dem Königsrade heraus. Dann montiert man die Mühle ab, zunächst den Blechmantel, und hebt den Oberstein mittels eines Kranes, welcher an einer Laufkatze hängt (Fig. 97), von dem Unterstein ab, wobei der Oberstein in den Zapfen, die ihn halten, axial beweglich ist. Beide Steine werden dann (in ca. 7—8 Stunden) wieder mit einer neuen Schärfe versehen, der Oberstein wieder aufgelegt und mit Zement so hoch aufgegossen, daß das verminderte Gewicht dadurch wieder ausgeglichen ist.

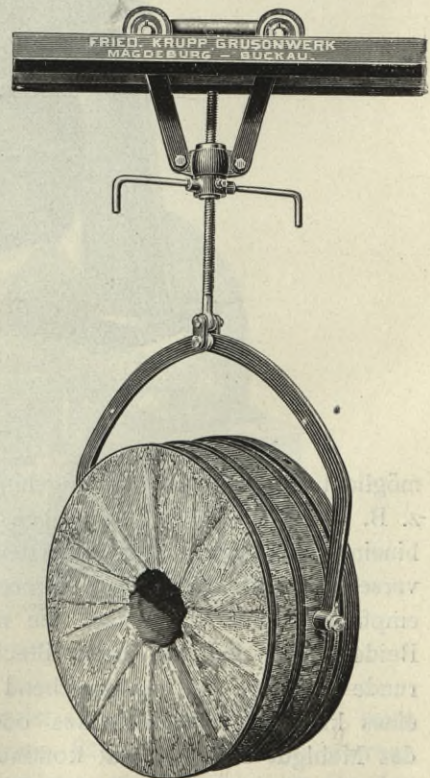


Fig. 97.

Der völlige Verschleiß eines Steines, der unbedenklich bis auf 120 mm heruntergemahlen werden darf, dauert bei ausgesuchtem Material und normaler

Beanspruchung etwa 3—4, auch wohl 5 Monate. Die jedesmalige Schärfe hält freilich nur 3—4, höchstens 6 Tage.

Als Steine sind fast ausschließlich die französischen und karpathischen, auch wohl serbische Süßwasserquarze brauchbar. Das Gewicht eines Steinpaars beträgt 3,000—3,600 kg. —

Um den unvermeidlichen Staub zu beseitigen, schließt man die Mahlgänge an ein System von Exhaustoren an, welche den Staub in die Staubkammern oder Abklopfvorrichtungen bringen. —

Früher wendete man den Oberläufermahlgang vielfach auch als Naßmahlgang für Feinmahlen von Kreidesand beim Dickschlämmen an; die Kon-

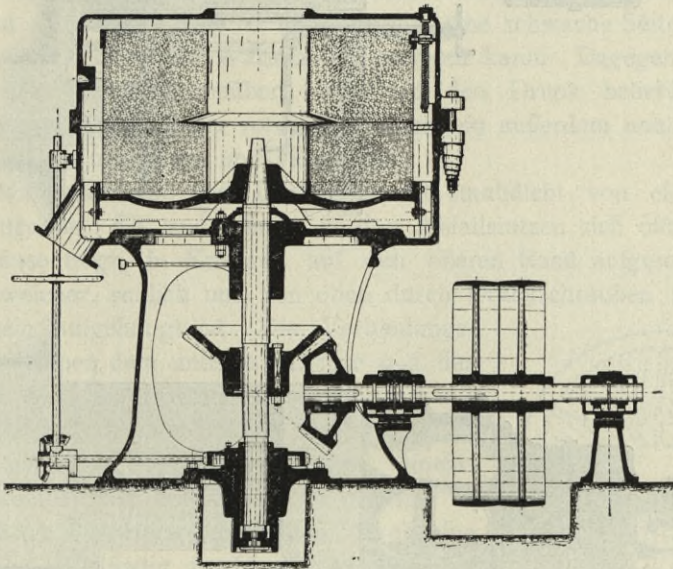


Fig. 98.

struktion ist ungefähr die gleiche wie für den vorherbeschriebenen Apparat. Doch ist in neuerer Zeit an deren Stelle mit weit besserer Ausnützung die Naßrohrmühle getreten. —

Der *Untersläufer* (Fig. 98 u. 99) ist in seinem Äußeren dem Oberläufer fast gleich, besteht aus dem Hohlgußgestell oder zwei eisernen Säulen, welche den eigentlichen Mahlkörper tragen und wird in derselben Weise angetrieben, nur daß bei ihm statt des konischen Rädervorgeleges zuweilen auch durch zwei horizontale Riemenscheiben an der Spindel, Fest- und Losscheibe, ein direkter Antrieb mit halbverschränktem Riemen gewählt wird. Der Riemen läuft dabei noch über eine am Hohlgestell angebrachte Gleit- und Führungsrolle, welche verstellbar ist und zugleich zum Anspannen des Riemens benutzt wird. Der Riemen wird freilich durch Verschränkung niemals besser, läuft auch horizontal viel leichter ab als vertikal. —

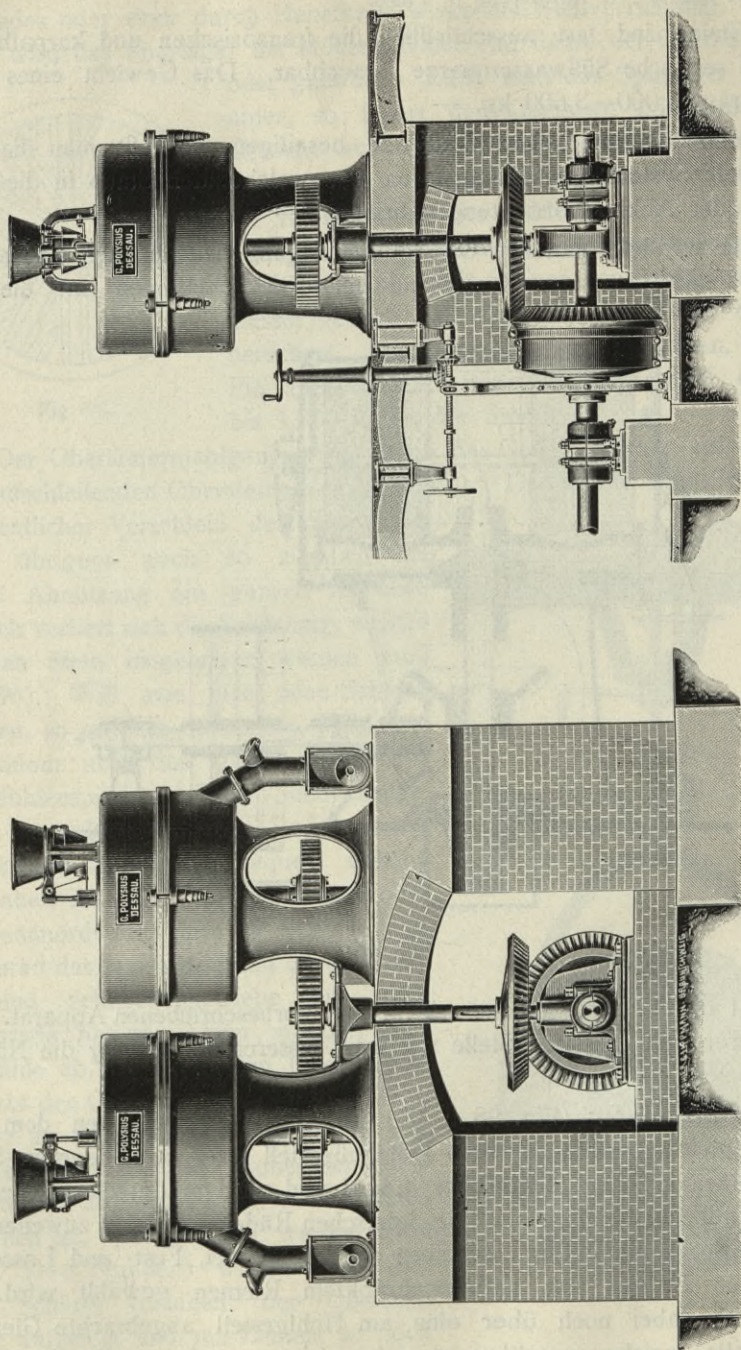


Fig. 99.

Es ist nun freilich sehr angenehm, die Mühle bei vollem Betrieb des Werkes im Augenblick ohne Stoß ein- und ausrücken zu können. Dafür sind die Reibungskuppelungen von Polysius-Dessau sehr gut geeignet und haben bereits eine ziemlich ausgedehnte Einführung erhalten.

Das Halslager liegt beim Unterläufer außerhalb des Gehäuses; kurz darüber schließt die Spindel konisch ab, und auf ihr sitzt der rotierende Teller, auf welchen der Läuferstein fest aufzementiert ist. Das untere Ende der Spindel läuft in einem Spurlager, welches in derselben Weise wie beim Oberläufer gehoben und gesenkt werden kann. Während aber bei diesem der Druck auf den Zapfen nur durch das Gewicht des Steines bedingt wird, und zwar zudem noch verringert um dessen Druck auf das Mahlgut, hat der Spurzapfen des Unterläufers das Gewicht des Steines und dessen Druck auf das Mahlgut zu tragen. Das ist unzweifelhaft eine schwache Seite des Unterläufers, da viel leichter ein Warmlaufen eintreten kann. Dagegen steht dem wiederum der Vorteil gegenüber, daß man den Druck beliebig hoch zu steigern vermag, und daß der rotierende Unterstein außerdem noch das Mahlgut viel schneller unterzieht und verarbeitet.

Der Mahlteller mit dem Läuferstein ist staubdicht von einer eisernen Schüssel umgeben, die nur einmal in den Abfallstutzen sich öffnet. Dieses untere Gehäuse trägt, in Knaggen auf den oberen Rand aufgeschraubt, die Haube, in welcher, seitlich und von oben durch Druckschrauben festgehalten, der Oberstein aufgehängt ist. Die Verbindungsschrauben zwischen dem unteren Gehäuse und der Haube mit dem festgestellten Oberstein sind mit kräftigen Federungen versehen, um ein Ausweichen des Obersteines zu ermöglichen resp. hineingefallene Fremdkörper unschädlich zu machen.

Das Auge des Untersteines kann durch eine glatte Scheibe vollständig geschlossen werden; das Aufgeben des Mahlgutes erfolgt alsdann durch ein kleines Speiseband. Anderenfalls muß noch eine kleine Rüttelwelle auf die Spindel aufgesetzt werden, um den Rüttelschuh zu bewegen, über welchen das Mahlgut in den Gang einläuft.

Die Unterläufer arbeiten gewöhnlich mit Steinen von 1,250 mm Durchmesser und leisten bei 120—130 Touren in der Minute und 20—24 Pferdestärken je nach verlangter Feinheit 1,200—1,800 kg pro Stunde, wenn das Mahlgut bis (maximal) Haselnußgröße vorgeschrotet war.

Die Schärfung der Steine ist eine etwas andere als beim Oberläufermahlgang, wie aus der vorstehenden Skizze (Fig. 100) ersichtlich ist. Um dieselbe aufzulegen, wird auch hier die Haube mit dem Oberstein abgenommen, was allerdings etwas umständlicher ist als dort. Sind aber die Steine einmal gerade gerichtet, so kann man sie dafür auch wieder absolut genau parallel laufen lassen, wodurch ein Auflaufen der Steine auf einander vollkommen vermieden wird.

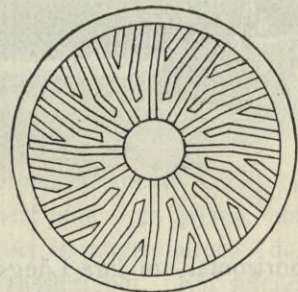


Fig. 100.

Auch der Unterläufermahlgang kann als Naßmahlgang verwendet werden; die Konstruktion ist fast dieselbe, speziell ist nur die Speisevorrichtung durch ein Zulaufrohr ersetzt. Die Leistung beträgt bei einem Durchmesser der Steine von 1,250 mm und einem Kraftbedarf von 10 Pferdestärken reichlich 900—1,000 kg.

Das Gebiet des Unterläufermahlganges ist hauptsächlich dasjenige der mittelharten Materialien, also speziell der Kalkmergel, des Gipses sowie auch der Kohle für den Drehofen.

Die Leistung eines großen 1,500 mm Polysius'schen Unterläufers steigt z. B. für die Beckumer Materialien bis über 2,000 kg in der Stunde. —

\* \* \*

Ausschließlich als Feinmahlapparat, also nur zur Vermahlung von Griesen dient die *Rohrmühle* oder *Griesmühle* (Fig. 101). Dieselbe besteht aus einer 5—8 m langen Trommel von 1,200—1,500 mm Durchmesser, welche sich

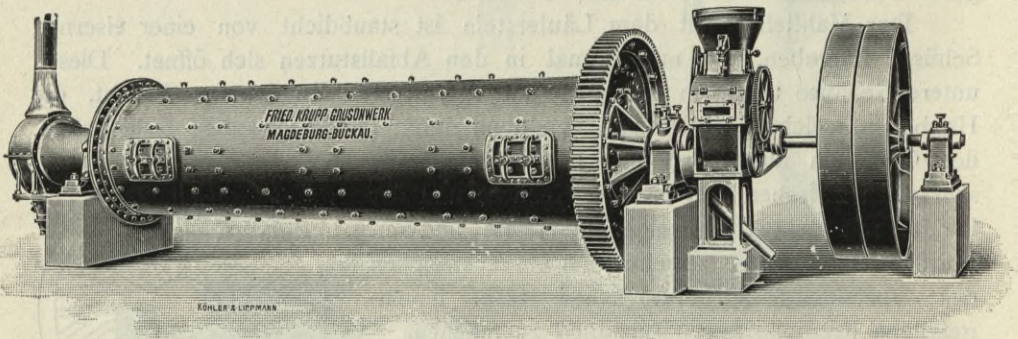


Fig. 101.

horizontal um ihre Längsaxe dreht, und mit ca. 4,500—11,000 kg Flintsteinen als eigentlichen Mahlkörpern beschickt ist. Die vorgeschroteten Materialien, die Griesen, werden durch die Eingabeöffnung, als welche gewöhnlich der hohle Zapfen dient, eingegeben und bewegen sich langsam durch die Trommel nach dem Auslaufsutzen zu. Während dieses Ganges durch die Trommel wird das Material von den Flintsteinen vollständig zermalmt und zu Feinmehl zerrieben, wobei zudem noch eine sehr innige Mischung desselben erfolgt. Die Größe der Austrittsöffnungen der Trommel am Abfallstutzen spricht gar nicht mit für die Feinheit des erzielten Mehles, für welche vielmehr wesentlich die Menge an aufgegebenem Gries und die Länge der Trommel in Betracht kommt. Die Füllung soll so gehalten werden, daß sie etwa bis zur untersten Kante der Einlaufsöffnung reicht, und die Zufuhr soll recht gleichmäßig durch ein kontinuierliches Fördermittel geschehen.

Als solches Fördermittel ist eine kleine Schnecke vorgesehen, welche die Griesen direkt in die Eingabeöffnung des hohlen Zapfens einführt.

Die Wirkung des Apparates beruht nach Angabe des ersten Konstrukteurs Davidson darauf, daß je feiner das Material bei fortschreitendem Mahlprozesse wird, desto größer das Verhältnis zwischen dem Gewicht der Mahlkörper und seinem eigenen sein muß, um eine weitgehende Feinung zu erzielen. Da nun die Eingabe bei der ersten Konstruktion zentral, der Auslauf aber peripherisch war, so lasteten die Flintsteine, deren Gewicht an jeder Stelle der Trommel dasselbe bleibt, zu Anfang nur zu einem Teil, zum Schluß mit ihrem ganzen Gewicht auf dem Mahlgut.

Ueber die prinzipielle Richtigkeit dieses Satzes zu streiten, ist hier nicht der Ort. In der Praxis ist jedenfalls diese Theorie längst überholt. Es ist vielmehr durchaus gleichgültig, wo das Material eintritt und wo es austritt. Es kann z. B. geradezu der ersten Konstruktion entgegengesetzt, also peripherisch ein- und zentral auslaufen, ohne daß dies auf die Leistung der Mühle auch nur den allergeringsten Einfluß hat.

Die konstruktiv einfachste und beste Anordnung dürfte wohl die Griesmühle des Grusonwerkes haben, welche zentral ein- und zentral ausführt, und das mit aus dem Grunde, weil bei dieser Anordnung am Auslauf noch die Anbringung eines Rostkorbes möglich wird. Die groben Steine etc. werden bereits schon vor den Schlitzen in der hinteren Stirnwand zurückgehalten, feinere Splitter dagegen werden durch den Rostkorb nach außen getragen.

Der Apparat ist für Trocken- wie für Naßmahlung gleich gut geeignet; für letztere ist er gewöhnlich etwas kürzer, dagegen etwas größer im Durchmesser. Der Antrieb erfolgt durch Rädervorgelege, Fest- und Losscheibe. Der Kraftbedarf geht von 30—70 Pferdestärken, je nach Größe des Apparates, beanspruchter Leistung und Feinheit des aufgegebenen Grieses sowie des erzeugten Feinmehles.

Die Leistung einer 6 m Mühle beträgt für Rohmehl etwa 2,700 bis 3,600 kg pro Stunde; für Zementgriese genügt meist eine 5 m Mühle, mit einer Leistung von etwa 15 Faß pro Stunde. Hierbei ist angenommen, daß der Gries Sieb No. 40 oder wenigstens doch No. 30 passiert hat. Ein solcher Gries enthält bereits ca. 50 % Feinmehl.

Ueber die Behandlung der Griese hinter dem Auslauf der Kugelmühle und vor Eingabe in die Rohrmühle ist vielfach gestritten worden, meist leider auf dem Papier.

Die Anordnung, die auch meist in der Praxis ausgeführt ist, aus dem Mahlgut der Kugelmühle erst das Feinmehl abzusieben und nur den eigentlichen Gries auf die Rohrmühle aufzugeben, ist nach mehrfachen Versuchen des Verf. in dieser Allgemeinheit grundfalsch und völlig unrationell.

Unrationell aus dem Grunde, weil dann erst wieder zwischen Kugel- und Rohrmühle ein System von Sieben nebst den dazugehörigen Elevatoren etc. eingeschaltet werden muß und damit zunächst die so überaus einfache Betriebs-einrichtung unnötig kompliziert wird, und besonders auch das Sieb, der Schrecken jedes Zementtechnikers, das durch die Rohrmühle entbehrlich geworden war, wieder seinen Einzug in die Mühle hält.



Damit ergab sich zugleich, daß die scheinbare Ersparnis an Kraft durch die Siebe und Elevatoren wieder aufgebraucht wurde.

Und schließlich, was das wesentlichste ist: es macht im Verhältniß nur recht wenig aus, wenn man das Feinmehl in den Griesen beläßt, statt es aus denselben auszusieben.

Der Einzige, der diesen Versuch (außer dem Verf.) angestellt oder doch wenigstens öffentlich beschrieben hat, ist Bührig<sup>1)</sup>. Er hat Zementklinker auf der Kugelmühle mit Sieb No. 25 geschrotet und dann einerseits den erzeugten Gries direkt einer Rohrmühle zugeführt und andererseits erst durch Sieb No. 80 das Feinmehl abgeseibt und dann nur den Rückstand auf diesem Siebe auf die Rohrmühle gebracht. Hierbei war das Mahlgut aus der Kugelmühle zu ca. 60 % Feinmehl gegenüber ca. 40 % Griesen ermittelt worden.

Es zeigte sich hierbei, „daß die Produktion beim II. Versuche (also *mit* Zwischensiebung) zwar eine etwas größere, dagegen die Mehlfeinheit des erhaltenen Zementes eine etwas geringere war, als beim I. Versuche, wodurch die größere Leistung aufgewogen wird“.

„Die Zwischensiebung hat demzufolge (nach Dr. Bührig) keinen Vorteil, sondern nur den Nachteil, daß durch Einschaltung völlig entbehrlicher Hilfsmaschinen die Anlage verteuert, der Kraftverbrauch gesteigert und der Betrieb kompliziert wird.“

\* \* \*

*Kugel(roll)mühlen.* Der Gedanke, die Zentrifugalkraft einer in einem Mahlring frei laufenden oder entsprechend angetriebenen Kugel zur Zerkleinerung auszunützen, ist von Morel ausgegangen. Derselbe ließ in einem vertikal gestellten Mahlgehäuse eine einzelne, größere Kugel rotieren und verwertete den durch die Zentrifugalkraft derselben auf die Mahlbahn ausgeübten Druck zum Mahlen des dazwischen eingegebenen Mahlgutes.

Diese Konstruktion änderten Gebr. Pfeiffer-Kaiserslautern dahin ab, daß in ihrer *Horizontalkugelmühle* (Fig. 102) die Vermahlung des aufgegebenen Mahlgutes durch geschmiedete Stahlkugeln *d* bewirkt wird, welche in einem konkaven, der Kugelform angepaßten, ausgekehlten Mahlring *c* laufen und durch ein Armkreuz *e* angetrieben werden. In Bewegung gesetzt, laufen diese Kugeln, im ganzen sieben in jeder Mühle, infolge ihrer bedeutenden Schwere, ca. 22,5 kg, und der Zentrifugalkraft bei etwa 160—165 Touren in der Minute auf der äußeren Peripherie des Mahlringes entlang und zermalmen infolge der dabei entwickelten, äußerst energischen Kraft das Mahlgut. Die Zuführung desselben erfolgt durch einen mit dem Armkreuz *e* fest verbundenen und mitrotierenden Trichter *b* und den feststehenden Aufschütter *a*, wobei der Zulauf durch schiffsschraubenartige Flügel reguliert wird; natürlich kann man dafür auch einen gewöhnlichen Rüttelschuh oder ein kleines Speiseband nehmen. Der Mahlring und das Armkreuz nebst den Kugeln sind von einem

<sup>1)</sup> Tonindustrie-Ztg., 1900, S. 862.

doppelten Blechmantel umgeben, von denen der äußere i auch nach oben hin vollkommen staubdicht durch eine Decke abgeschlossen wird.

Zugleich mit dem Armkreuz und dem rotierenden Trichter dreht sich auch noch, fest mit diesen verbunden, ein Ventilator h. Ist nämlich das Mahlgut von den Kugeln staubfein zerrieben, so wird das Mehl von dem durch diesen Ventilator erzeugten Luftstrom abgesogen und gelangt in den Zwischen-

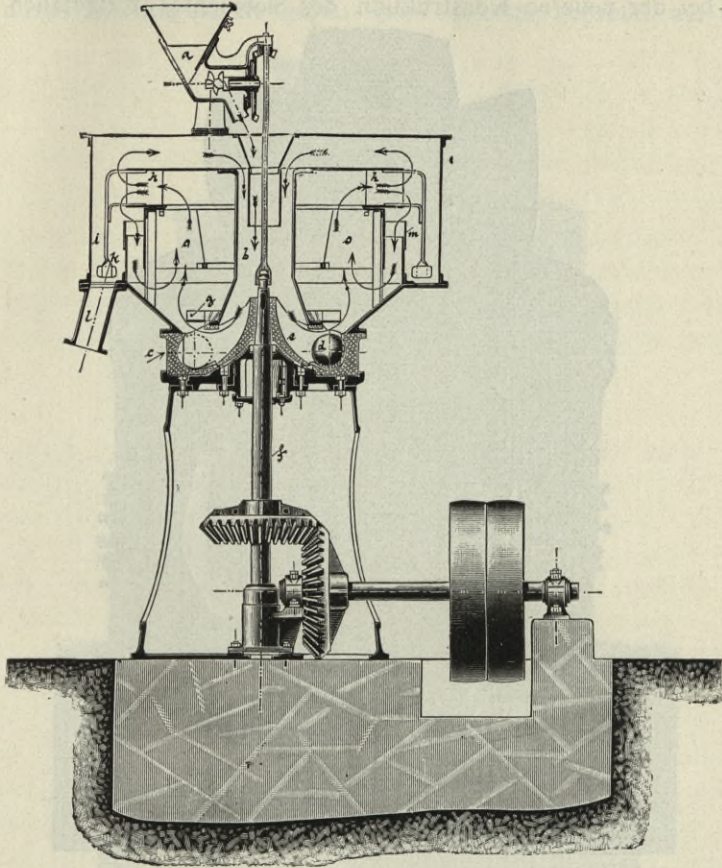


Fig. 102.

raum zwischen den inneren und den äußeren Mantel, wo es durch Abstreicher k dem Abfallstutzen l zugeführt wird; der schwerere Gries fällt stets von selbst wieder in die Mühle zurück.

Früher bestand der innere Mantel aus einem mit Sieben bespannten Rahmen, gegen welche das Mahlgut nach dem Zerreiben durch Sichtflügel geschleudert wurde: das genügend feine Mehl passierte die Siebe, der Gries fiel wieder in die Mühle zurück. Mit dieser älteren Konstruktion hat Verf. längere Zeit gearbeitet und Leistungen an Zementfeinmehl bis 750 kg pro Stunde erzielt, bei einer Mehlfeinheit von ca. 1 % Rückstand auf 900, und 15—16 % Rückstand auf 4,900 Maschen; der Kraftaufwand betrug etwa

12 Pferdestärken. Bei einem Versuch mit besonders gut vorgeschrotetem Material, grobem Gries, stieg die Leistung sofort ganz bedeutend. Es zeigt das, daß der Apparat ein recht guter Feinmahlapparat ist. Und in der Tat lieferte die Pfeiffer'sche Horizontal-Kugelmühle nach Dr. W. Michaëlis bei seinen Untersuchungen auf Mehlfeinheit (mittels Schlämmens) den höchsten Prozentsatz an Feinmehl.

Daß bei der neueren Konstruktion der Siebmantel fortgefallen ist, hat

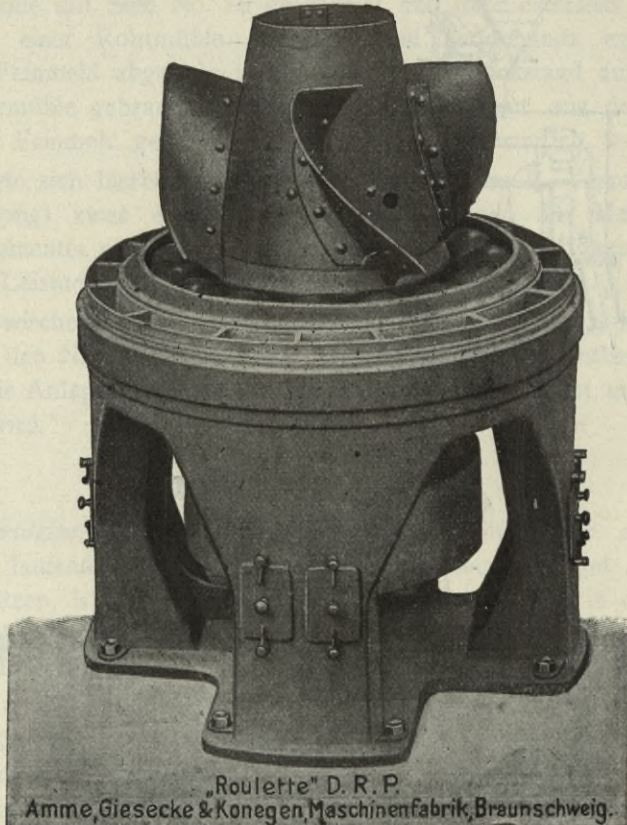


Fig. 103.

sich nicht bewährt. Der Kraftverbrauch stieg nicht unerheblich, ohne daß dem gegenüber irgendwelche Vorteile sich ergaben. —

Der Verschleiß des Apparates hat sich immerhin größer herausgestellt, als zuerst angenommen wurde. Da aber die Bedeutung dieses Apparates als spezieller Feinmahlapparat nicht verkannt werden konnte, besonders auch da, wo es sich um Vermahlung granulierter Hochofenschlacken handelte, so ist von anderer Seite der Versuch gemacht worden, den Apparat, besonders unter Berücksichtigung der dem Verschleiß in erster Linie unterliegenden Stellen, entsprechend umzubauen, und dieser Versuch scheint in mancher Hinsicht recht gelungen zu sein.

Die „Roulette“ der Firma Amme, Giesecke & Konegen-Braunschweig hat den Zweck, auf ca. 12—15 mm vorzerkleinertes Material, Rohmaterial ebenso wie Klinker, direkt zu Feinmehl zu vermahlen. Die Maschine bildet ein in sich durchaus geschlossenes Mahlsystem, also ohne besonders aufzustellende Sichtapparate.

Das Mahlprinzip besteht wie bei Morel resp. Pfeiffer darin, daß Stahlkugeln, durch Zentrifugalkraft gegen einen Mahlring gepreßt, auf diesem frei

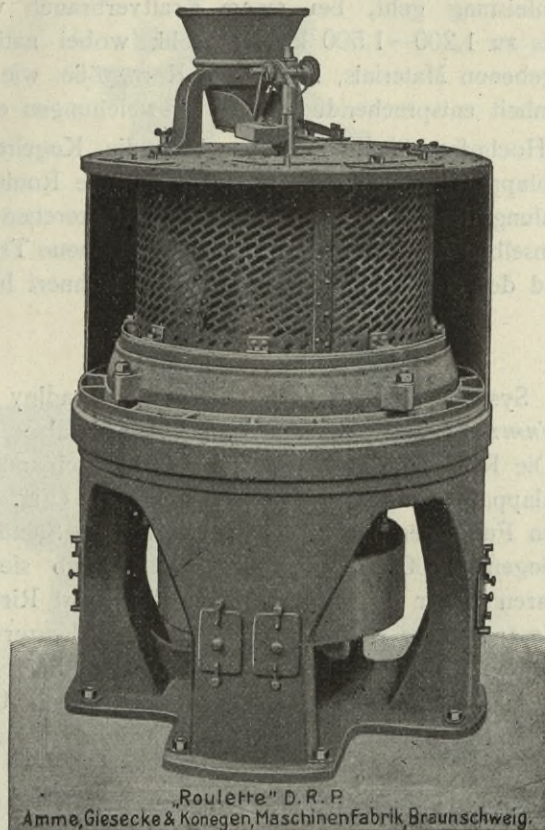


Fig. 104.

entlang rollen und dadurch ein Zermahlen des Mahlgutes bewirken. Bemerkenswert an der Maschine ist, daß Kugel an Kugel liegt (Fig. 103). Der Antrieb derselben erfolgt nicht wie bei Pfeiffer durch Treiber, welche sehr viel Kraft vergeuden und die Ursache des großen Verschleißes sind, sondern nur durch einen glatten Teller oder Scheibe. Es findet also auf diesem wie auf dem Mahlring ausschließlich eine rollende Reibung statt, wodurch, wie z. B. aus Kugellagern bekannt ist, im Vergleich zu den älteren Mühlen mit Treiberkreuz eine wesentliche Verminderung des Kraftbedarfes erzielt wird.

Das fertige Mahlprodukt wird durch eigenartige Windflügel nach oben

gezogen und durch ein verhältnismäßig grobes Sieb geschleudert, wo eine Sichtung des Mehles vom Griese bewirkt wird (Fig. 104).

Das Feinmehl fällt, ohne daß Abstreicher nötig sind, frei durch die vier Auslauföffnungen der Mühle heraus. Auch der Wegfall dieser Abstreicher ist ein für den verminderten Verschleiß des Apparates wesentlicher Gewinn.

Der Antrieb der Roulette erfolgt entweder durch einen halbverschränkten Riemen oder durch Kegelrädervorgelege.

Die Stundenleistung geht, bei einem Kraftverbrauch von ca. 15—20 Pferdestärken, bis zu 1,200—1,500 kg Feinmehl, wobei natürlich durch die Natur des aufgegebenen Materials, Härte und Korngröße, wie auch durch die verlangte Mehlfineinheit entsprechende größere Abweichungen eintreten werden.

Außer für Hochofenschlacken, für welche die Kugelrollmühle bislang noch als Feinmahlapparat unerreicht ist, eignet sich die Roulette vornehmlich auch zur Vermahlung der kleinen (erbsengroßen) Klinkerchen aus dem Drehofen, also für denselben Zweck, für welchen auch die neue Trommelmühle des Grusonwerkes und der entsprechende Apparat von Löhnert bestimmt sind.

\* \* \*

Statt eines Systems von Kugeln läßt die Bradley Pulverizer Co. bei ihrer *Griffinmühle* eine einzelne pendelnde Walze auf dem Mahlring rotieren. Die Konstruktion dieser auch in Deutschland verschiedentlich aufgestellten Mahlapparate ist in kurzem die folgende (Fig. 105). An einer kräftigen, eisernen Fundamentplatte gehen vier eiserne Ständer, etwas nach der Mitte zu gebogen, 2,000 mm hoch nach oben, wo sie sich zu einem konisch verstellbaren Lager für die Antriebswelle nebst Riemenscheibe vereinigen. Zwei dieser Ständer tragen noch auf einer Verlängerung eine Doppelkonsole als Führung für die durchbohrte Spindel, deren Bohrung als Schmieröffnung dient. Inmitten der Riemenscheibe ist mittels eines Universalgelenkes — einer Kugel mit daran befindlichen, in Gleitköpfen arbeitenden Zapfen, welche in Aussparungen in der Riemenscheibennarbe auf- und abgehen — eine unten frei bewegliche, pendelnde Welle aufgehängt, welche unten eine schwach konische, 46 kg schwere Walze von 457 mm Durchmesser, den eigentlichen Mahlkörper, trägt. Unter der Walze sind bei der Trockenmühle noch vier Sichtflügel angebracht, welche als Ventilatoren zum Auswerfen des gefeinten Materials dienen, ferner unterhalb derselben noch weitere vier Flügel, welche das Mahlgut stetig aufrühren sollen. — Der ganze untere Teil der Mühle ist von einem Mörser mit dem Mahlring umgeben, welcher letzterer 150 mm hoch ist und einen Durchmesser von 762 mm hat. Gegen diesen Mahlring wird bei einer gewissen Schnelligkeit des Apparates die Walze angepreßt und läuft, in entgegengesetzter Richtung zur Totalbewegung, frei auf demselben herum.

Ueber diesem Zerkleinerungsraum ist ein mit Sieben bespannter Rahmen angebracht. Der Schutzmantel um diesen Siebrahmen trägt weiterhin nach oben noch einen kleinen, konischen, offenen Blechmantel, der so geformt ist,

daß die pendelnde Welle gerade genug Spielraum in ihm hat. Zwischen dem Siebrahmen und seinem Schutzmantel befinden sich unten in der Mörserfundamentplatte Oeffnungen, welche alle in einen Sammelbehälter münden, der sich wieder über einer Transportschnecke öffnet.

Außerdem ist mit der Mühle noch ein Speiseapparat verbunden, welcher automatisch und kontinuierlich das Mahlgut der Mühle zuführt. Das Mahlgut fällt dabei zunächst in den Mörser, wird teils sofort direkt, teils durch die

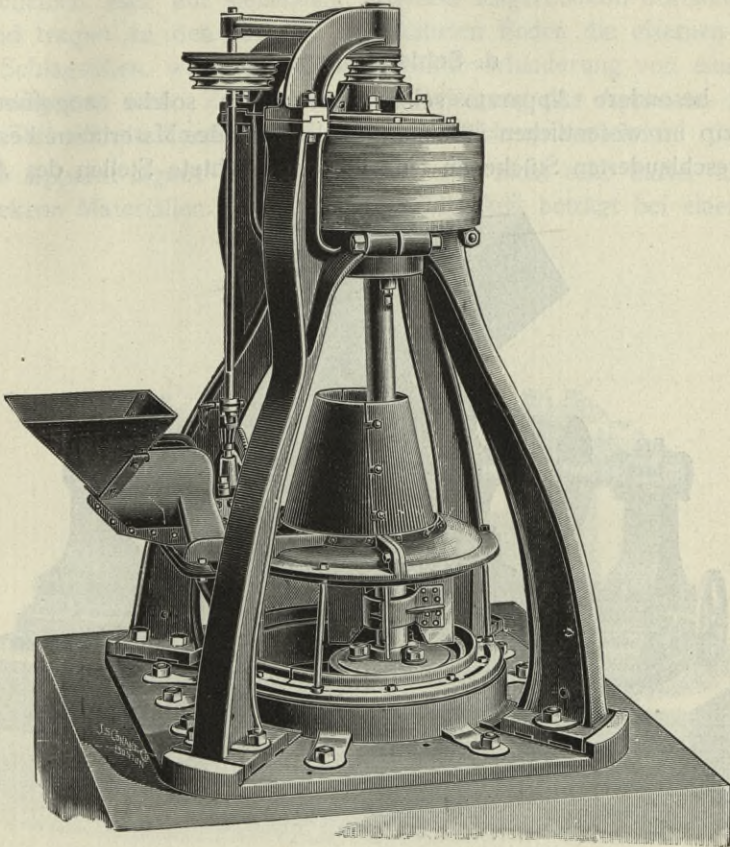


Fig. 105.

unteren Rührflügel zwischen die pendelnde resp. rollende Walze und den Mahlring geworfen und hier zermalmt. Das gemahlene Material wird durch den kräftigen Luftstrom der obersten Ventilator- resp. Sichtflügel gegen die Siebe oberhalb des Mahlringes geworfen; das genügend feine Mehl passiert die Siebe, während der Gries wieder in die Mühle zurückfällt und von neuem vermahlen wird. Der Luftstrom wird durch die Oeffnung im oberen konischen Blechmantel eingesaugt und geht dann durch die Siebe: das Feinmehl rieselt durch die Oeffnungen und Rinnen in den Sammelbehälter hinab und fällt hier in die Transportschnecke. Der Apparat arbeitet nahezu staubfrei.

Die Mühle macht in der Minute 200 Touren. Ihr Kraftverbrauch wird sehr verschieden angegeben, von 21 bis zu  $34\frac{1}{2}$  Pferdestärken; entsprechend der Leistung von stündlich 10—12 Faß Zement, dessen Mehlfeinheit zwischen  $15-22\frac{1}{2}\%$  auf dem 4,900 Maschensieb schwankt. Bei dieser Leistung etc. beträgt der Druck der Walze auf den Mahlring etwa 3,000 kg.

Ueber den Verschleiß gehen die Angaben ebenfalls erheblich auseinander und zwar pro Faß Zement, à 170 kg netto, von  $2\frac{1}{2}-10$  Pfennig. —

\* \* \*

#### d. Schleuderapparate.

Als besondere Apparate seien noch einige solche angeführt, deren Mahlprinzip im wesentlichen in einem Schleudern der Materialien besteht, wobei die geschleuderten Stücke an einzelne vorgerichtete Stellen des Apparates

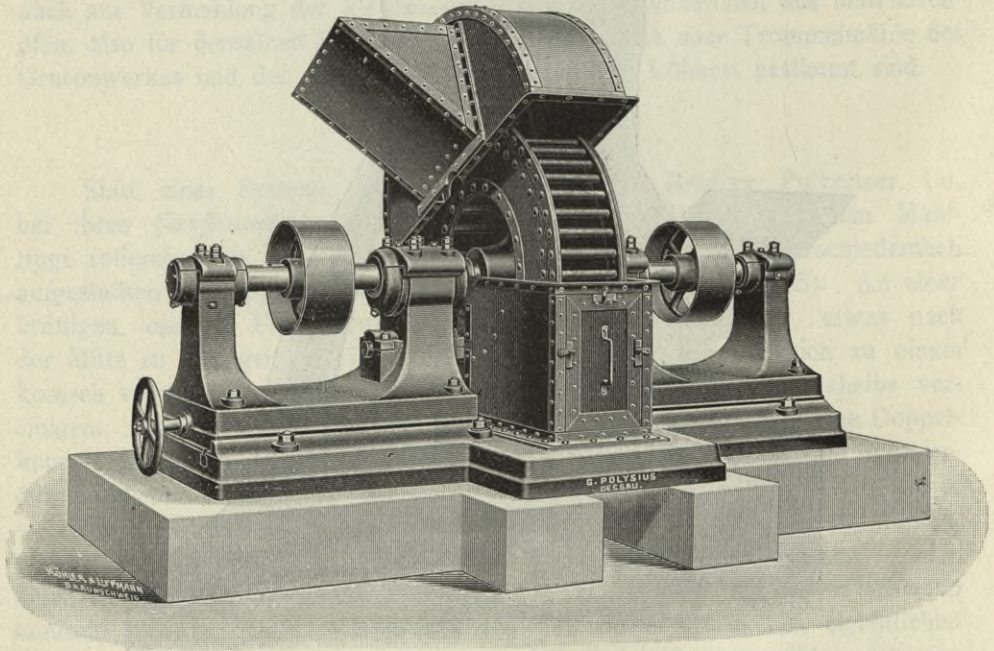


Fig. 106.

auftreffen und dort zerkleinert werden. Es sind das der Desintegrator, die Schlagkreuzmühle, die Gloriamühle und der Moustierbrecher.

Vornehmlich geeignet zur Zerkleinerung von Ton, Wiesenkalk, mürben Mergeln etc. ist der *Desintegrator* (Fig. 106). Derselbe besteht im wesentlichen aus meist 3 konzentrisch angeordneten Doppelreihen von Stahlstäben, welche auf zwei einander parallel gegenüberstehenden, schmiedeeisernen Scheiben befestigt sind, die in entgegengesetzter Richtung rotieren. Dabei drehen sich die drei Stabreihen der einen Scheibe zwischen den drei Stabreihen der anderen. Das durch einen Fülltrichter eingegebene Material wird infolge der

Zentrifugalkraft nach außen geschleudert, gerät zwischen die durcheinander laufenden Stäbe und wird von diesen vollständig zerrissen und zerschlagen, bis es endlich die letzte Stabreihe passiert hat. Von der Anzahl dieser Stabreihen sowie ihrer Tourenzahl hängt, so weit hierfür der Apparat in Betracht kommt, der Grad der Feinheit des erzielten Mahlproduktes ab; je mehr Stifte und je größer die Geschwindigkeit, umso feiner das Mahlgut, allerdings auch umso größer der Kraftbedarf.

Die Konstruktion ist recht einfach. Die beiden Antriebswellen mit den Riemenscheiben sind auf stehenden, eisernen Lagerböcken horizontal aufgelagert und tragen an den einander zugekehrten Enden die eisernen Scheiben mit den Schlagstiften, welche übrigens zur Staubverhinderung von einem Blechgehäuse umgeben sind. Zur bequemeren Reinigung des Apparates ist zudem der eine Teil mittels Handrad und Spindel seitlich auszurücken.

Der Apparat eignet sich insbesondere für nicht sehr harte, auch nicht ganz trockene Materialien. Seine Leistungsfähigkeit beträgt bei einem Durch-

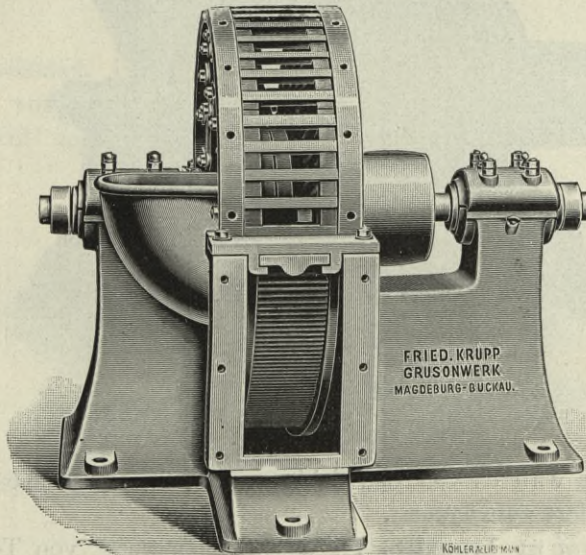


Fig. 107.

messer der äußeren Trommel von 1,600 mm und einer Geschwindigkeit derselben von 300 Umdrehungen in der Minute 12—15,000 kg in der Stunde, entsprechend einem Kraftaufwand von 25—30 Pferdestärken. Das dabei erhaltene Produkt ist je nach seiner Beschaffenheit grob- bis mittelgriesig.

\* \* \*

Die *Schlagkreuzmühle* des Grusonwerkes (Fig. 107) besteht aus zwei Stirnwänden, welche innen mit gerippten Hartgußplatten bekleidet sind und



eine seitliche, ringförmige Begrenzung der Mahlbahn darstellen. Der andere Teil des Mahlgehäuses setzt sich aus einer halbzyklindrischen, schmiedeeisernen Haube und einem zweiteiligen, halbzyklindrischen oder vierteiligen, ganzzyklindrischen Roste zusammen. Jeder Rostteil besteht aus einem gebogenen Rahmen und einer größeren Anzahl stählerner Roststäbe, deren Spaltweite nach Bedarf geändert werden kann.

In diesem senkrecht stehenden Mahlgehäuse rotiert mit großer Geschwindigkeit ein Schlagkreuz, das aus 4—6 verstellbaren, stählernen Schlägern besteht und auf die wagerechte Welle fest aufmontiert ist.

Alle dem Verschleiß besonders ausgesetzten Teile sind leicht auswechselbar.

Das Material wird dem Apparate etwa in Faustgröße aufgegeben und durch einen Trichter in der einen Stirnwand in das Innere des Mahlgehäuses

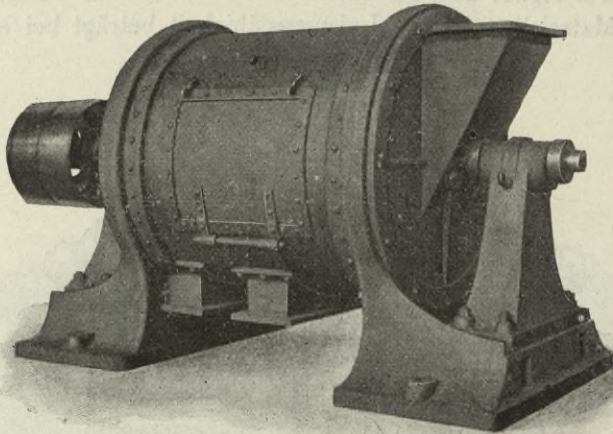


Fig. 108.

eingeführt. Hier wird es von den Schlägern erfaßt, gegen die Mahlbahn geschleudert und dort zertrümmert.

Der Apparat ist besonders für die Zerkleinerung von Ton, Kalk und Gips, also nicht allzu harten Materialien, geeignet. Die Leistung beträgt bei einer großen Mühle von 1,500 mm Durchmesser und 190 mm Breite des Gehäuses für eine Spaltweite des Rostes von 3 mm etwa 5,000 kg in der Stunde. Der Kraftbedarf hierfür stellt sich auf etwa 25 Pferdestärken.

Das fertige Produkt hat meist eine erheblich größere Feinheit, als es der Spaltweite des Rostes entsprechen würde.

\* \* \*

Die *Gloriamühle* des Eisenwerkes vorm. Nagel & Kämp-Hamburg (Fig. 108) besteht aus einer ähnlichen Konstruktion von besonders geformten und angeordneten Schlägern, welche sehr rasch rotieren, die einzelnen Stücke

des eingegebenen Materials heftig gegen einander schleudern und dadurch zerkleinern. Zugleich wird dadurch eine sehr gute Mischung der Materialien bewirkt. Die Größe des aufzugebenden Mahlgutes kann stark über Faustgröße hinausgehen.

Die Leistung (für mittelharte Stoffe) geht je nach Größe des Apparates etc. von 1,000—20,000 kg in der Stunde, bei einem Kraftbedarf von 6—40 Pferdestärken.

\* \* \*

Der *Moustier-Brecher*, der neueste Zentrifugalmahlapparat besteht aus drei Schleuderwalzen, welche das Material nach der Mitte des Apparates werfen, wo es an sich selbst zermahlt wird. Der Apparat, welcher durch Dr. Müller-Rüdersdorf wesentlich verbessert wurde, ist bisher noch so wenig bekannt geworden, daß über seine Leistung, Kraftverbrauch etc. keine exakten Daten zu ermitteln waren.

\* \* \*

Für gewöhnlich kann das Mahlgut, sofern es sonst entsprechend getrocknet und vorgebrochen ist, ohne weiteres den Mahlapparaten, speziell also den Schrot- und Feinmahlapparaten, zugeführt werden. Nur die granu-

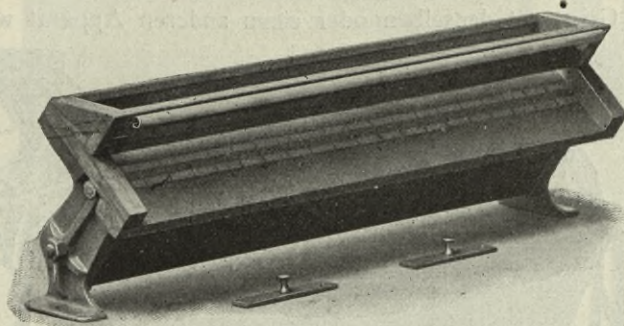


Fig. 109.

lierten Schlacken bedürfen einer noch weiteren Vorbereitung, da sie fast immer mit ganz kleinen Teilchen metallischen Eisens durchsetzt sind. Dieses Eisen würde im Feinmahlapparat und vornehmlich in demjenigen für Schlacken, der Horizontalkugelmühle, der Roulette etc., einen ganz erheblichen Verschleiß sowie eine qualitativ wie quantitativ recht bedeutende Verschlechterung der Leistung bewirken. Um dem vorzubeugen, muß das Eisen unbedingt entfernt werden, und das geschieht vorteilhaft durch sogenannte *Magnetapparate* (Fig. 109), die das Eisen nahezu vollständig aus den Schlacken hervorholen. Derartige Apparate liefert u. a. auch das Eisenwerk vorm. Nagel & Kämp-Hamburg.

### B. Sichtmaschinen.

Wenn das Mahlgut aus den vorbeschriebenen Apparaten nicht schon im Apparate selbst eine entsprechende Sichtung erfährt, wie z. B. in der Kugelmühle, der Roulette, der Griffinmühle etc., oder wenn es nicht überhaupt schon, wie etwa das Produkt aus der Rohrmühle, fertiges Feinmehl ist, so muß

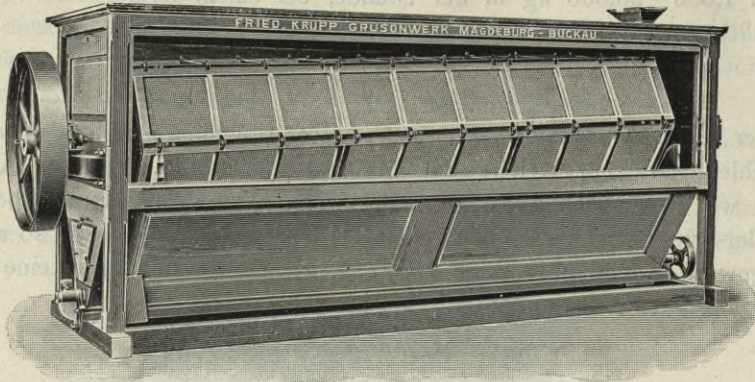


Fig. 110.

es anderenfalls auf besonderen Sichtapparaten in die gewünschten Korngrößen gesondert werden. Und zwar ist aus dem Mahlgut das Feinmehl abzusieben, während der Gries auf denselben oder einen anderen Apparat weitergeht.

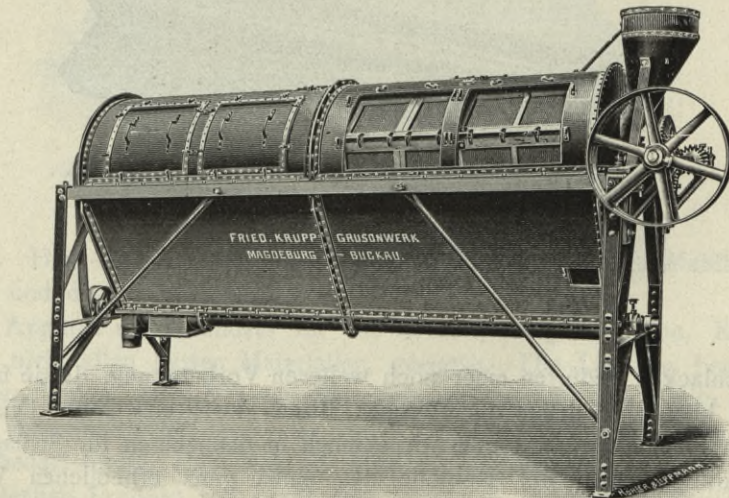


Fig. 111.

Die Vorbrechapparate haben meist überhaupt keine oder doch nur, wie z. B. die Kollergänge, eine nur sehr einfache Art der Sichtung.

Haben wir dagegen das Mahlgut aus einem Unterläufermahlgang, so muß dasselbe, wenn der Gang nicht auf Schrotten eingestellt ist, unbedingt einen besonderen Siebapparat passieren.

Die Sieberei ist also ein zum großen Teil auch heut noch leider unumgängliches Uebel: ein Uebel wegen des starken Verschleißes der Siebe und der, beim vollständigen Reißen solcher, durch mangelhafte Mehlfeinheit des fertigen Produktes sich ergebenden großen Unannehmlichkeiten, aber auch wegen des hierbei erzeugten Staubes.

Letzterer Umstand kann noch am ehesten gebessert werden, indem man die Siebgehäuse gut abdichtet und event. an einen Exhaustor anschließt. Aber der überaus starke Verschleiß bleibt und ebenso der Aerger über ein gerissenes Sieb, wenn man, was zu leicht vorkommt, den Schaden nicht sofort bemerkt.

Unter dem Staube haben naturgemäß auch alle anderen Apparate in der Mühle zu leiden und zwar nicht nur in Bezug auf Verschleiß, sondern auch in ihrer Leistungsfähigkeit, sodaß schon hieraus die Einrichtung einer Entstäubungsanlage erforderlich wird. —

Von den Siebapparaten sind die ältesten wohl die gewöhnlichen *Zylindersiebe*. Es sind das längliche Trommeln, mit leichtem eisernen Rahmenbau,

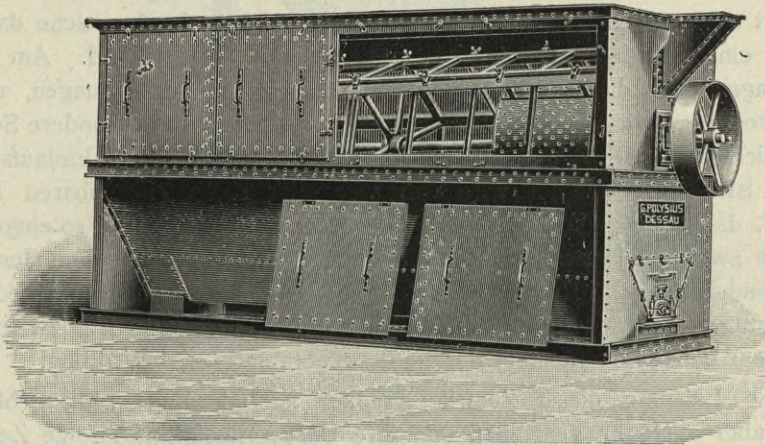


Fig. 112.

welcher mit Sieben von der gewünschten Feinheit bespannt ist, wie z. B. die nebenstehenden Abbildungen (Fig. 110 und 111) es zeigen.

Als Siebgewebe wurden früher Messingdrahtgewebe benutzt; heutzutage geht man immer mehr zu den haltbareren und billigeren Stahlratgeweben über. Die etwas schräg liegende oder konisch auslaufende Siebtrommel wird in einem gut schließenden, eisernen Gehäuse untergebracht, um keinen Staub entweichen zu lassen. Gries und Mehl gelangen zusammen am Einlaufende in die um ihre horizontale Längsaxe rotierende Trommel; auf dem Wege durch das Sieb werden die feinen Teilchen ausgeworfen und fallen in eine Sammelschnecke, während der Gries am anderen Ende ausgetragen wird und durch Becherwerke wieder auf die Feinmahlapparate gelangt. Die Zylinder-

siebe verstopfen sich leider sehr leicht; sie werden deshalb wohl auch mit Abklopfvorrichtungen und automatisch wirkenden Bürsten konstruiert, da sonst die Leistungsfähigkeit bald bedeutend sinkt.

Im Vorderteile der Siebtrommel ist gewöhnlich ein durchlochter Stahlzylinder angeordnet (Fig. 112), um den Stoß des auf die freie Siebfläche auffallenden Materials zu beseitigen.

Die Leistung dieser Siebe schwankt je nach Größe derselben und der verlangten Mehlfeinheit, ist also auch nicht annähernd anzugeben.

\* \* \*

An Stelle dieser Zylindersiebe waren eine Zeit lang die *Zentrifugalsichtmaschinen* sehr in Aufnahme gekommen. Dieselben bestehen aus einer Schleuderwelle, dem Mantel und der darunter liegenden Schnecke. Das kontinuierlich zufließende Mahlgut, Mehl und Gries, wird durch eine kleine, kurze Schnecke in den Mantel eingetragen, von den auf der Schleuderwelle aufsitzen den Einfallschaufeln erfaßt und weiter ins Innere gezogen. Die Schleuder selbst besteht aus vier Schaufeln, die parallel zur Axe liegen, und von denen zwei mit schaufelartigen Aufbiegungen versehen sind, durch welche das Mahlgut von einem Ende des Apparates zum anderen bewegt wird. Am Einfallende tragen auch die beiden glatten Schaufeln solche Aufbiegungen, um dort die Bewegung etwas zu beschleunigen. Am Ausfall führen besondere Schaufeln den gesichteten Gries der Austragschnecke zu, die analog der Einlaufschnecke gelegen ist. — Der Mantel wird von vier oder sechs einsetzbaren Rahmen gebildet, die in einem festen Gestell liegen. Dieses letztere ist so eingerichtet, daß sich zwischen je zwei Rahmen eine Furche bildet, die dem Innenraum des Zylinders zugekehrt ist. Das Siebgut füllt diese Furchen, wird durch die Drehung des Mantels nach oben gehoben und fällt frei zwischen die Schleuder: dabei kommt stets der ganze Siebrahmen zur Wirkung.

Die Leistung dieser Zentrifugalsichter ist allerdings sehr groß, noch größer aber auch ihr Verschleiß und ihre Unzuverlässigkeit infolge Zerreißen der Siebe.

\* \* \*

Ein anderes Sichtsystem zeigen die *Planrüttelsiebe*, auch *Schurrsiebe* genannt. Dieselben (Fig. 113) bestehen aus einem starken Rahmen von etwa 4,500 mm Länge und 1,500 mm Breite, der statt mit gewebten Sieben mit gelochten Blechen versehen ist und beliebig schräg verstellt werden kann. Das obere Ende lagert in einer festen Axe, während das untere durch eine verstellbare Daumenwalze etwa 750—900mal in der Minute stärker oder schwächer gehoben und wieder fallen gelassen wird. Je nach der Stärke des Rüttelns und dem Neigungswinkel des Siebes richtet sich die Leistung des Apparates. Wird das Sieb sehr steil gestellt, so ergibt sich ein sehr feines Mehl, aber die Quantität ist geringer.

Das Sichtgut wird durch eine Verteilungsschnecke oben aufgegeben und rutscht über das Sieb hinunter; das Feinmehl geht durch die Löcher der Siebe, der Gries in eine Schnecke am Fußende des Rahmens. Zur Verhütung des Stäubens ist der ganze Siebrahmen mit einem übergespannten Plan dicht verschlossen.

Ein Sieb von obiger Größe liefert in der Stunde etwa 2,000 kg Feinmehl, von welchem ca. 75 % ein Sieb von 4,900 Maschen passieren. Platz- und Kraftbedarf ist sehr gering. —

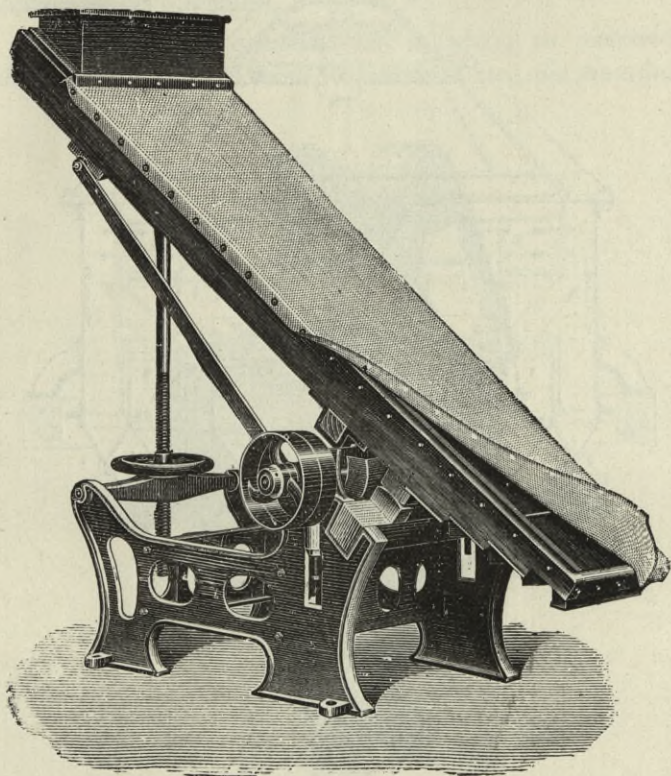


Fig. 113.

Die Unmöglichkeit indessen, sehr fein und doch dabei zugleich große Quantitäten abzusieben, sowie das bedeutende Stäubens des Apparates lassen ihn für einen rationellen Großbetrieb nicht sonderlich geeignet erscheinen.

\* \* \*

Eine große und wohlverdiente Verbreitung hat dagegen der *Windseparator* nach Mumford-Moodie gefunden, der jetzt von Gebr. Pfeiffer-Kaiserslautern als Doppelseparator gebaut wird (Fig. 114 und 115). Hierbei sollte vornehmlich eine bessere Verteilung des Aufgabegutes vom Streuteller aus und damit eine bessere Ausnutzung des zirkulierenden Luftstromes erreicht werden.

Dies wurde ermöglicht durch die Anordnung zweier Streuteller untereinander b und d, von denen der erste in der bisherigen Form, der zweite mit einem größeren Durchmesser ausgeführt, nach oben offen und in der Mitte mit einer Öffnung versehen ist. Das Mahlgut gelangt durch den Einlauf a auf die Schleuderscheibe b, wird von dieser gegen den Ring c geworfen und fällt von

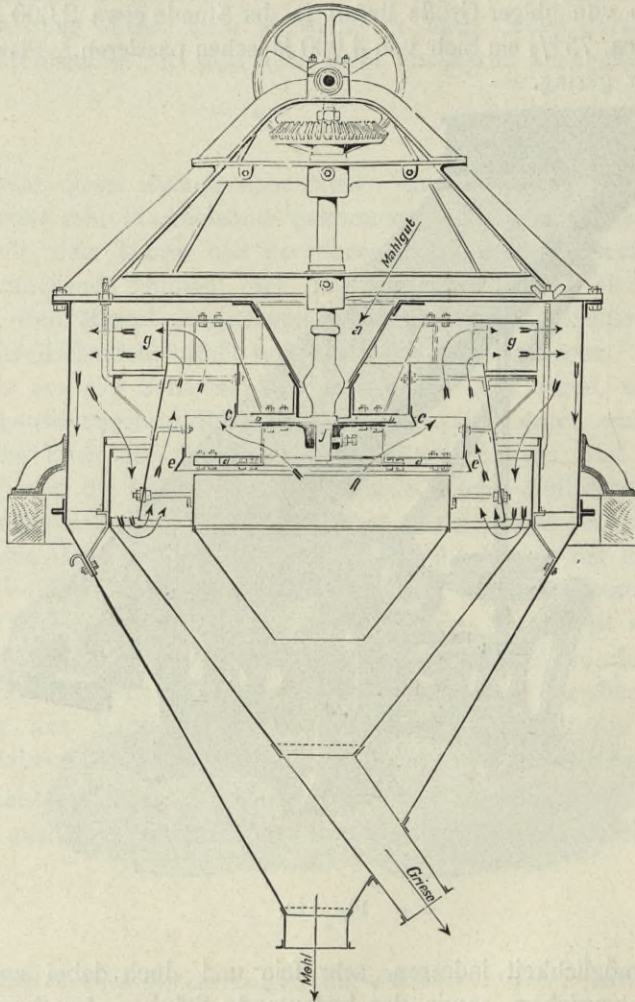


Fig. 114.

da in einem regenartigen Strom nach unten auf den Streuteller d. Unterwegs wird es von dem durch die Mittelöffnung des letzteren kommenden Luftstrom durchstrichen, welcher die feinen Teile ausscheidet. Der Streuteller d schleudert das Material neuerdings und wegen seines größeren Durchmessers mit größerer Kraft nach außen gegen Ring e. Infolge dieser wiederholten energischen Schleuderung ist die Lockerung des Materials eine vollständige, alle Mehlteilchen lösen sich leicht von den Griesen, die nach oben steigende Luft nimmt

die ersteren mit fort, während die Griesen nach unten dem Griesauslauf zu fallen. Die mit Staub durchsetzte Luft trennt sich von dem Mehle infolge der Zentrifugalwirkung und kehrt alsdann unter die Streuteller zurück, so einen fortwährenden Kreislauf beschreibend. Das Mehl sinkt im äußeren Trichter nach unten und verläßt den Apparat durch den Auslauf, um den weiteren Verwendungszwecken zugeführt zu werden. Der Gries, welcher für den zirkulierenden Luftstrom zu schwer ist, sinkt dagegen im inneren Mantel durch den Abfallstutzen in eine Schnecke und wird durch ein Becherwerk von neuem den Feinmahlapparaten zugeführt.

Sehr zweckmäßig ist, besonders bei schwierig zu sichtendem Material, z. B. Kalkhydrat, nur lufttrockenem Rohmaterial etc., die Anordnung von zwei

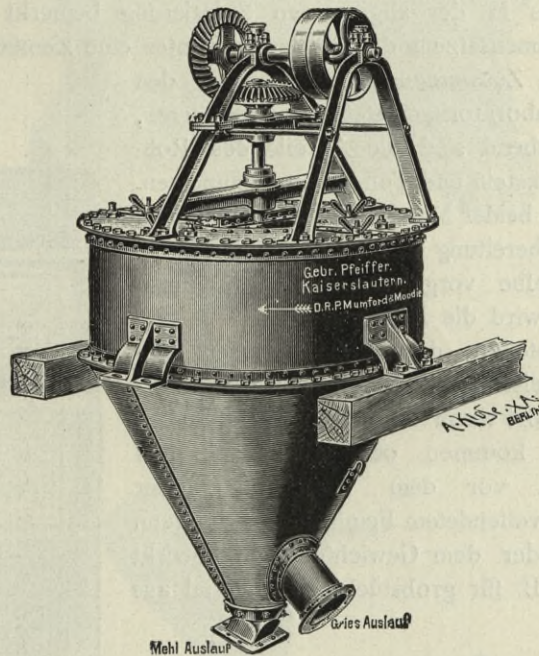


Fig. 115.

oder selbst drei Separatoren hintereinander. Die Leistung wird, da den Griesen dadurch all und jedes Feinmehl entzogen wird, qualitativ wie quantitativ erhöht.

Der Verschleiß ist ganz minimal, der Kraftbedarf sehr gering, je nach Größe des Apparates 2—3 Pferdestärken. Die Leistung schwankt je nach Art und Feinheit des aufgegebenen Sichtgutes und dem Bedürfnis der Feinsichtung und beträgt bei einem Separator von 2.100 mm Durchmesser und ca. 200 Touren in der Minute etwa 2,500 kg Feinmehl in der Stunde.



Es soll gern zugegeben werden, daß ein Sichtapparat wie der vorstehende ein ganz vorzüglicher zu nennen ist, da er ohne wesentlichen Verschleiß ist, keinerlei Wartung benötigt, sich nicht durch etwas Feuchtigkeit im Sichtgut verschmiert und stetig ein und dieselbe Qualität Mehl giebt.

Immerhin ist selbst der idealste Sichtapparat noch lange nicht so gut wie gar keine Siebvorrichtung in der Mühle, wenigstens so weit es sich um die eigentliche Feinsichtung handelt. Und darum wird ein Mahlapparat, der ohne alle Siebe arbeitet, wie die Rohrmühle, immer einen großen Vorsprung vor sonst verhältnismäßig gleichartigen Mahlmaschinen haben.

### C. Abteilvorrichtungen.

Wie bereits in der allgemeinen Skizzierung bemerkt wurde, ist die chemische Zusammensetzung des Portlandzementes eine ziemlich eng begrenzte. Es ist also diese Zusammensetzung je nach den Befunden im Laboratorium stetig zu regulieren, und dementsprechend sind die Anteile des Rohgemenges an Kalkstein und Ton genau abzumessen. Dieses Abmessen beider Materialien kann in jedem Stadium der Aufbereitung bis zum Ziegeln erfolgen. Je früher dasselbe vorgenommen wird, umso besser natürlich wird die Mischung sein.

Dieses Abteilen der Rohmaterialien geschieht nun meist gleich noch vor dem Vorbrechen, also sofort wenn die einzelnen Materialien aus dem Bruche kommen, oder aber nach dem Trocknen bezw. vor dem Vorschroten oder schließlich nach vollendetem Feinmahlen. Es kann dem Volumen oder dem Gewichte nach bewirkt werden: also z. B. für grobstückiges Material aus

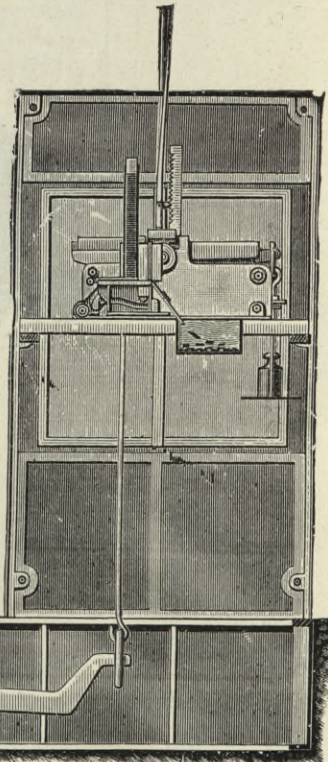
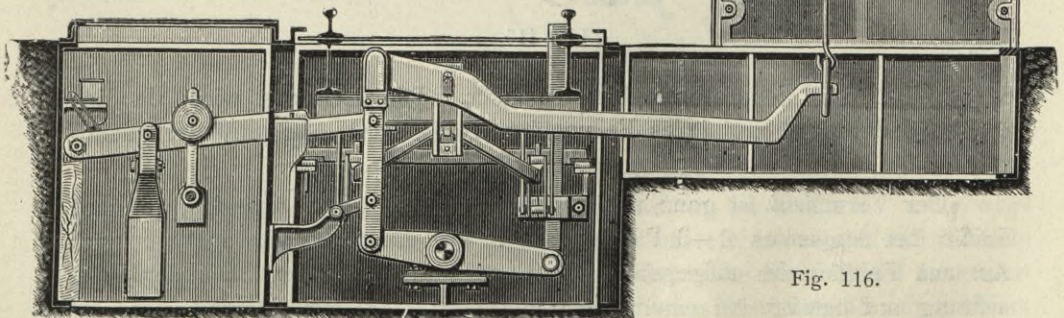


Fig. 116.



dem Bruche durch die üblichen Dezimalwagen, für Griese und Feinmehl durch automatische Wagen, wie die Hennefer Wage, und für Feinmehl dann noch durch Abstreicher oder auch durch Schlitzverteiler. —

Die Anfuhr der Rohmaterialien aus dem Bruche erfolgt entweder auf den bekannten Rollbahnen oder auf Hängebahnen. Für beide Arten gibt es vollkommen automatische Wägeapparate, wie z. B. diejenigen von Schenck-Darmstadt (Fig. 116 u. 117).

Diese Schenck'schen Kontrolwagen wägen durchaus selbsttätig ab und registrieren ebenfalls jede einzelne Wägung, sodaß man jederzeit imstande ist,

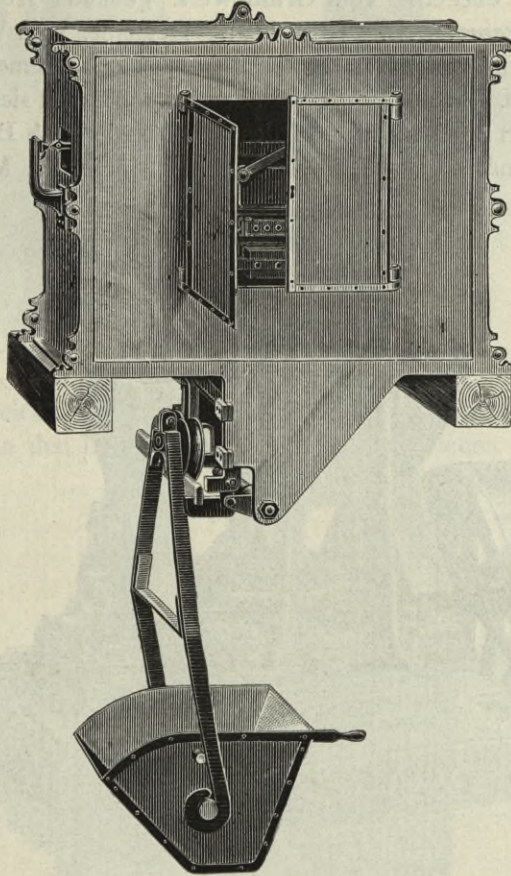


Fig. 117.

am Additionsapparate sich von dem bisher durch die Wage gegangenen Quantum zu überzeugen.

Die Wagen sind weiterhin derartig eingerichtet, daß ein zweimaliges Abwägen unmöglich ist.

\* \* \*

Hat man es statt mit stückigem Material oder groben Griesen mit Mehl zu tun, so kommen hierfür verschiedene Apparate in Betracht.

Zunächst ist hier der *Jochum'sche Teilapparat* (Fig. 118) zu nennen, der vom Grusonwerk gebaut wird. Er besteht aus einem unten mit zwei

Oeffnungen versehenen Trichter, unter welchem ein Teller rotiert. Das auf den Trichter aufgegebene Material fällt kontinuierlich durch verstellbare Schlitzte auf den Teller und wird daselbst am Rande durch genau regulierbare Abstreicher in ganz bestimmten Mengen abgenommen.

Die Stundenleistung des größten Trichters von 800 mm Durchmesser geht bis zu 2,500 l, also nahezu 2,700 kg.

Ein anderer ebenfalls vom Grusonwerk gebauter Abteilapparat ist der *Steinbach'sche Trommelteiler* (Fig. 119). Derselbe, vom Verf. verschiedentlich mit bestem Erfolge eingeführt, besteht aus einer Teiltrommel, über welcher ein Trichter ausmündet. An der Vorderseite desselben befindet sich ein verstellbarer Schieber, der einen Spalt im Auslauf des Trichters je nach Bedarf weiter oder enger zu stellen und damit die Menge des auslaufenden Materials nach Be-

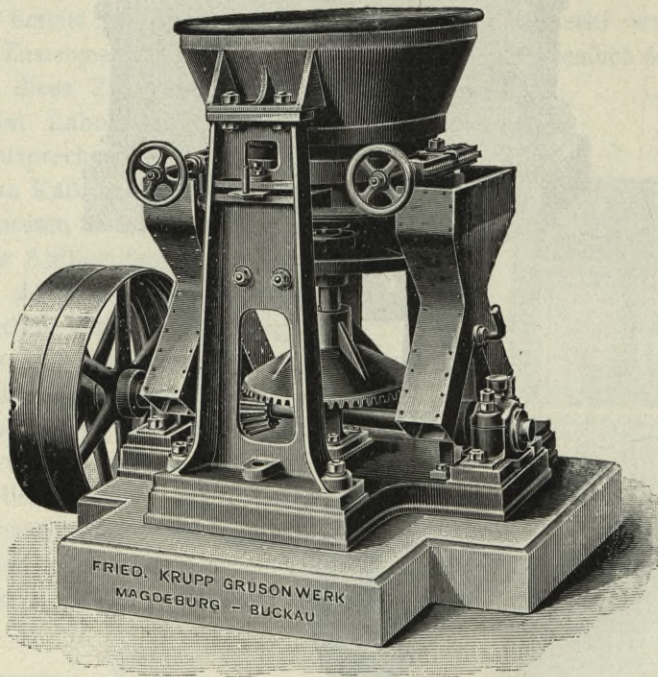


Fig. 118.

lieben zu regeln vermag. Das Material entfließt dem Spalt des Trichters in Form eines endlosen Bandes, das von der Trommel mitgenommen und unten durch einen Abstreicher abgenommen wird. Der Apparat arbeitet vollkommen staubfrei und sehr gleichmäßig; auch kann er auf das feinste reguliert werden. Seine Stundenleistung beträgt bei einem Durchmesser der Trommel von 600 mm und einer Breite von 440 mm bis zu 6,000 kg.

Will man den Apparat gleich noch dazu benutzen, etwa zwei getrennt vermahlene Materialien nach dem Abteilen sofort zu mischen, so läßt man die Ausläufe zweier Trommeln über einer Mischschnecke endigen, wie es die nebenstehende Abbildung zeigt. —

Auch Polysius hat einen *Meßapparat* für Gries, Feinmehl und Schlamm konstruiert (Fig. 120). Derselbe besteht im wesentlichen aus einer mit Aussparungen versehenen Walze. Der Antrieb erfolgt durch ein Vorgelege mit

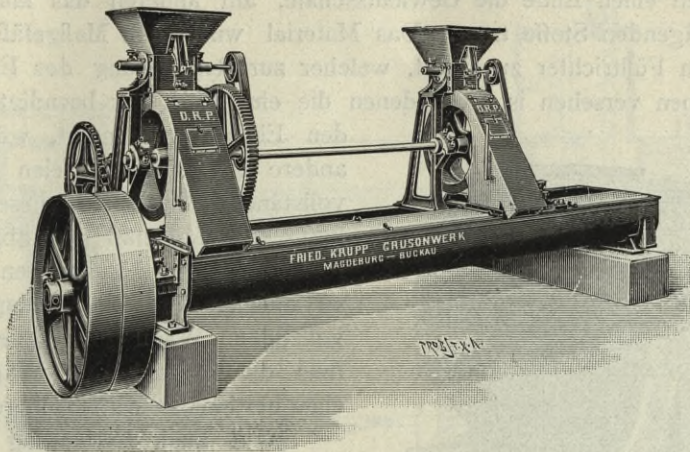


Fig. 119.

Kurbelscheibe, welche mittels einer Kette eine Ratsche in Bewegung setzt. Die Abänderung in der Leistung wird durch Verschieben des Kurbelzapfens

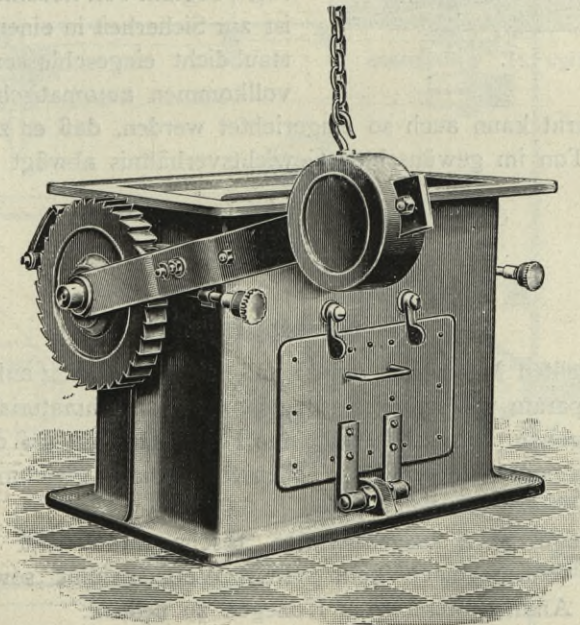


Fig. 120.

oder des Gegengewichtes an der Ratsche bewirkt. Die Stundenleistung des Apparates soll bei einem Durchmesser der Walze von 400 mm und einer Länge von 1,100 mm bis zu 20,000 kg betragen. —

Als vorzüglicher Abteiler ist auch schon seit langem die *Hennefer automatische Wage von Reutter & Reisert* bekannt.

Dieser Apparat (Fig. 121) besteht aus einem gabelartigen Wagebalken, welcher am einen Ende die Gewichtsschale, am anderen das Maßgefäß für die abzuwägenden Stoffe trägt. Das Material wird dem Maßgefäß senkrecht durch einen Fülltrichter zugeführt, welcher zur Regulierung des Einlaufs mit zwei Klappen versehen ist, von denen die eine kurz vor beendigter Füllung

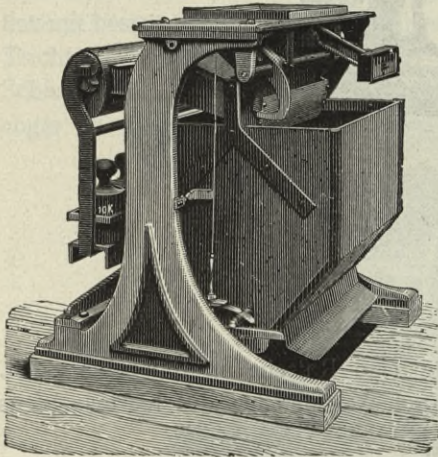


Fig. 121.

den Einlauf vermindert, während die andere ihn beim Einspielen der Wage vollständig absperrt. In diesem Moment kippt das Maßgefäß den abgewogenen Inhalt in einen Abfallstutzen, während zu gleicher Zeit ein Zählapparat die vollzogene Wägung registriert, so daß man die Anzahl der Wägungen in einer bestimmten Zeiteinheit genau kennt. — Sofort nach Entleerung des Maßgefäßes stellt sich dasselbe in die richtige Lage wieder ein, die Einlaufklappen öffnen sich und das Spiel des Apparates beginnt von neuem. Der Apparat ist zur Sicherheit in einem Blechgehäuse staubdicht eingeschlossen und arbeitet vollkommen automatisch.

Der Apparat kann auch so eingerichtet werden, daß er zu gleicher Zeit Kalkstein und Ton im gewünschten Gewichtsverhältnis abwägt und zusammen auskippt.

#### D. Mischapparate.

Die abgeteilten Materialien gehen, falls sie grobstückig aufgegeben waren, auf die Mahlapparate weiter. Sind dagegen zwei Rohmaterialien als fertiges Feinmehl aufgegeben, so sind diese beiden Feinmehle erst auf das innigste mit einander zu mischen, um ein in allen Teilen vollkommen gleichmäßig zusammengesetztes Rohmehl zu ergeben.

Als derartige ganz ausgezeichnete Mischapparate sind diejenigen von Mager-Raupach (Görlitz) nach dem System Weber-Zeidler sowie die Siloeinrichtungen von Amme, Giesecke & Konegen zu nennen.

a) Die Wirkungsweise des *Mager-Raupach'schen Mischapparates* ist die folgende (Fig. 122 u. 123):

Zunächst wird die Verteilungsschnecke V und damit gleichzeitig Elevator E und Füllschnecke F in Betrieb gesetzt. Die zu mischenden Stoffe werden in den Füllrumpf K gebracht, von wo dieselben durch den Elevator E und

die Verteilungsschnecke V in den Behälter A gelangen. Hier fallen sie unmittelbar beim Eintritt der Schnecke an der rechten Seite des Behälters herunter und lagern sich, entsprechend ihrem Schüttwinkel, in geneigten Schichten

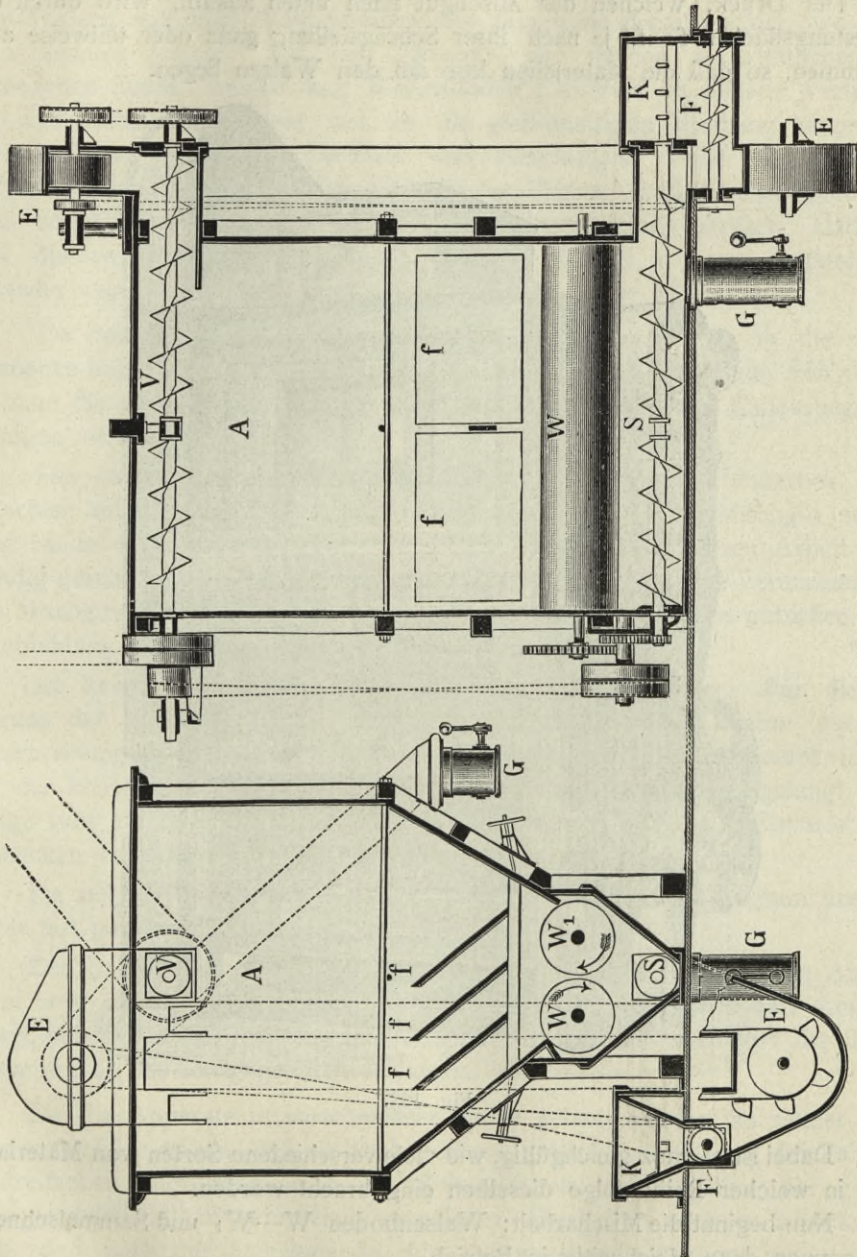


Fig. 122.

auf den Walzen und zwischen und über den Entlastungsflächen f—f, bis die Schnecke V erreicht ist und ein weiteres Herabfallen nicht mehr stattfinden kann. Dadurch bildet sich durch das Mischgut selbst für die Schnecke V ein

Boden, über welchen hinweg die ferner zugebrachten Stoffe weiter nach links geschoben werden und dort herabfallen, bis die ganze zur Mischung bestimmte Menge in die Kammer aufgenommen ist.

Der Druck, welchen das Mischgut nach unten ausübt, wird durch die Entlastungsflächen  $f-f$ , je nach ihrer Schrägstellung ganz oder teilweise aufgenommen, so daß die Materialien lose auf den Walzen liegen.

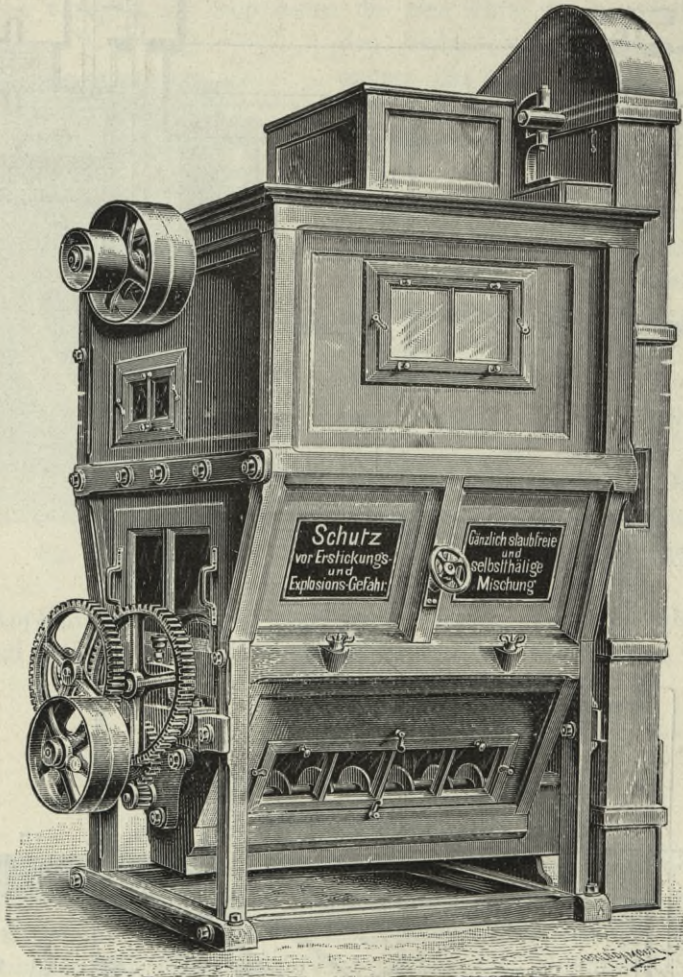


Fig. 123.

Dabei ist es ganz gleichgültig, wie viele verschiedene Sorten von Materialien und in welcher Reihenfolge dieselben eingebracht werden.

Nun beginnt die Mischarbeit; Walzenboden  $W-W_1$  und Sammelschnecke  $S$  kommen dazu gleichzeitig in Betrieb.

Da der Druck des im Behälter befindlichen Mischgutes durch die Entlastungsflächen aufgehoben wird, so liegen die verschiedenen zu mischenden Stoffe lose auf den Walzen. Sobald sich letztere zu bewegen anfangen, werden

die auf ihnen lagernden Materialien in feinen Strahlen, jedoch auf der ganzen Länge der Walzen durch den Walzenboden hindurch in die Sammelschnecke gestreut. Die Sammelschnecke schiebt das Material, welches sie am Anfange der Walzen aufnimmt, kontinuierlich bis zum Ende derselben fort, wo es in den Elevator gelangt. Auf dem ganzen Wege werden die sämtlichen verschiedenen Stoffe, welche den Walzenboden passieren, in feinsten Verteilung auf und ineinander gestreut und so die gleichmäßigste Mischung hergestellt. Verschiedenes spezifisches Gewicht und verschiedene Größe der einzelnen Körnchen des Mischgutes haben nicht den geringsten Einfluß, weil immer der Teil zur Mischung gelangt, welcher die Walzen gerade berührt. Dadurch, daß die verschiedenen Materialien von den Walzen in losem Zustande mit einander verrieben werden, entsteht eine äußerst innige Mischung.

Da der Elevator das Mischgut aus der unteren wieder in die obere Schnecke bringt, so mischt die Maschine ohne irgendwelches Zutun von außen, ja ohne die geringste Aufsicht so lange, bis der Schieber am Entleerungsrohr gezogen wird.

Der ganze Mischprozeß erfordert nicht die geringste Handarbeit. Die Maschine bringt nach Beendigung der Mischung sämtliches Mischgut selbsttätig bis in das Entleerungsrohr; sie bleibt während der ganzen Arbeit vollständig geschlossen. Deshalb kann weder Verstauben, noch eine Verunreinigung des Mischgutes stattfinden. Auch beim Entleeren ist Vorsorge getroffen, um Staubbildung vollständig zu verhindern.

Der Kraftverbrauch der Maschine ist ein sehr geringer. Für die Bewegung der Walzen, welche ohne jeden Druck arbeiten, kommt nur die Zapfenreibung in Betracht. Von dem ganzen Mischgut ist überhaupt immer nur der kleine Teil in Bewegung, welcher gerade zur Mischung gelangt, das übrige ruht auf den Entlastungsflächen. Deshalb ist auch für Elevator und Schnecken verhältnismäßig nur sehr wenig Kraft erforderlich.

Da sich die Walzen vollständig unbelastet und nur sehr langsam drehen, findet fast gar keine Abnutzung statt. —

Der Betrieb des Apparates erfolgt am besten in einer dreifachen Anordnung, wie sie Verf. in vielen Fabriken eingeführt hat: Der eine Apparat nimmt neues Material auf, der zweite Apparat mischt es durch und der dritte Apparat gibt das fertig gemischte Material ab.

Da die Apparate in verschiedener Größe gebaut werden, so richtet man sie zweckmäßig so ein, daß sie (bei nicht zu großer Ausdehnung der Fabrik) in dreifacher Anordnung, d. h. im 8-Stundenbetriebe möglichst die ganze Tagesproduktion<sup>1)</sup> zu verarbeiten vermögen. Hierbei ist noch zu berücksichtigen, daß auch der aufnehmende wie der abgebende Apparat immer noch durchmischen, das Material also nahezu 16 Stunden lang der stetigen Durchmischung unterzogen wird.

<sup>1)</sup> Hierbei ist z. B. je 1 cbm für ca. 1,100 kg Rohmehl anzusetzen.



Der Mager'sche Mischapparat ist in der dreifachen Anordnung ein wirklicher Sicherheitskoeffizient, den Verf. selbst da eingeschaltet wissen möchte, wo beide Rohmaterialien (Kalkstein und Ton) von Anfang an den Mahlprozeß zusammen durchmachen, also bereits durch diesen ziemlich gut vorge-mischt sind.

b) Das *Mischsilo* (Fig. 124) von Amme, Giesecke & Konegen hat nicht nur den Zweck, wie gewöhnlich als Lagersilo zu dienen, sondern zugleich

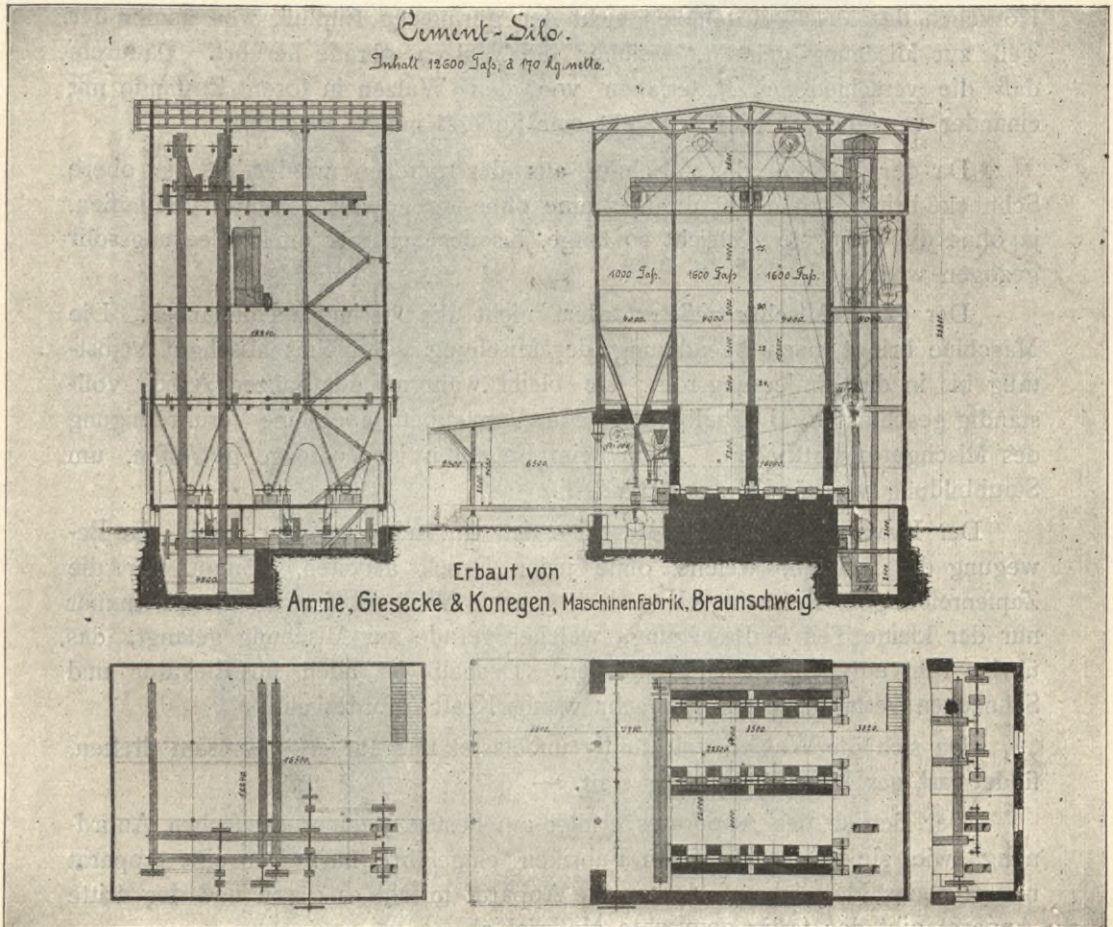


Fig. 124.

noch den zweiten, die aus den verschiedenen Mahlperioden oder auch bei Zement aus verschiedenen Bränden hervorgegangenen Ungleichmäßigkeiten durch entsprechende Mischvorrichtungen auszugleichen.

Abgesehen davon, daß man durch gleichzeitige Entnahme aus verschiedenen Silozellen bereits einen Ausgleich erzielt, sind in den Silos noch Wühler angebracht, zu dem Zwecke, durch stetes in Bewegung-Halten der unteren Schichten ein Abwölben und damit Festsetzen des Materials oder gar ein

Schießen desselben zu verhindern. Dadurch wird ein Durchdringen des Materials durch größte und kleinste Spalten der Schieberöffnung ermöglicht.

Der Unterbau eines solchen Mischsilos ist in Beton ausgeführt, die obere Konstruktion besteht aus Holzpackung, einer Ausführungsart, die durch vorzügliche Stabilität und Zähigkeit sich überhaupt besonders gut für Silobauten zu eignen scheint. Anker kommen dabei gar nicht zur Anwendung, da jede Wand die andere gewissermaßen als Anker hält. Durch diese Konstruktion, welche darin besteht, daß Brett auf Brett im Versatz genagelt wird, ist es möglich, 12 m hohe Silozellen von je 4 m Länge und Breite ohne jede Verankerung auszuführen. Diese Art der Ausführung hat außerdem noch den Vorzug der großen Billigkeit, da selbst minderwertiges Holz benutzt werden kann, sofern es sonst nur gesund ist. —

Der Betrieb der Mischsilos erfolgt ebenfalls durch Schnecken und Elevatoren. Sie sind zudem noch für sich mit einer besonderen Entstäubung versehen. —

Nach erfolgtem Durchmischen ist das Rohmehl zum Verformen auf einer Ziegelpresse fertig.

### E. Transporteinrichtungen.

Die des öfteren schon genannten Transportvorrichtungen, wie sie in der Mühle in leider noch immer ziemlich ausgiebigem Maße in Anwendung kommen, sind im wesentlichen die Förderschnecke, die Kreiß'sche Förderrinne, das Transportband und die Becherwerke.

Die *Förderschnecken* (Fig. 125) sind meist horizontal angelegte Tröge aus hölzernem oder gewöhnlich Eisenblechgehäuse, in denen eine sogenannte

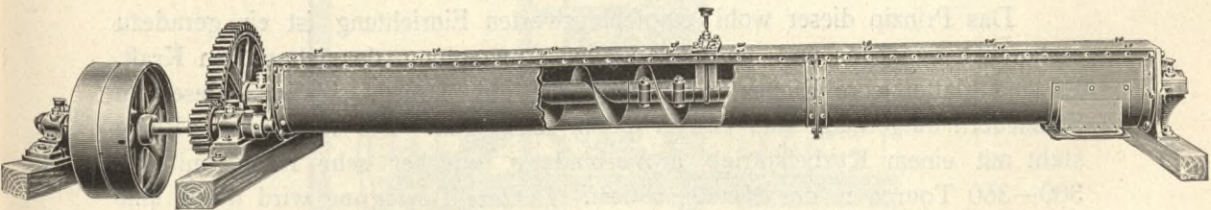


Fig. 125.

Archimedesschraube ohne Ende um ihre Längsaxe rotiert. Der Antrieb der liegenden Welle erfolgt durch Riemen, Fest- und Losscheibe und Rädervorgelege. Auf der Welle sind die Schneckenflügel in Form eines kontinuierlich umlaufenden Bandes, ebenfalls aus Eisenblech, angebracht. Durch die schiebende Bewegung der Flügel wird das Transportgut von einem zum anderen Ende des Troges befördert und dabei zugleich — das Gute an der Schnecken-

beförderung! — ziemlich gut vermischt, wengleich auch für die eigentliche Mischschnecke die Art und Anordnung der Flügel eine ganz besondere ist. Für längeren Transport sowie nach aufwärts ist die gewöhnliche Schnecke nicht geeignet und auch unrationell.

Die Schnecken vermögen sowohl pulverförmiges wie auch stückiges Material (Gries) zu befördern; allerdings ist der Verschleiß bei letzterem bedeutend erheblicher. Das Material fließt der Schnecke am Einlaufende von oben her zu und wird unterwegs (mittels Schieber) oder am Ende durch den Abfallstutzen beliebig ausgetragen. Ueber 12 m soll man für eine durchgehende Schnecke nicht gehen; man hilft sich eventuell besser dadurch, daß man mehrere Schnecken hintereinander anordnet, deren folgende immer durch Rädervorgelege seitens der vorhergehenden angetrieben wird. Der Abfallstutzen öffnet sich dann direkt über dem Einlaufende der nächsten Schnecke.

Die Schnecken müssen gut abgedichtet sein, um nicht allzu viel Staub zu verursachen. Die Leistung einer solchen von 300 mm mittlerem Durchmesser,

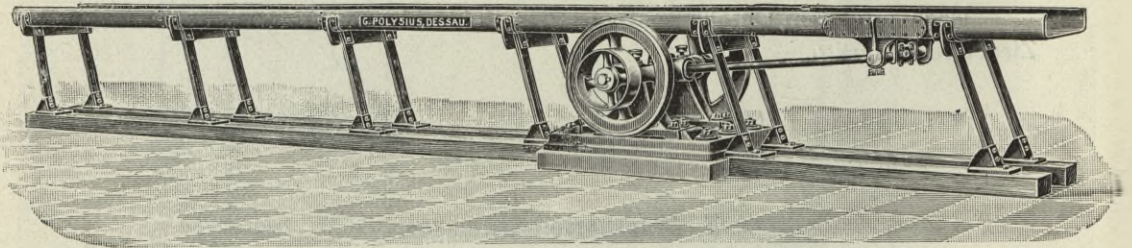


Fig. 126.

90 Touren in der Minute und 2 Pferdestärken-Kraftbedarf beträgt in der Stunde etwa 7,000—7,500 kg. Ihr Verschleiß ist recht bedeutend. —

Neuerdings wird den alten Transportschnecken durch die *Förderschwinde* von E. Kreiß-Hamburg, Polysius-Dessau u. A. nachdrücklich und auch erfolgreich Konkurrenz gemacht (Fig. 126).

Das Prinzip dieser wohl empfehlenswerten Einrichtung ist ein geradezu erstaunlich einfaches und beruht auf der Anwendung der lebendigen Kraft. Es sind glatte, leere Rinnen, welche auf 400 mm hohen, schräg angesetzten Stützfedern aufgehängt sind und in diesen schwingen. Die schwingende Rinne steht mit einem Kurbelantrieb in Verbindung, welcher sehr rasch, mit ca. 300—360 Touren in der Minute, rotiert. Letzere Bewegung wird durch eine Zugstange auf die Rinne übertragen und veranlaßt ein sehr schnelles Hin- und Hergehen, eine Art „Wippen“ derselben. Beim Hingang der Rinne, die dabei einen mittleren Hub von 25—30 mm erfährt, wird das auf dem Boden der Schwinde ruhende Material von dieser mitgenommen. Während aber die Schwinde nach einem halben Umgang des Kurbelantriebes ihre Bewegungsrichtung wechselt und zurückgeht, behält das Material infolge des Beharrungsvermögens und der ihm durch die Vorwärtsbewegung der Schwinde mitgeteilten lebendigen Kraft diese Bewegung bei und „hüpft“ oder „wippt“ gleich-

sam von der Schwinge, im Augenblicke der Umkehr derselben zur entgegengesetzten Bewegung, mit einem Schwunge weiter nach vorwärts. Sobald es

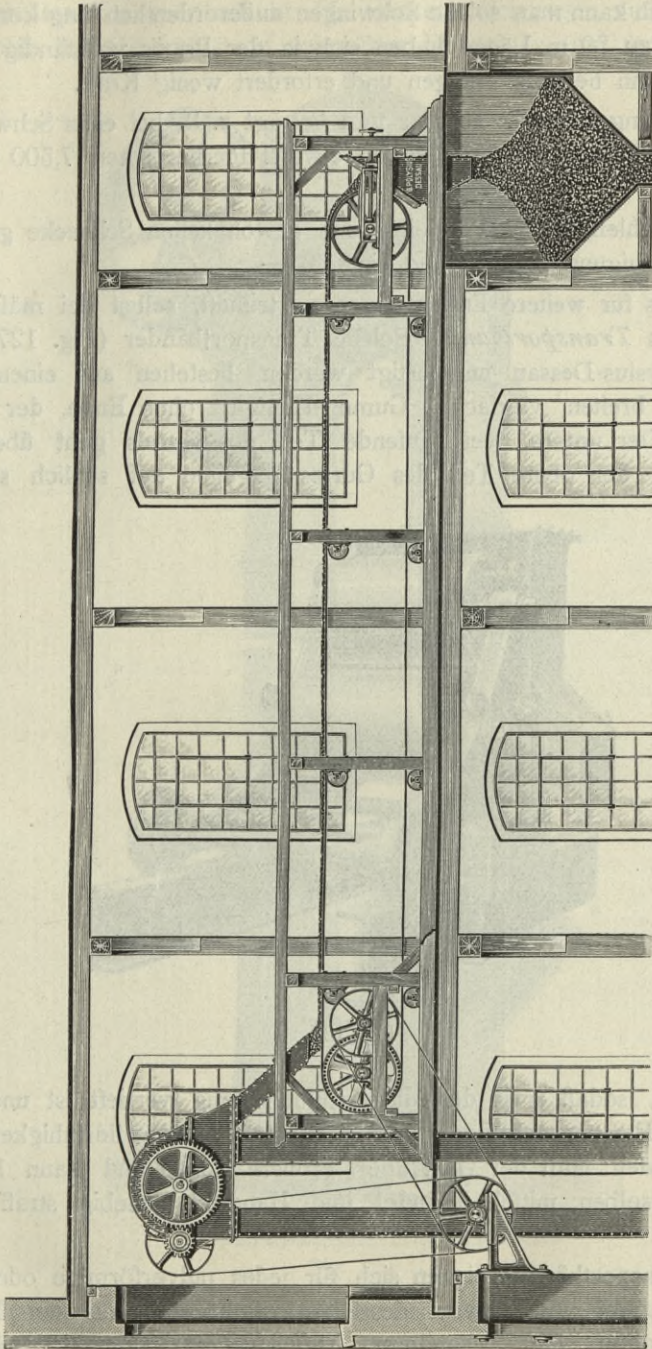


Fig. 127.

den Boden der Schwinge wieder berührt hat, vollzieht sich dieses Spiel von neuem; es wird stetig von der Schwinge nach vorn abgestoßen und hüpft so

durch die ganze Rinne bis ans Auslaufende derselben. Diese Bewegung ist ziemlich schnell und durchaus unabhängig von der Art des zu befördernden Materials. Auch kann man solche Schwingen außerordentlich lang konstruieren. Schwingen bis zu 50 m Länge haben sich in der Praxis vollständig bewährt. Der Antrieb kann beliebig erfolgen und erfordert wenig Kraft.

Die Leistung ist recht achtbar und beträgt z. B. bei einer Schwinde von 15 m Länge und einem Kraftbedarf von etwa 2 Pferdestärken 7,500 kg in der Stunde.

Der Verschleiß ist im Vergleich zur gewöhnlichen Schnecke ganz unerheblich, die Reinigung bequem und einfach. —

Besonders für weitere Entfernungen vorteilhaft, selbst bei mäßigen Steigungen, ist das *Transportband*. Solche Transportbänder (Fig. 127) wie sie u. a. von Polysius-Dessau angefertigt werden, bestehen aus einem glatten, 300—700 mm breiten, vierfachen Gummi-Hanfgrut ohne Ende, der auf Leitrollen läuft. Der untere, leer laufende Teil des Gurtes geht über gerade Rollen hinweg, der obere Teil des Gurtes dagegen auf seitlich schräg ge-

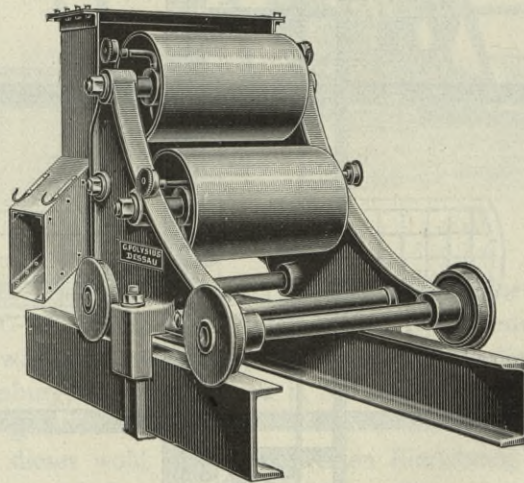


Fig. 128.

stellten Rollen, sodaß er in der Mitte muldenförmig vertieft ist und dadurch ein größeres Fassungsvermögen resp. erhöhte Transportierfähigkeit erlangt. An beiden Enden läuft der Gurt über größere Rollen und kann hier durch Verstellen derselben mittels Spindel und Handrad beliebig straff gespannt werden.

Die Transportbänder eignen sich für jedes pulverförmige oder stückige Material; der Auf- und Abwurf desselben ergibt sich aus der Abbildung. Durch Einschalten eines besonderen Abwurfwagens (Fig. 128) kann man übrigens das Material mit ein und demselben Transporttuch beliebig an verschiedenen Stellen abwerfen.

Die Leistung eines Transporttuches von 700 mm Breite und etwa 20 m Länge beträgt bei einem Kraftaufwand von 3—4 Pferdestärken 15,000 kg in der Stunde.

Auch das Transporttuch ist für stärkere Steigungen nicht verwendbar. Man brachte deshalb früher auf demselben Holzleisten und später Becher an,

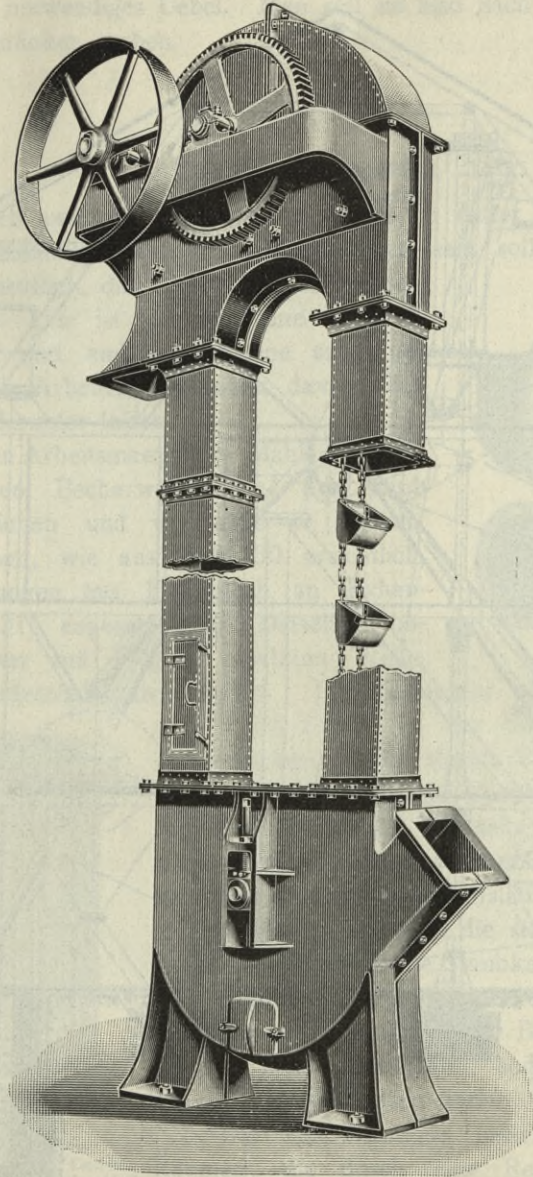
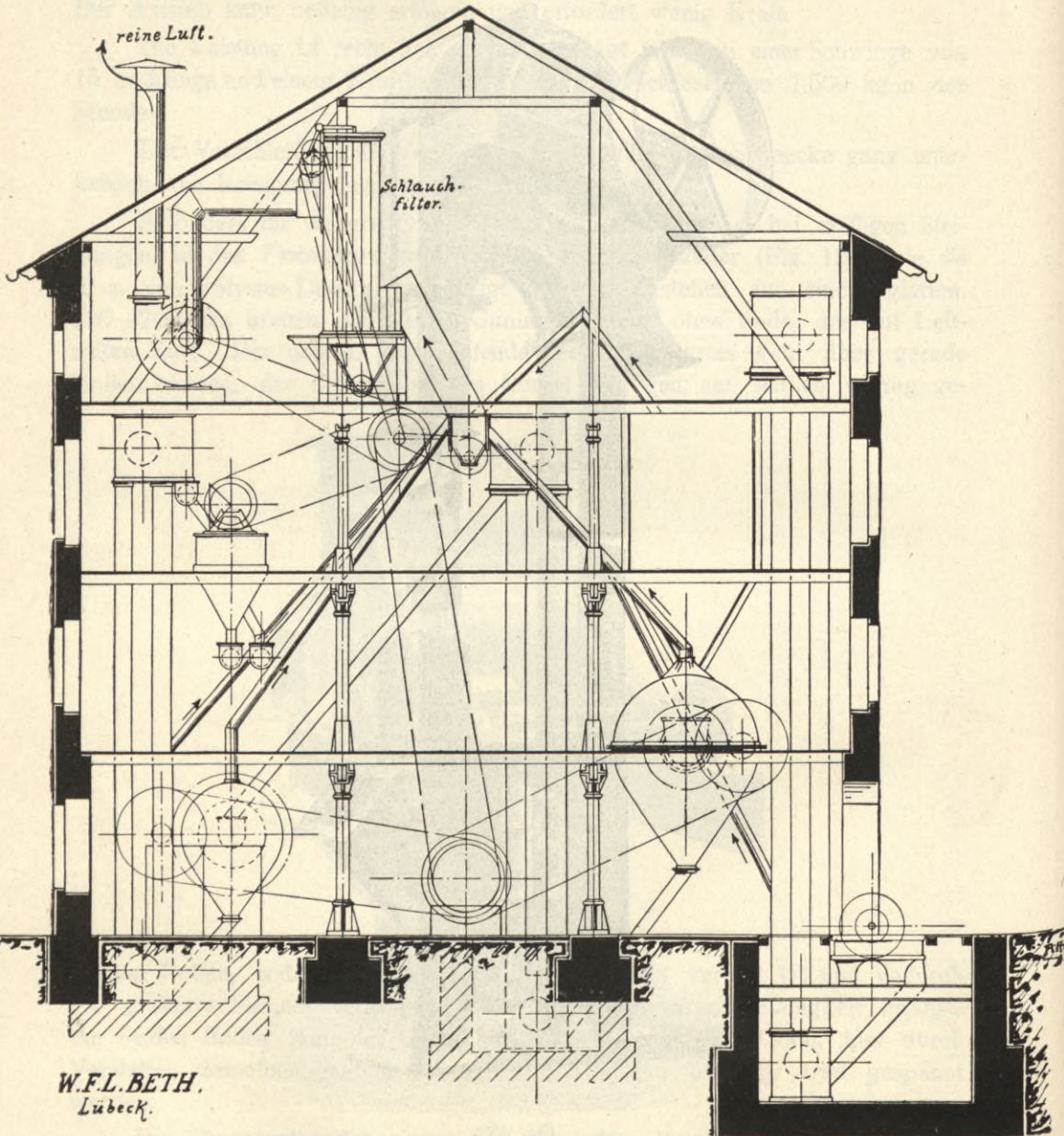


Fig. 129.

um das Material zu heben. Schließlich fiel das Tuch überhaupt fort und machte einer oder zwei Ketten Platz.

Das heutige Becherwerk (Fig. 129) geht gewöhnlich gerade in die Höhe; es hebt nasses wie trockenes, pulveriges wie stückiges Material. Die Becher-

werke werden durch Riemen, Fest- und Losscheibe und Rädervorgelege angetrieben; sie müssen gut in Gehäusen aus Eisenblech eingeschlossen sein und werden am besten an einen Exhaustor angeschlossen, da sie sonst sehr stark stäuben, wobei auch die oft bedeutende Höhe der Schlotte mitspricht.



W.F.L. BETH.  
Lübeck.

Fig. 130.

Die unteren Achslager sind beweglich und verstellbar, um beliebig jeder Zeit die Ketten nachspannen zu können.

Die Becherbreite wird je nach der verlangten Leistung zu 200—300 mm

genommen. Bei ca.  $\frac{1}{3}$  Füllung der einzelnen Becher beträgt alsdann die Stundenleistung für Gries und Mehl 7—15,000 kg, für grobstückiges Material 2—6,000 kg. Der Kraftbedarf ist hierfür 3 bezw. 4 Pferdestärken.

Infolge starken Verschleißes und unangenehmen Stäubens sind die Becherwerke nur ein notwendiges Uebel. Man soll sie also nach Möglichkeit in der Mühle einzuschränken suchen.

## F. Entstäubungsapparate.

Wenngleich zwar die sämtlichen Apparate, in erster Linie diejenigen in der Mühle, vollständig staubdicht abgeschlossen sein sollen, so ist es trotz alledem unvermeidlich, daß Staub in die Arbeitsräume gelangt. Das ist einerseits eine Materialverschwendung und andererseits eine arge Belästigung für die Arbeiter, abgesehen davon, daß die Apparate darunter leiden.

Um von den Arbeitsmaschinen: Mahlapparaten, Siebvorrichtungen, Becherwerken etc., den Staub möglichst abziehen und verwerten zu können, werden dieselben, wie aus Fig. 130 ersichtlich, durch Rohrleitungen aus Eisenblech an Exhaustoren (Fig. 131) angeschlossen. Dieselben bestehen aus einer mit Flügeln besetzten Welle, welche außerordentlich rasch rotiert. Ein Exhaustor mit 900 mm Flügeln und 1,200 Touren in der Minute leistet bei  $5\frac{1}{2}$  Pferdestärken in der Minute 250 cbm Luft. Der Exhaustor ist in einem Eisenblechgehäuse eingeschlossen und steht einerseits mit den zu entstäubenden Apparaten, andererseits mit den Staubkammern oder sonstigen Entstäubungsvorrichtungen in Verbindung. Er saugt die staubdurchsetzte Luft an und stößt sie in die Staubkammern wieder aus. Beim Austritt aus der engen Rohrleitung in die weite Staubkammer wird die Bewegung der Luft plötzlich stark verlangsamt, sodaß der Staub sich ruhig zu Boden setzen kann.

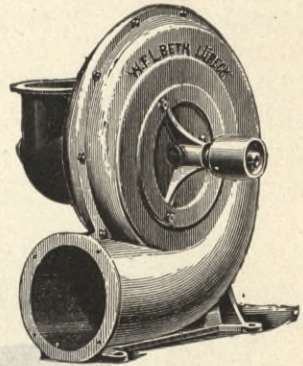


Fig. 131.

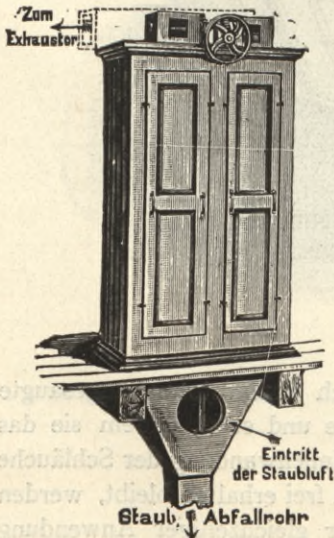


Fig. 132.

Die Staubkammern bestehen aus ein paar Räumen, die durch eine Reihe von Tüchern abgeteilt sind, welche die Staubluft nach einander passieren muß, um dann zuletzt noch durch ein dünnes Flanelltuch, ganz vom Staube befreit, ins Freie zu gelangen. — Allwöchentlich werden die Staubkammern entleert und die Tücher abgeklopft, falls dies letztere nicht kontinuierlich und



automatisch geschieht. Bei starkem Betriebe wird dabei aus den Zementstaubkammern eine recht erkleckliche Anzahl Faß Zement, die sonst in die Luft gegangen wäre, herausgeholt und verwertet.

Von automatisch arbeitenden Entstäubungsvorrichtungen haben sich weit aus in erster Linie die Beth'schen Apparate bewährt.

Die *Beth'sche Staubgewinnungsanlage* (Fig. 132) arbeitet mit *Schlauchfiltern*, die immer paarweise nebeneinander von 2 bis 24 Stück in einem

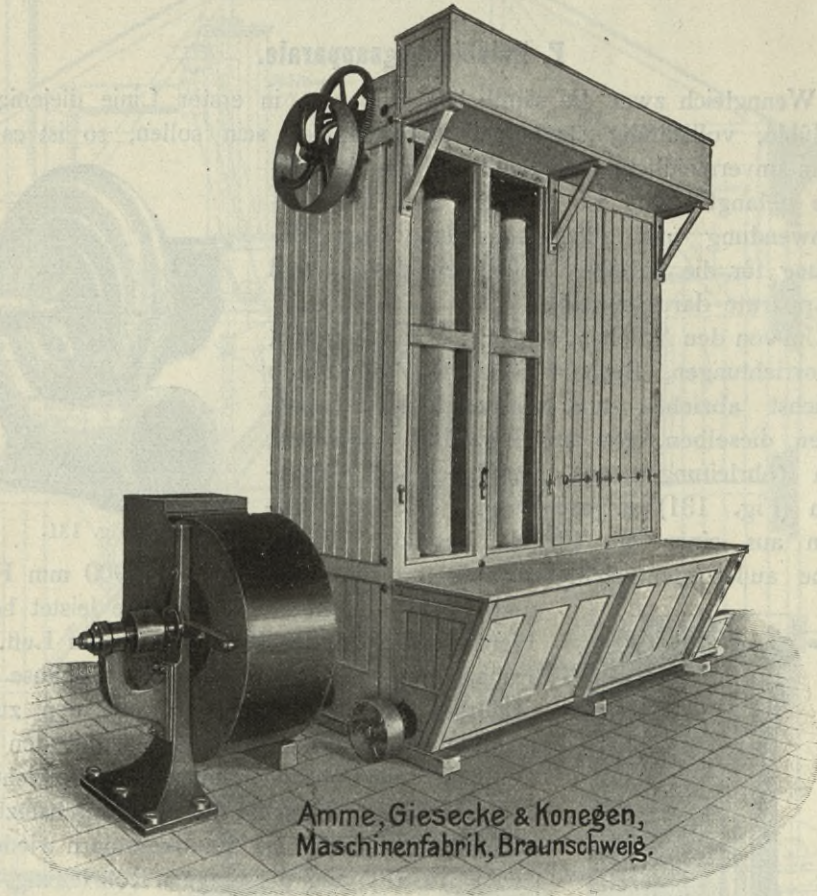


Fig. 133.

staubdichten Gehäuse angeordnet sind. Die durch Exhaustoren angesaugte Staubluft tritt von unten aus in die Filterschläuche und setzt, indem sie das Gewebe von innen nach außen durchstreicht, an der Innenwandung der Schläuche allen Staub ab. Damit das Gewebe stets rein und frei erhalten bleibt, werden die Schläuche von Zeit zu Zeit nacheinander unter gleichzeitiger Anwendung eines kräftigen Gegenluftstromes durch automatisches Abklopfen vom anhaftenden Staube gereinigt. Der abgestreifte Staub sinkt nach unten in den konischen Rumpf und wird hier abgesackt.

Die Beth'schen Staubgewinnungsanlagen sind für Saug- und Druckluft-resp. Filter konstruiert; sie arbeiten, wie die Praxis ergeben hat, ganz vor-züglich. —

Auch Amme, Giesecke & Konegen bauen derartige Apparate (Fig. 133). Die Absonderung des Staubes erfolgt gleichfalls in Schlauchfiltern. Die Schläuche werden bei abgestelltem Wind periodisch geschüttelt und werden dadurch wieder luftdurchlässig und fähig, neuen Staub aufzunehmen. Abklopfen der Schläuche und Umstellen der Klappen erfolgt ebenfalls automatisch. —

Die ferner noch aufgekommenen Staubkollektoren haben zumeist nur ein kurzes Dasein geführt und sich nur vereinzelt in Zementwerken halten können.

## 5. Das Ziegeln der Rohmasse.

Das fertig gemahlene und gemischte Rohmehl ist nun weiter für das Brennen vorzubereiten. Das geschieht, sofern man nicht getrockneten Schlamm hat oder direkt auf den Drehofen arbeitet, durch Ziegeln des Rohmehls. Da das im trockenen Zustande nicht möglich ist, so muß das Rohmehl, wenn es sich nicht um Schlamm handelt, erst etwas mit Wasser angefeuchtet werden, und zwar je nach der Natur der benutzten Rohmaterialien und der in Anwendung kommenden Ziegelpresse in geringerem oder stärkerem Grade.

Wir unterscheiden danach das *Naßziegeln* etwa von Schlamm mit 20 bis 22 % Wassergehalt und das *Trockenziegeln* des angefeuchteten Rohmehls.

a. Das *Naßziegeln* ist die ältere Methode. Nach dieser arbeiten fast alle Fabriken mit dem Naßverfahren wie auch die meisten älteren Fabriken mit dem Trockenverfahren.

Auch für neuere Fabriken kann das Naßziegeln ein unentbehrlicher Faktor sein. Haben wir es nämlich mit sehr unplastischen Materialien zu tun, also z. B. sandigem Lehm und ganz reinem Kalkstein, haben wir weiter nicht die Möglichkeit, das Rohmehl sehr fein zu mahlen und stellt schließlich das in Aussicht genommene Ofensystem, also etwa der Etagenofen, große Anforderungen an die Widerstandsfähigkeit der Ziegel, so kommen wir mit dem Trockenziegeln absolut nicht durch, und besonders unplastisches Material kann nur naß zu Ziegeln verformt werden. Bei leidlich plastischem Material dagegen hilft oftmals recht feines Mahlen des Rohmehls, um solches selbst für den Etagenofen genügend vorzubereiten, der doch sonst nur für sehr feste Rohsteine geeignet ist.

Hat man nun derartiges Rohmehl, so wird es stark mit Wasser angefeuchtet, indem man die horizontal gelagerten Schichten jeweilig mit einer Brause übergeht, sodaß der Prozentsatz des Wassers in der fertigen Masse zwischen 18—22 % beträgt.

Nun aber nimmt das Rohmehl das Wasser nicht sofort gleichmäßig auf. Es braucht vielmehr eine gewisse Zeit, wenigstens 24 Stunden, um überall die gleiche Feuchtigkeit zu erhalten. Man läßt es also eine bestimmte, dem Material genau anzupassende Zeit *sumpfen*. Dadurch ergibt sich eine Drei-

teilung dieser Arbeit resp. der dazu nötigen Vorrichtungen. Wir brauchen einen Sumpf, welcher eben beschickt wird, einen zweiten, der bereits beschickt ist und nun lagert, und einen dritten, welcher entleert wird.

Da das Entleeren durch senkrecht abstechen der gesumpften Rohmasse erfolgt, die Aufgabe der einzelnen Schichten aber horizontal geschehen war, so haben wir hier ein nochmaliges recht gutes Mischen der Rohmasse. Ja, man kann sogar einen fehlerhaft angefangenen Sumpf völlig wieder ausgleichen, indem man z. B. die unteren hochkalkigen Schichten nach oben hin durch solche mit steigendem Tongehalt ergänzt.

Das fertige, ziegelgerechte Rohmehl heißt man nach Zieglergebrauch *Rohmasse*. —

Für die nasse Rohmasse mit ca. 20 % Wassergehalt gibt es nur eine einzige brauchbare Ziegelmaschine, die *Strangpresse* in Verbindung mit dem *Tonschneider* (Fig. 134).

Dieser Tonschneider dient dazu, die Masse nochmals gehörig durchzumischen und durchzukneten, um sie in einen möglichst homogenen, ziegelgerechten

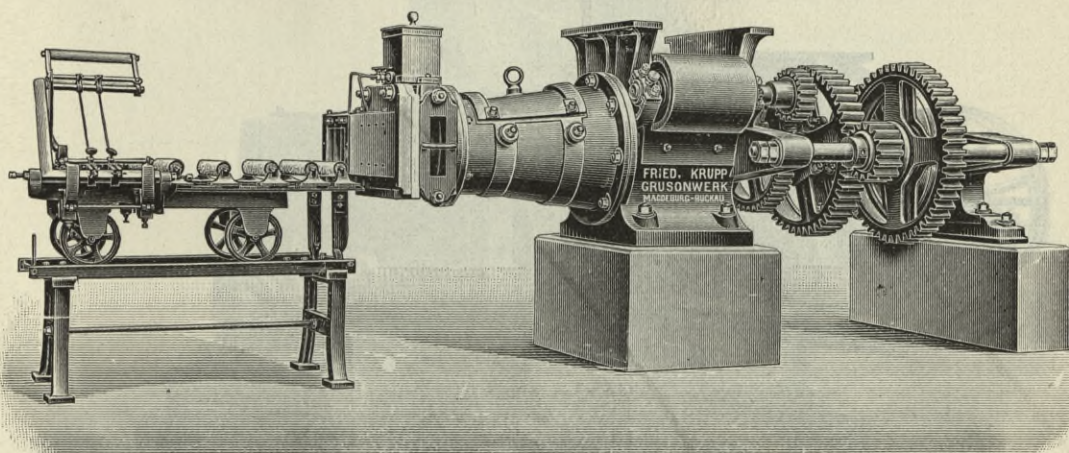


Fig. 134.

Zustand überzuführen. Er besteht aus einem stehenden oder liegenden eisernen Zylinder, dessen Größe sich nach der gewünschten Leistung und dessen Länge sich speziell nach der Beschaffenheit des zu verarbeitenden Materials richtet. Ob man einen stehenden oder liegenden Apparat zu wählen hat, entscheidet sich nach der Gesamtanlage des Werkes. Meist bevorzugt man den liegenden Tonschneider, da Absatzbassins und Sümpfe doch zu ebener Erde liegen, und man nicht unnötig das Material besonders hochheben wird. Außerdem geht der Austritt der Masse aus dem Apparat glatter vor sich.

Im Zylinder des Tonschneiders rotiert, je nachdem vertikal oder horizontal, eine starke Welle, die spiral- oder schneckenförmig mit schiffsschrauben- oder pflugscharartig gebogenen Messern besetzt ist. Diese Messer oder Flügel fassen das durch den Fülltrichter aufgegebene Material und zwängen es je

nach Art des Tonschneiders nach unten oder vorwärts, indem sie es dabei fortwährend durcheinander mischen und kneten.

Aus dem Tonschneider tritt die nunmehr homogene Masse direkt in die Strangpresse, die wesentlich nur eine Fortsetzung des Tonschneiders ist und nur aus der runden Form in die viereckige des betreffenden Ziegelformates übergeht. Sie steht noch mit einem kleinen Wasserbehälter in Verbindung, der ihr mittels ein paar dünner Leitungsröhren etwas Wasser zuführt. Dieses dient dazu, eine allzu starke Reibung der breiartigen Masse an den Wänden zu verhindern und den Austritt in Form eines vollkommen gleichmäßigen Stranges zu ermöglichen. Da es bei den Zement-Rohsteinen auf Schönheit der Form nicht ankommt, so erfolgt der Austritt der Masse hochkantig und mit breiter Seite. Der Strang schiebt sich nach seinem Austritt

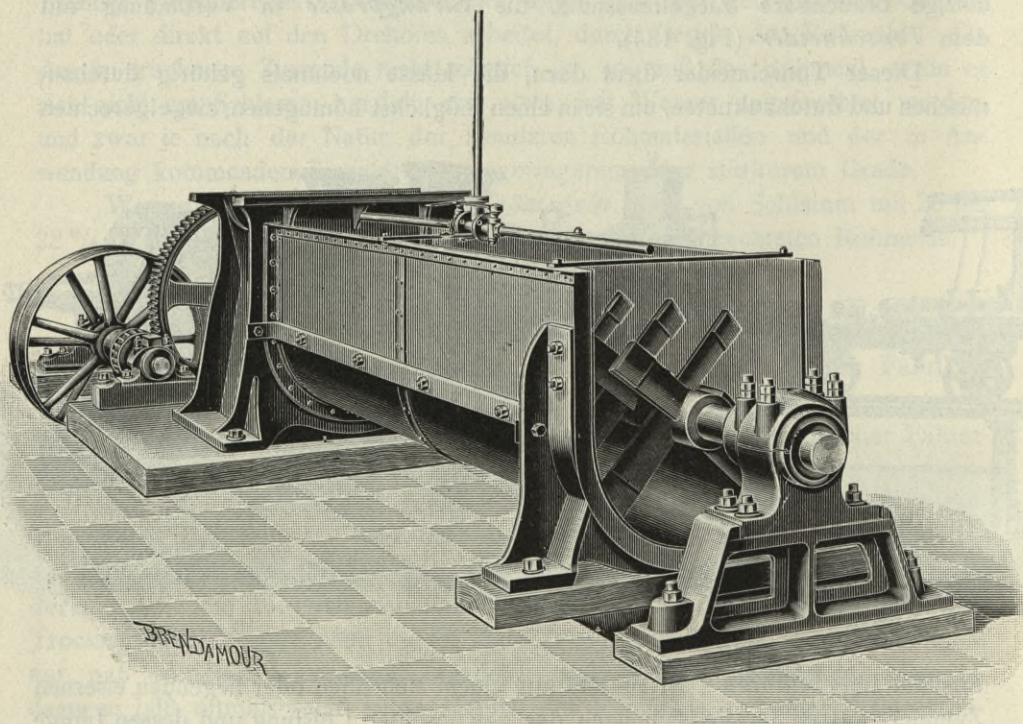


Fig. 135.

aus dem Mundstück auf Rollen oder Schuppen langsam vorwärts und wird durch einen Jungen mittels eines Abschneiders in einzelne Stücke von dem Format der gewöhnlichen Backsteinziegel zerteilt. Der Abschneider selbst besteht aus 3—4 dünnen, scharfen Drähten, die straff in eisernen Bogen eingespannt sind. — Für die Drähte soll man nur beste Qualität wählen, da sie sich sonst sehr rasch abnutzen und leicht reißen und damit die Kontinuirlichkeit des Betriebes stören.

Die einzelnen Ziegel werden auf einen Ziegelkarren, sogenannten Etagen-

wagen, der etwa 300 Ziegel fassen kann, geladen und in die Trockenkanäle geschafft.

Daraus ergibt sich nun ein doppelter Uebelstand: einmal wird ein doppeltes Stapeln der Ziegeln und zweitens ein nicht unerheblicher Aufwand von Brennmaterial bedingt, um die Ziegel soweit zu trocknen, daß sie fest genug sind, um in die Brennöfen eingesetzt werden zu können. Allerdings sind andererseits naß gepreßte Steine stets haltbarer als solche auf Trockenpressen hergestellte.

Die Leistung einer Strangpresse, z. B. von Schlickeysen-Berlin oder dem Grusonwerke, beträgt bei der üblichen Größe etwa 2,000 Normalziegel in der Stunde, wofür etwa 12—15 Pferdestärken beansprucht werden.

\* \* \*

b. Wesentlich vorteilhafter arbeiten die Trockenpressen. Der Wassergehalt der trocken gepreßten Ziegel beträgt gewöhnlich nur 7—12 0/0. Das

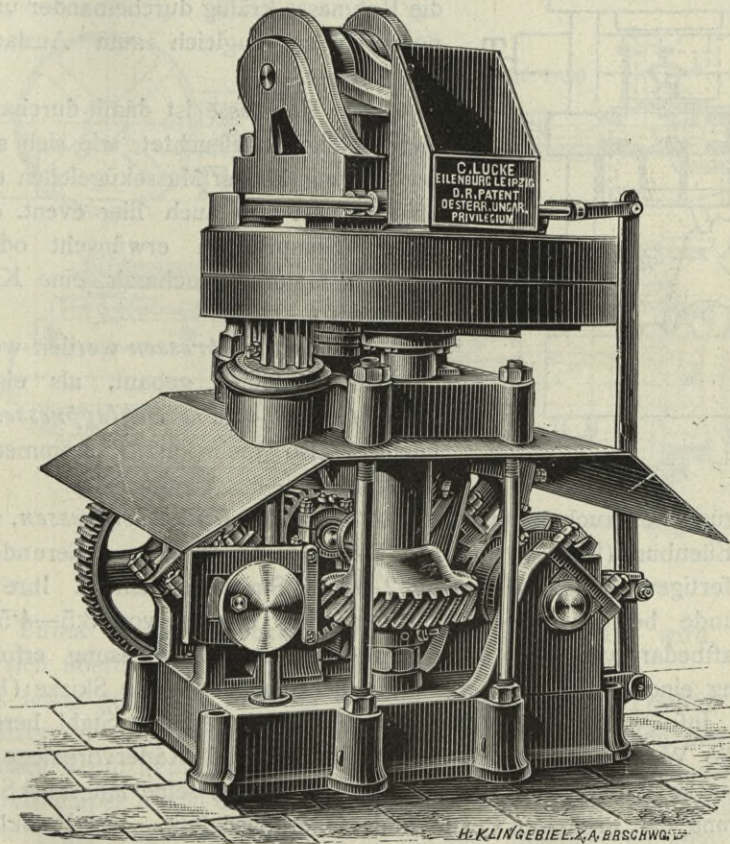


Fig. 136.

ermöglicht, die Ziegel gleich so fest herzustellen, daß man sie oftmals — beim Ringofen sogar immer — direkt von der Presse in den Ofen einbringen kann. Damit wird also das doppelte Stapeln sowie das besondere Trocknen, resp.

eine spezielle Trockenanlage erspart, also ein Gewinn an Zeit und Brennmaterial sowie an Arbeitslöhnen und Anlagekosten erzielt.

Um das trockene Rohmehl in die für die Trockenpressen ziegelgerechte Rohmasse überzuführen, bedient man sich zur genauen Zugabe des Ziegelwassers der sogenannten *Netztröge* oder *Anfeuchteschnecken* (Fig. 135).

Aus der umstehenden Abbildung einer solchen Anfeuchteschnecke der Nienburger Maschinenfabrik ist die Anordnung des Apparates ohne weiteres ersichtlich. Es ist ein meist 3—4½ m langer Trog aus Eisenblech, ca. 500 bis 1,000 mm weit, in welchem auf der horizontalen Welle fest aufmontierte, leicht auswechselbare, gekröpfte Messer rotieren. Darüber befindet sich als Wasserbrause ein mit feinen Düsen versehenes Leitungsrohr, aus welchem das

Wasser kontinuierlich und genau regulierbar auf das Material in dem Netztröge auffällt und dasselbe anfeuchtet. Die Messer kneten die Rohmasse kräftig durcheinander und transportieren sie zugleich zum Auslaufstutzen des Troges.

Die Rohmasse ist damit durchaus nicht gleichmäßig angefeuchtet, wie sich sofort an der Bildung kleiner Massekügelchen erkennen läßt. Es ist also auch hier event. ein dreifacher Sumpfboden erwünscht oder man läßt das Material nochmals eine Knetwalze passieren. —

Die *Trockenpressen* werden wesentlich in zwei Systemen gebaut, als eigentliche *Druckpressen* oder als *Schlagpressen*, welche letztere also mehr als Fallrammen aufzufassen sind. —

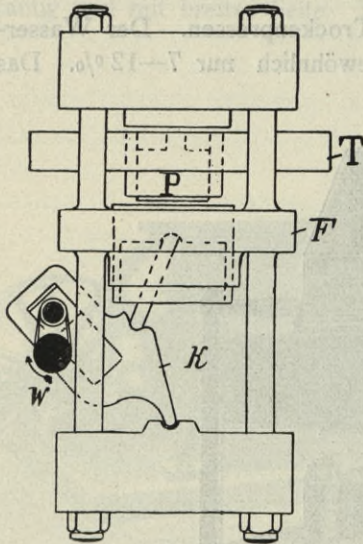


Fig. 137.

Vorzügliche Druckpressen sind vor allem die *Kniehebelpressen*, z. B. von C. Lucke-Eilenburg (Fig. 136 u. 137). Dieselben haben einen rotierenden Preßtisch und fertigen bei jeder Pressung 2 oder 3 Steine zugleich an. Ihre Leistung in der Stunde beträgt 700—1,000 Steine im Gewicht von 3·5—4·5 kg bei einem Kraftbedarf von etwa 5—6 Pferdestärken. Die Pressung erfolgt unter Anwendung eines Kniehebels, wie die nebenstehende kleine Skizze (Fig. 137) andeutet. Infolge der Bewegung der aus geschmiedetem Stahl hergestellten Kurbelwelle W, deren Antrieb durch Riemen und Rädervorgelege erfolgt, tritt der starke Kniehebel K in Tätigkeit, der durch seine langsame Streckung und Beugung den Preßklotz P auf- und niedergehen läßt. Der Preßklotz überträgt den so erhaltenen Druck von unten aus auf das die Formkästen füllende Material, während der Gegendruck von oben her durch eine starke Feder oder durch Gewichte an entsprechend langem Hebel ausgeübt wird. Letztere, Feder oder Hebel und Gewichte, sind sorgfältig austariert und geben bei einem bestimmten, durch irgend welchen Umstand, z. B. Ueberfüllung der

Formkästen, hervorgerufenen Ueberdruck nach, so daß ein Platzen der Formen vermieden wird. Im übrigen erfolgt wie die Pressung so auch die Rotation des Preßstisches, Ausstoßen und Verschieben der fertigen Ziegel etc. etc. vollkommen selbsttätig.

Die Entlüftung der Steine ist eine ganz hervorragende, indem zunächst während der schnelleren Bewegung des Preßklotzes der Druck nur mäßig ist, so daß die Luft bequem entweichen kann, während die eigentliche Pressung unter langsamer Steigerung erst ganz zuletzt stattfindet.

Die Ziegel sind selbst bei mürbem, unplastischem Material sehr fest, können sofort bis 16—18fach über einander gestapelt und dementsprechend direkt in den Ringofen eingesetzt werden. —

Ein ähnliches Prinzip weist die *Exzenterpresse* auf (Fig. 138), welche

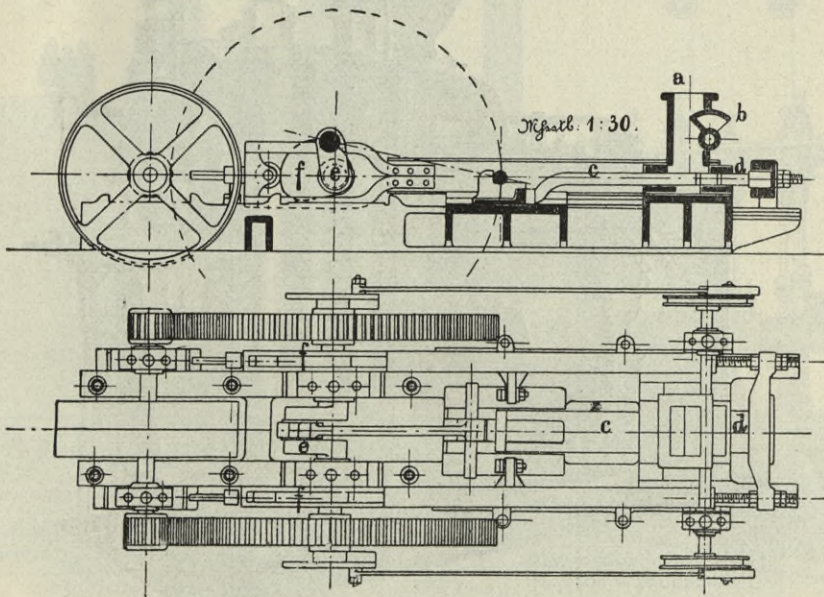


Fig. 138.

von der Firma Brück, Kretschel & Co.-Osnabrück gebaut wird. Dieselbe zeichnet sich überdies noch durch eine große Einfachheit aus.

Das fertig gemischte Material wird in einen auf dem Trichter a befindlichen hölzernen Aufsatz eingegeben und dann zunächst durch den Sektor b in die untere Form gepreßt. Dabei gehen, um das Preßgut aufzunehmen, die beiden Preßstempel c und d zuerst auseinander und nähern sich dann wieder, um nunmehr den Ziegel zu pressen, was bei dem hinteren Stempel c vermittels der Kurbelachse e und bei dem vorderen Stempel d durch zwei auf der Achse aufgekeilte Exzenter f bewirkt wird. Darin liegt zugleich ein ganz besonderer Vorzug dieser Presse, indem die Pressung nicht wie sonst nur einseitig, sondern von zwei Seiten aus erfolgt: das Gefüge solcher Art hergestellter Ziegel ist ein auf beiden Seiten gleichmäßig dichtes.



Bei einer jedesmaligen Umdrehung der Kurbelachse e wird ein Ziegel gefertigt, welcher, nachdem er gepreßt ist, nach vorn bis vor die Oeffnung der Form geschoben wird und dort bequem von einem Jungen abgenommen werden kann.

Die Presse läuft ziemlich rasch und preßt in einer Minute 20 sehr gleichmäßige Ziegel. Verf. hat längere Zeit mit ihr gearbeitet und ist bei glattem Betriebe anstandslos auf 9,000 Ziegel pro Zehnstundenschicht gekommen, also 18,000 pro Tag. Bei dieser Leistung beansprucht die Presse etwa 4—5 Pferdestärken. Da sie außerordentlich stark gebaut ist und von stabiler, ein-

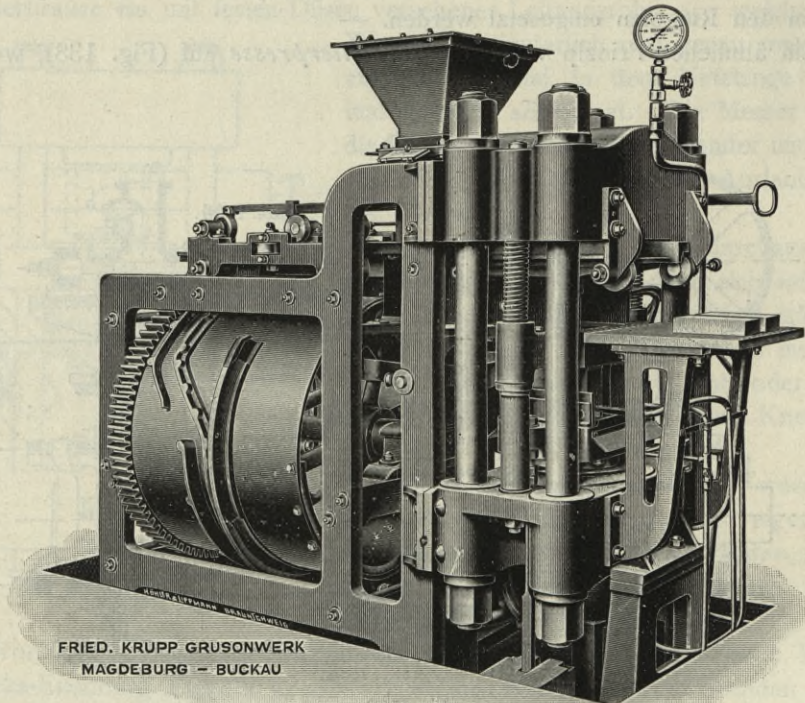


Fig. 139.

facher Konstruktion, so sind Reparaturen nur wenig zu vermerken, was einen recht kontinuierlichen Betrieb gewährleistet.

Die Osnabrücker Presse ist übrigens seit langen Jahren mit ausgezeichnetem Erfolge in die Schlackensteinfabrikation eingeführt und von da in neuerer Zeit ebenso vorzüglich in die Kalksandsteinindustrie übergegangen. —

Ein ganz eigenartiges Prinzip ist dasjenige der *hydraulischen Pressen*, von denen z. B. ein Typus des verstorbenen Ingenieurs v. Mitzlaff einige Zeit auf einer mitteldeutschen Fabrik recht befriedigend gearbeitet hat. Die Steine von solchen Pressen sind gewöhnlich außerordentlich fest.

Nachdem längere Zeit hindurch nichts Neues von brauchbaren hydrau-

lischen Pressen bekannt geworden, ist in allerletzter Zeit eine solche Presse von Riemann konstruiert worden, deren Ausführung das Grusonwerk übernommen hat (Fig. 139).

Diese automatisch arbeitende hydraulische Trockenpresse, die zur Herstellung von Rohziegeln (sowie auch von Platten etc.) aus jedem nur irgendwie preßfähigem Material dient, besteht im wesentlichen aus der hydraulischen Preßvorrichtung und dem sich daran anschließenden Gestellrahmen, in dem eine Trommel rotiert, welche den Schlitten und die Steuerventile betätigt.

Das Material wird in den am oberen Holm befestigten Fülltrichter aufgegeben. Das Füllen der Preßform und Abschieben der fertigen Steine erfolgt durch die Bewegung des Schlittens, das Pressen und Ausstoßen dagegen durch

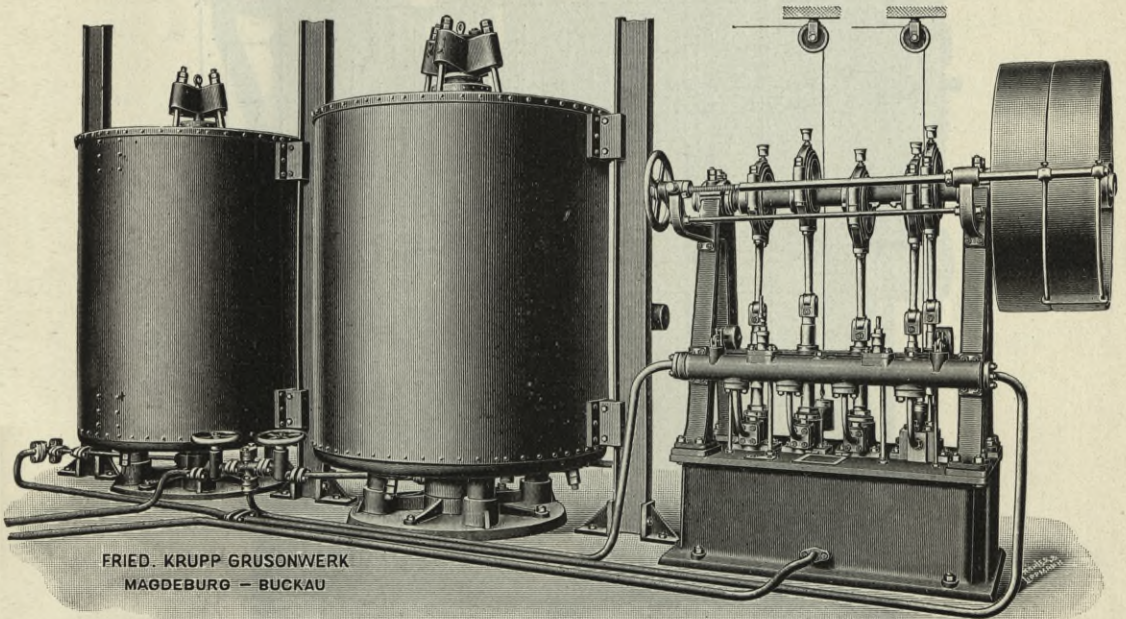


Fig. 140.

den hydraulischen Preßkolben. Für die Abnahme der Steine ist vor der Presse ein Tisch angeordnet, der auf Konsolen ruht. Die oberen wie auch die unteren Preßstempel können mit Dampf geheizt werden. Stempel und Preßform lassen sich leicht auswechseln.

Zum Betriebe der Presse sind ein oder zwei Akkumulatoren und ein Preßpumpwerk (Fig. 140) erforderlich. Die Steuertrommel der Presse kann mittels Riemen von der Transmission aus angetrieben werden.

Leistung stündlich 1,000 Normalsteine, Kraftbedarf freilich ca. 12 Pferdestärken.

Der Typus der *Schlagpressen*, wie die Hammerpressen auch wohl bezeichnet werden, ist zuerst in der *Schweizer* und besonders in der *Winkler'schen* Schlagpresse festgelegt worden. Diese letztere besteht aus einem drei-

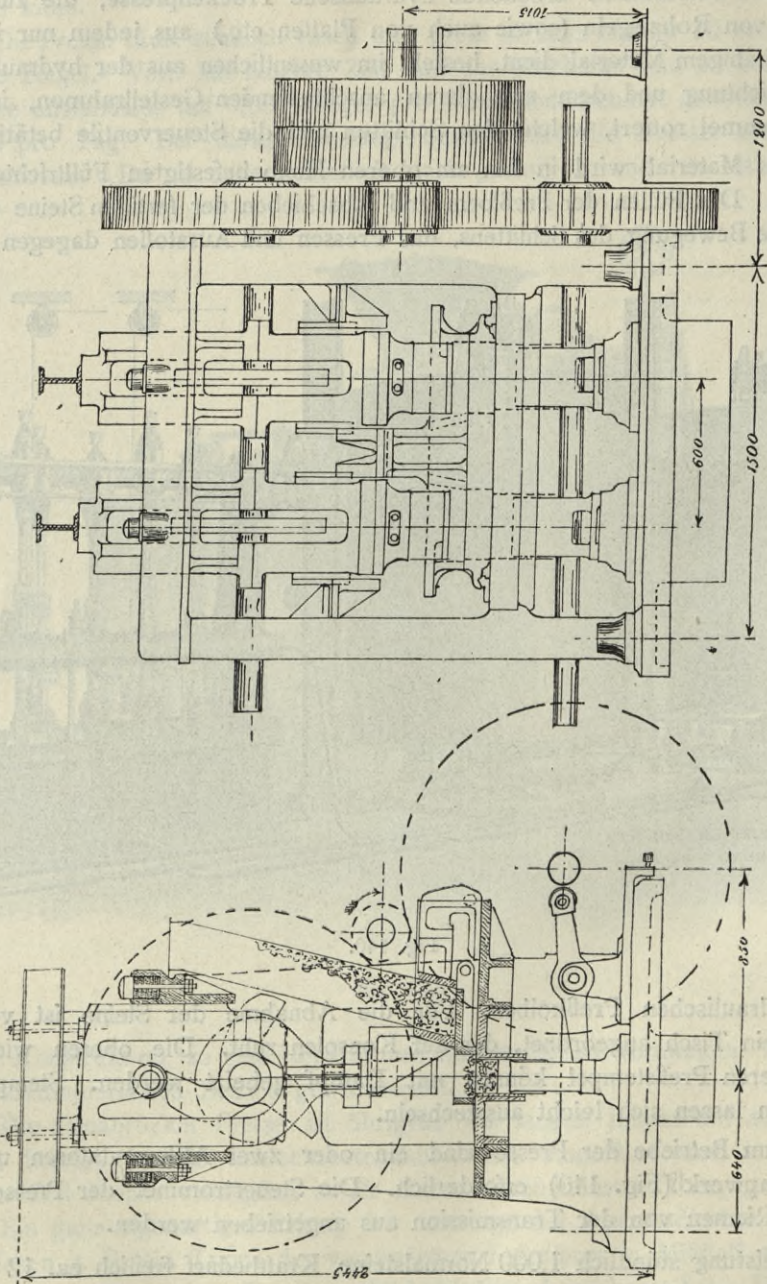


Fig. 141.

oder vierfachen Hebemaßen, der den Hammer 3- oder 4-mal hebt und wieder fallen läßt, ferner den festen Formen, dem beweglichen Füllkasten und

den Ausdrückern. Nach dem letzten Schlage, also mit Beginn der Arbeit für ein paar neue Steine, ist der Füllkasten nach vorn gegangen und hat zu

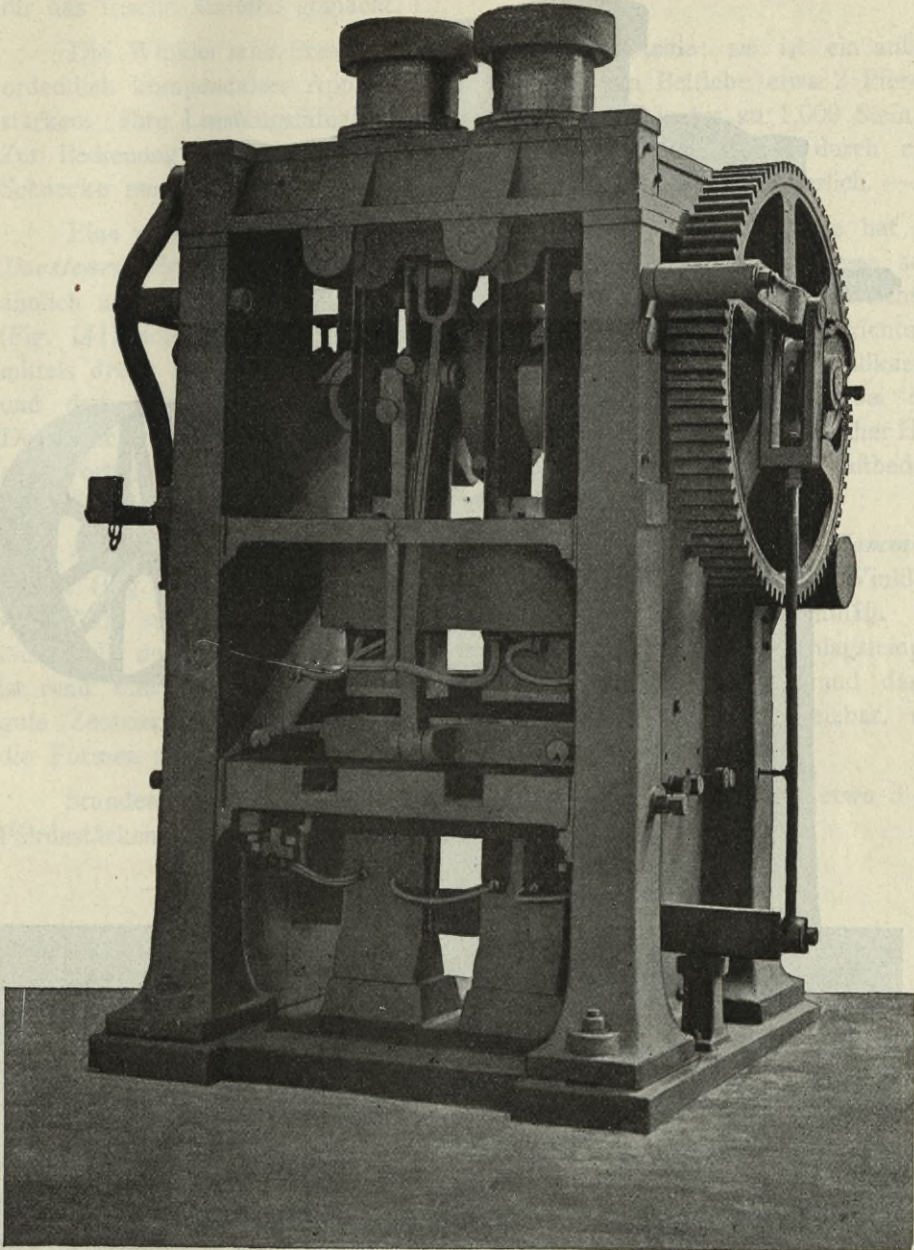


Fig. 142 (Vorderansicht).

gleicher Zeit die aus den Formen gehobenen Steine nach vorn geschoben und die Formen selbst wieder mit neuem Material gefüllt.

Nach dem ersten Schlage geht der Füllkasten wieder unter den Fülltrichter zurück und nimmt dort ein genau bemessenes Quantum neuen Materials

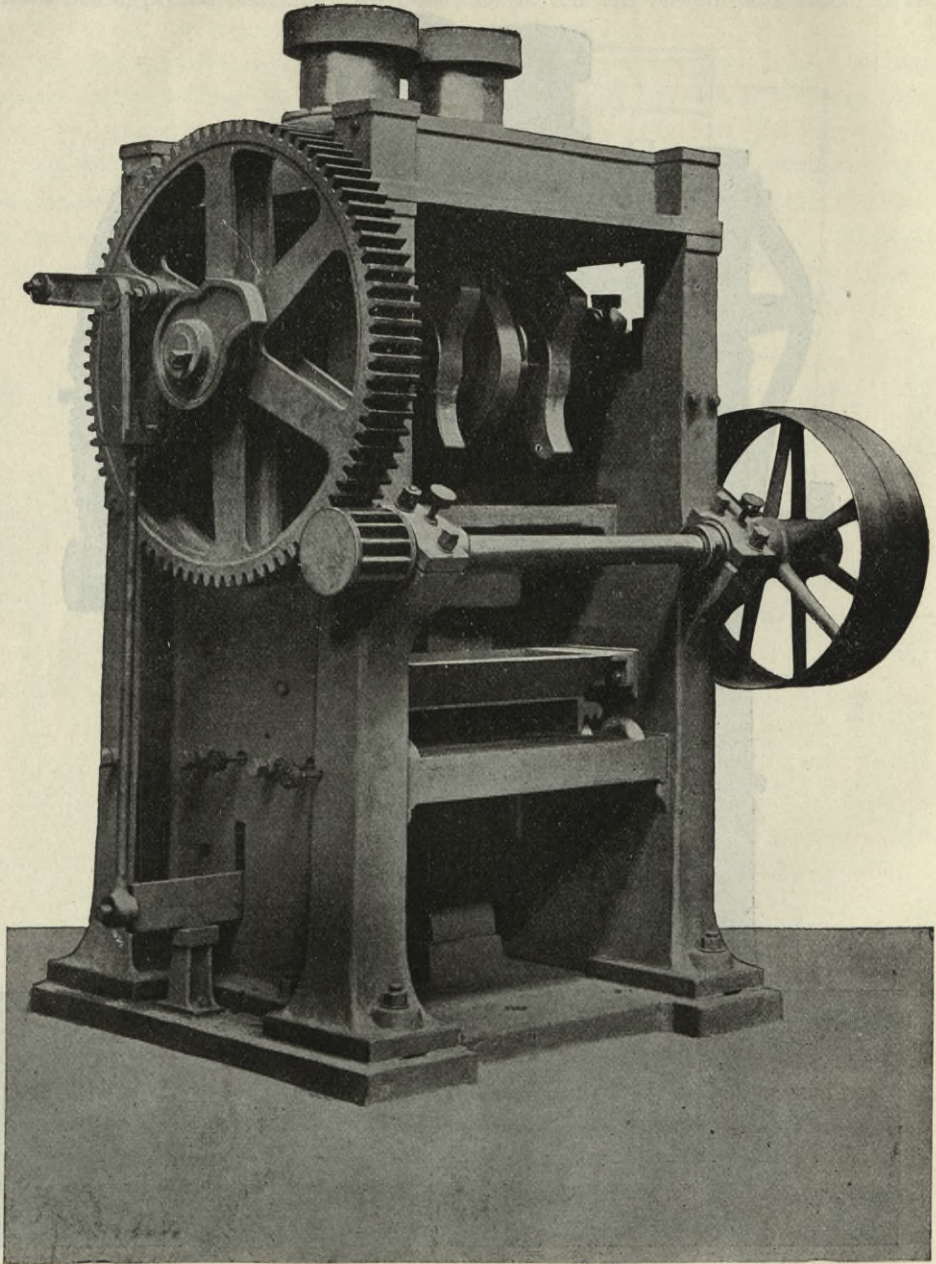


Fig. 143 (Hinteransicht).

auf. Nun folgen kurz hintereinander der zweite und dritte Schlag, welcher letzterer der kräftigste ist. Zugleich mit dem Heben des Hammers nach dem

letzten Schlage hebt auch der Ausdrücker die fertigen Steine aus den Formen heraus; der Füllkasten geht vor und schiebt die Steine auf die Preßschplatte. Inzwischen ist der Ausdrücker sofort wieder heruntergegangen und hat Platz für das frische Material gemacht.

Die Winkler'sche Presse liefert gleich zwei Steine; sie ist ein außerordentlich kompendiöser Apparat und benötigt zum Betriebe etwa 2 Pferdestärken. Ihre Leistungsfähigkeit beträgt in der Stunde bis zu 1,000 Steinen. Zur Bedienung ist bei automatischer Zuführung des Preßgutes durch eine Schnecke nur ein Mann zum Abnehmen der fertigen Steine erforderlich. —

Eine weitaus größere Verbreitung als diese Winkler'sche Presse hat die *Dorstener Presse* gefunden, deren Prinzip der Winkler'schen Presse sehr ähnlich und deren besondere Konstruktion aus dem nebenstehenden Schnitt (Fig. 141) sofort klar ersichtlich ist. Auch hier hebt die Hubvorrichtung mittels dreier Daumen die Doppelramme, die mit den beweglichen Füllkasten und den Ausdrückern entsprechend zusammenarbeitet. Nur ist bei der Dorstener Presse die ganze Arbeit auf zwei Wellen verteilt, was in mancher Hinsicht vorteilhaft erscheint. — Stundenleistung 1,400 Normalsteine, Kraftbedarf ca. 3 Pferdestärken. —

Auch Polysius-Dessau hat vor einigen Jahren eine zweistemplige *Hammerpresse* (Fig. 142 u. 143) eingeführt, welche wieder etwas auf die Winkler'sche Form zurückgreift, aber einige wesentliche Verbesserungen enthält. So läuft z. B. der Füllschieber auf Rollen und die Führung der Schlagstempel ist rund und doppelt angeordnet, wodurch eine lange Führung und damit gute Zentrierung ermöglicht ist. Auch hier sind die Stempel heizbar, um die Formen stets sauber zu erhalten.

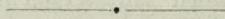
Stundenleistung ca. 1,400 Steine bei einem Kraftbedarf von etwa 3—4 Pferdestärken.

\* \* \*

Aus den vorstehenden Ausführungen ergeben sich nun allgemein die folgenden Hauptpunkte, die man für eine gute und leistungsfähige, d. h. rationell arbeitende Presse in erster Linie zu berücksichtigen hat:

1. Der Betrieb muß durchweg ein automatischer sein.
2. Es muß ein stets gleichmäßig hoher Druck ausgeübt werden können.
3. Die Höhe dieses Druckes, sowie die Wirkung desselben auf das zu pressende Material muß regulierbar sein.
4. Der Druck soll möglichst zugleich von unten und oben her erfolgen.
5. Die Presse muß Rohmaterial von möglichst geringer Feuchtigkeit zu verarbeiten imstande sein.

6. Es muß eine gute und möglichst vollständige Entlüftung des Preßgutes erfolgen.
7. Die Presse muß äußerst stabil konstruiert sein, damit sie dem zur Verwendung kommenden hohen Drucke durchaus gewachsen ist.
8. Die Presse darf nur ein Minimum von Kraftaufwand für die jeweilige Leistung erfordern.
9. Die Presse muß event. zur Sauberhaltung der Formen heizbar sein.



## 6. Das Trocknen und Härten der Rohziegel.

In dem Zustande, wie die frischen (grünen) Rohsteine von der Presse kommen, sind sie gewöhnlich nicht fähig, den Gang durch den Ofen auszuhalten. Nur der Ringofen in Verbindung z. B. mit einer Dorstener Schlagpresse läßt immer, ebenso der Schneider-Ofen (ein kontinuierlicher Schacht-ofen) manchmal, also etwa bei recht gutem, plastischem Material das direkte Einsetzen der eben von der Presse kommenden Rohziegel in den Ofen zu. Meist ist es dagegen erforderlich, die Steine für den z. T. recht angreifenden Gang durch den Brennofen entsprechend vorzubereiten.

Das geschieht entweder durch vorherigen Zusatz irgendwelcher chemisch wirkender Härtemittel bereits zum Rohmehl oder durch nachträgliches Trocknen der Steine in Trockenkanälen.

In den *Trockenkanälen* wird der weiche, feuchte Rohziegel durch Zuführung von erwärmter Zugluft zu einem harten, trockenen Stein ausgetrocknet.

So z. B. besteht die in vielen Fabriken eingeführte Kanaltrocknerei von Fellner & Ziegler-Frankfurt a/M. aus mehreren nebeneinander liegenden, gemauerten Heizkanälen, deren Anzahl sich nach der Größe der Produktion richtet. Jeder Kanal ist von einem Schienenstrang durchzogen, auf welchem die Wagen mit dem zu trocknenden Material, also den Rohziegeln, in geschlossener Reihe dicht hintereinander, sich durch den Kanal hindurchbewegen. Jeder Kanal ist von vorn bis hinten mit den Wagen besetzt, deren Bewegung durch ihn hindurch mittels Kabel und Winden von der Ausfahrt aus erfolgt. Die Trocknung erfolgt durch Heizgase, welche von den Feuerungsrosten unterhalb des Ofens mittels Ventilators durch jeden einzelnen Kanal hindurchgepreßt und schließlich in einen Schornstein abgeführt werden. Die Heizgase gehen nach dem Prinzip des Gegenstromes den Wagen mit dem Material entgegen, geben unterwegs ihre Wärme zum Trocknen ab und sättigen sich mit der ausgetriebenen Feuchtigkeit, bis sie endlich stark abgekühlt und wasserübersättigt in den Schornstein entweichen. Dadurch, daß die schärfste Hitze erst zum Schluß eintritt, geht man sicher, auch die letzte Spur von Feuchtigkeit ausgetrieben zu haben.

Die Leistung solcher Kanalöfen, die speziell zum Trocknen der Rohziegel dienen, ist ziemlich günstig, und können bei durchschnittlich etwa fünf-facher Verdampfung in der Stunde 300—400 Normalziegel getrocknet werden.



Aus dieser Ziffer, welche je nach der Art und dem Feuchtigkeitsgrade der zu trocknenden Materialien nicht unerheblich schwankt, kann man sich die Größe der erforderlichen Anlage leicht selbst berechnen.

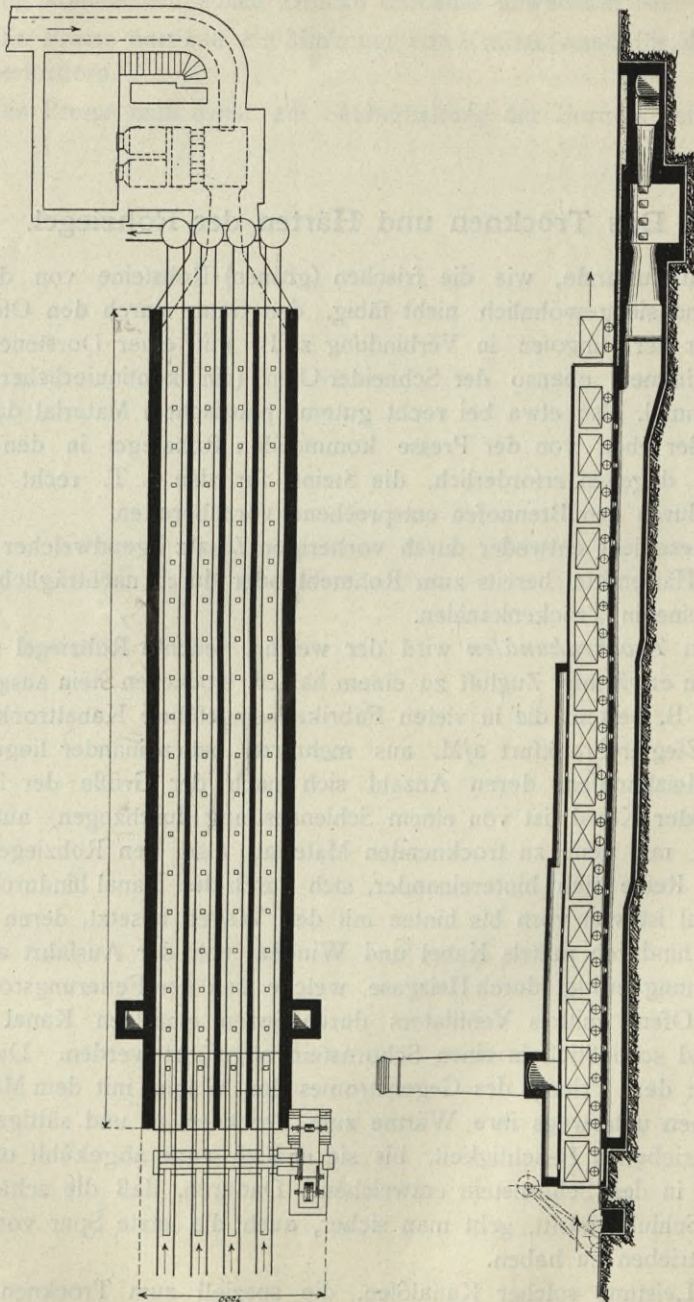


Fig. 144.

Es kommt hierfür wesentlich darauf an, ob die Steine naß oder trocken gepreßt sind. In ersterem Falle sind für jede 100,000 Faß Jahresproduktion,

also für täglich 334 Faß Zement 4, im letzteren Falle nur 3 Einzelkanäle erforderlich. Rechnet man nun für 1 Faß Zement 270 kg trockene Rohmasse und einen Normalziegel ebenfalls trocken zu ca.  $3\frac{1}{2}$  kg, so sind pro Faß 77 Ziegel, für die Tagesleistung von beispielsweise 334 Faß rund 26,000 Ziegel zu trocknen. Das ergibt für jeden Kanal eine Stundenleistung von 300 naßgepreßten oder von 400 trocken gepreßten Ziegeln.

Die Länge solcher Kanäle beträgt gewöhnlich 30 m. Die Einführung der Trockenluft und der Auslaß der feuchten Luft ist aber nicht direkt am Ausgang resp. am Eingang der Kanäle anzuordnen, sondern wenigstens 3 m vorher. Die heißen Steine am Kanalausgang bedürfen durchaus nicht der Zuführung immer neuer Wärme; es genügt die in ihnen aufgespeicherte Wärme, um am Ende des Kanals den letzten Rest von Feuchtigkeit auszutreiben. Und am Anfang des Kanals würden, besonders bei unterem Luftabzuge, die Wasserdämpfe sich bei allzu niedriger (eigener) Temperatur an den frischen, d. h. kühlen und

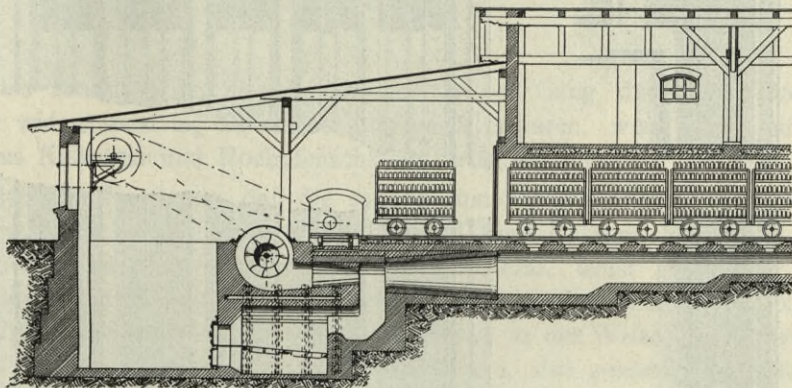


Fig. 145.

feuchten Ziegeln nur zu leicht kondensieren. Zur Verhütung dieses Vorkommens zieht man daher auch noch die mit Wasserdampf gesättigte Luft besser nach oben zu ab.

Da das Trocknen nicht sowohl durch Zuführung von Wärme als ebenso durch Zuleitung von Frischluft zu den Ziegeln erfolgt, so sind die Trockenkanäle gewöhnlich mit Sekundärlufteinrichtungen versehen. Diese ermöglichen zu gleicher Zeit eine sehr gute Regulierung der Heizgase auf eine ganz bestimmte Temperatur. —

Die Anlage solcher Trockenkanäle ist aus der nebenstehenden Skizze nach der speziellen Konstruktion von *Möller & Pfeifer-Berlin* ersichtlich (Fig. 144). Die Abbildung zeigt einen Kanaltrockner mit 4 Einzelkanälen, welche von den mit den Ziegeln beschickten Etagenwagen durchzogen werden. Die Länge der Kanäle beträgt gewöhnlich 34 m, die Höhe 2 m. Die Anlage, zu deren Betriebe ca. 10 Pferdestärken erforderlich sind, arbeitet nach dem Gegenstromprinzip unter Benutzung der bekannten Möller-Pfeifer'schen Ejektorfeuerung, deren Anordnung in Fig. 145 nochmals besonders skizziert ist.

Die Tagesleistung beträgt auch hier ca. 7,500 naß gepreßte Normalsteine resp. bis zu 10,000 trocken gepreßte Ziegel. Die Wasserverdampfung ist etwa eine sechsfache. —

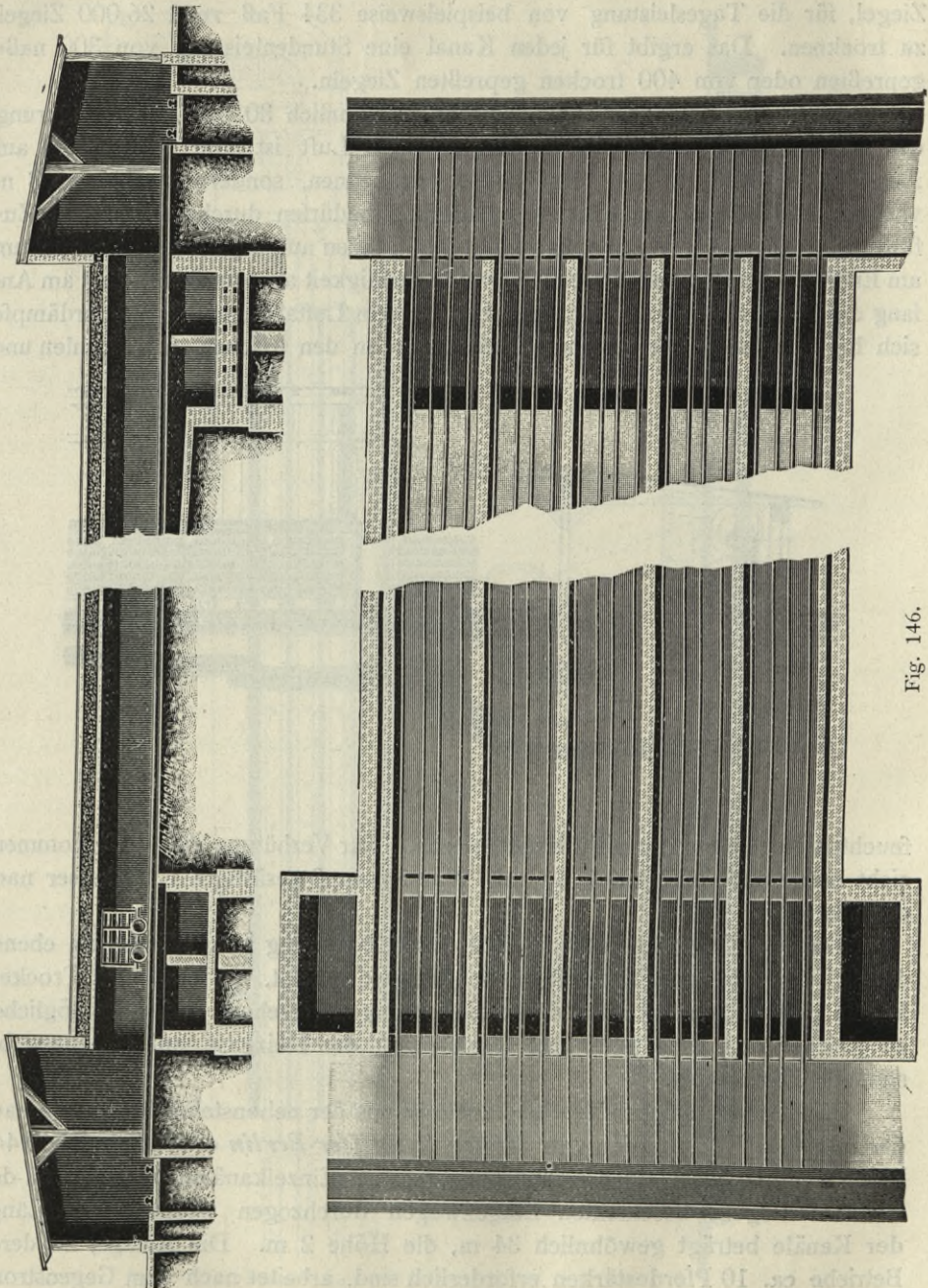


Fig. 146.

Auch das Eisenwerk vorm. Nagel & Kämp-Hamburg baut derartige Trockenkanäle und zwar nach der *Cummer'schen* Einrichtung (Fig. 146).

Dieselbe besteht aus einer Anzahl 35 m langer und 2 m hoher Tunnel, deren jeder mit zwei Gleisanlagen versehen ist. Die Feuerung des mit Gegenstrom arbeitenden Apparates ist eine Cummer'sche automatische Treppenrostfeuerung, an die ein Ventilator angeschlossen ist. Die Feuergase werden vor Eintritt in die Tunnel in einer Mischkammer durch Zuführung von Sekundärluft auf ca. 300° C. gebracht. Die so kombinierte Trockenluft wird durch einen Querkanal durch Ventilatoren in die Tunnel hineingepreßt.

Die Leitung der Cummer'schen Trockentunnel wird ziemlich die gleiche sein, wie bei den anderen Kanaltrocknereien. Die von der Firma angegebenen Verdampfungsziffern aber können für normalen Betrieb wohl nicht gut Geltung haben. Es mag also davon abgesehen werden, des näheren hier auf dieselben einzugehen. Vielmehr dürfte es genügen, zu konstatieren, daß auch die Cummer'sche Kanaltrocknerei recht befriedigende Resultate liefert.

\* \* \*

Das Trocknen der Ziegel, um sie für den Gang durch den Ofen genügend widerstandsfähig zu machen, läßt sich ersparen, wenn man mit Rohmehl aus Kalkstein und Hochofenschlacke arbeitet.

Unter der Erwägung, daß die sogenannten Schlackensteine, aus körniger, granulierter Hochofenschlacke (Schlackensand) und Kalkbrei hergestellt, einen vorzüglich festen Stein ergeben und daß granuliert, feinst gemahlene Hochofenschlacke mit Kalkhydrat einen energisch bindenden Zement abgibt, hat Stein-Wetzlar das Härten von Zementrohsteinen in der Weise ausgeführt, daß er dem fertigen Rohmehl etwas Schlackenzement, also gemahlene, granuliert Schlacke und Kalkhydrat zusetzte. Sein Patentanspruch (No. 76,330) lautet auf ein: Verfahren, die sogen. Rohsteine aus Zementroh Mischung wetterbeständig und haltbar zu machen, darin bestehend, daß zur Rohmischung eine Beimengung von Schlackensand und Kalkhydrat gegeben wird, durch deren schnelles Abbinden ein Verkitten der Rohmassenteile erzielt wird.

Daß ein solches Patent erteilt werden konnte, ist eigentlich erstaunlich, wenn man überlegt, daß die sämtlichen Faktoren des Verfahrens bekannt gewesen sind.

Aber es muß zugegeben werden, daß die auf diese Weise hergestellten Zementrohsteine eine ganz bedeutende Festigkeit aufweisen. Sie haben eigentlich nur einen Fehler, nämlich, daß das Verfahren, abgesehen von der hohen Lizenzgebühr, zu teuer ist.

Man kann denselben Zweck ebenso genügend erreichen, wenn man das teure Kalkhydrat ganz fortläßt und nur, wie es wohl auf allen Fabriken geschieht, das zerfallene und event. abgelöschte Mehl vom Ungaren aus dem Ofen wie üblich in den Fabrikationsprozeß wieder eingibt. Irgend welchen besonderen Zusatzmittels bedarf es ganz und gar nicht. Die Steine werden vielleicht nicht ganz so fest wie nach dem Stein'schen Patent; aber die vom

Verf. aus einer Reihe von Parallelversuchen ermittelte Druckfestigkeit nach 10 Tagen von 39 bezw. 45 kg pro qcm dürfte vollauf hinreichen, um selbst einem ziemlich starken Angriff zu widerstehen. —

\* \* \*

Der Transport der Steine zu und von den Trockenkanälen erfolgt mittels sogenannter Etagenwagen, wie die nebenstehende Abbildung (Fig. 147) sie zeigt, und wie sie z. B. von Glässig & Schollwer-Berlin geliefert werden.

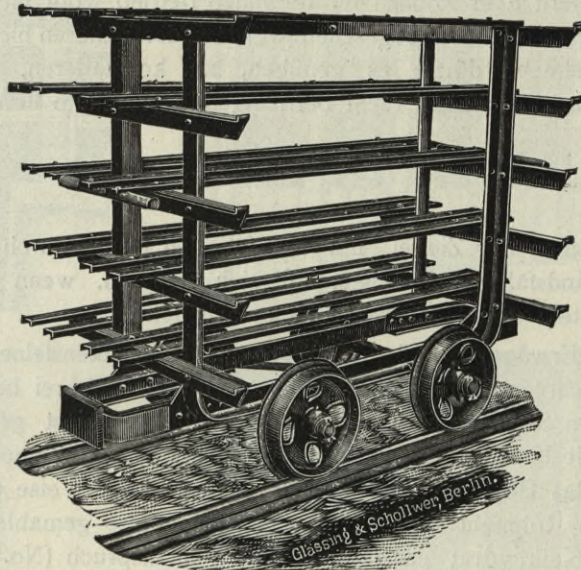


Fig. 147.

Dabei ist es möglichst zu vermeiden, diese Wagen mit den wenig widerstandsfähigen Rohziegeln über Weichen oder Drehscheiben gehen zu lassen, durch

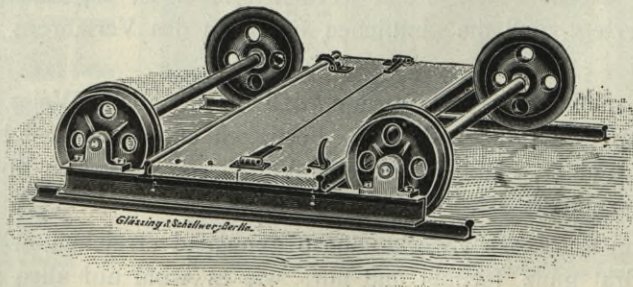


Fig. 148.

deren Stöße die Steine event. stark leiden würden. Man benutzt vielmehr als Ueberführungsmittel kleine Schiebebühnen (Fig. 148), deren Konstruktion und

Handhabung ohne weiteres ersichtlich ist und welche meist sogar vor dem Eingange und dem Ausgange der Trockenkanäle auf fest verlegten Gleisen laufen. —

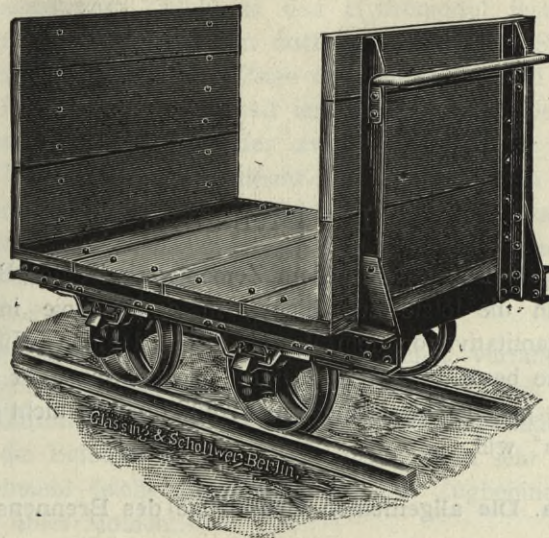


Fig. 149.

Hat man es dagegen mit künstlich (z. B. nach dem Stein'schen Verfahren) gehärteten Rohsteinen zu tun, so stapelt man dieselben erst etwa 10 Tage im Freien auf und befördert sie dann auf Plateauwagen (Figur 149) zum Ofen-  
aufzug.

## 7. Die Brennöfen.

Der wichtigste Apparat in jedem Zementwerk ist der Brennofen, da er, wenigstens bis in die letzte Zeit hinein, in erster Linie in seiner Leistung qualitativ wie quantitativ von dem Verständnis und guten Willen der Arbeiter abhängig ist. Die beste Vorbereitung nützt nichts, wenn der Ofen, sozusagen der „Magen“ des ganzen Organismus, nicht funktioniert, nicht glatt und gleichmäßig „verdauen“ will.

### a. Die allgemeinen Grundzüge des Brennens.

Um einen guten Brand aus dem Ofen herauszubekommen, ist zunächst eine sehr sorgfältige Aufbereitung der Rohmaterialien erforderlich und zwar chemisch wie mechanisch. Da das Brennen, also die Klinkererzeugung ein chemischer Vorgang ist, so müssen unbedingt alle Grundlagen vorhanden sein, um diese chemische Reaktion rasch und energisch durchzuführen.

Vergegenwärtigen wir uns diese chemische Reaktion, so sehen wir, daß im Verlaufe des Brennprozesses der kohlen saure Kalk im Rohmehl bei 700 bis 1,000° C. seine Kohlensäure abgibt und in Aetzkalk übergeht. Diese starke Base wirkt bei steigender Temperatur ungemein energisch auf das Silikat des Tones ein. Es bildet sich hierbei zunächst ein gelblich gefärbter Körper, der bereits hydraulische Eigenschaften hat, das sogenannte *Ungare*. Ueberschreitet die Temperatur ungefähr 1,200° C., so zieht die Farbe des Brenngutes immer mehr ins Graue hinüber. Die Hydraulizität steigt und das Material hat in diesem Zustande die Eigenschaften etwa von Romazement. Erst bei 1,350° C. beginnt das für Portlandzement charakteristische Verdichten des Brenngutes. Es tritt ein Fritten ein, die Masse *sintert* stark zusammen und der dabei gebildete *Klinker* nimmt eine grünlich-schwarze Färbung an. Die Sinterung dürfte selbst bei sehr schwer zu brennendem Material die Temperatur von 1,450° C. nur selten übersteigen. In früheren Jahren hat man die im Zementbrennofen erzielte Temperatur vielfach überschätzt. Die Ziffer von 1,600—1,650° C. war viel zu hoch gegriffen.

Zur bequemen Ermittlung der Brenntemperatur eignet sich vorzüglich der Drehofen und als Meßinstrument ist außer dem Le Chatelier'schen Pyrometer auch das *Wanner'sche Pyrometer* ein ebenso einfacher wie zuverlässiger Apparat.

Die Vorbereitung des Rohmehls ist nach verschiedenen Richtungen hin ganz exakt durchzuführen. Hierhin gehört in erster Linie das genaue Einhalten einer für das betreffende Rohmaterial speziell auszuprobierenden chemischen Zusammensetzung. Wohl ist das Hydromodul festgelegt; aber die üblichen Grenzen von 1·7—2·2 lassen doch ganz erhebliche Schwankungen zu. Man soll aber nicht allzu sehr dem Zuge der Zeit folgen und z. B. auf Kosten vieler wichtiger Punkte den Kalkgehalt im Zement bis an die höchstmögliche Grenzlinie bringen, nur um ein oder zwei Kilo mehr an Anfangsfestigkeit herauszuholen. Ein hochkalkiger Zement neigt leichter zum Treiben, als ein solcher mit einem spezifischen, dem Material wirklich angepaßten Kalkgehalt. Auch ist die anfänglich hohe Festigkeit oft nur trügerisch. Und ein kieselsäurereicher Zement wird, normal gebrannt, unter sonst gleichen Verhältnissen in seiner Festigkeitskurve jeden andern schlagen.

Natürlich soll man auch nicht in das Gegenteil verfallen und vielleicht aus Sparsamkeitsgründen das Rohmehl niedrigkalkig halten. Freilich brennt sich ein solches Material mit weit geringerem Kohlenaufwande als sehr hochkalkiges. Aber die Einbuße an Festigkeit spricht doch sehr mit, und zudem neigt toniges Rohmehl leicht zum Zerfallen. Die Zugbehinderung aber im Ofen ist ein sehr übles Moment.

Also die richtige, goldene Mittelstraße in der chemischen Zusammensetzung, soweit das Verhältnis von Kalk zu Ton in Betracht kommt!

Von anderen Materialien war schon erwähnt, daß z. B. die Magnesia in größeren Mengen durch ihre Leichtflüssigkeit dem Ofenbetriebe große Schwierigkeiten bereitet, daß die Sinterung sehr leicht in Schmelzen übergeht. Als Flußmittel kommt vielmehr in erster Linie das Eisen in Betracht. Und wo es im Material daran mangeln sollte, ist es durch einen Zuschlag von Kiesabbrand (nicht über 2 % hinaus), von Mangan bis zu 1 % oder von Flußspat bis zu höchstens  $\frac{3}{4}$  % zum Rohmehl entsprechend zu ersetzen.

Die leichte und vollständige Sinterung ist weiterhin durch recht feines Mahlen und demgemäß inniges Mischen der verschiedenen Rohmaterialien zu befördern. Man schafft hierdurch größere Oberflächen und damit eine bedeutende Menge von Angriffspunkten, an denen die Wechselwirkung beider Komponenten, des basischen Aetzkalkes und des sauren Silikates, energisch und rasch vor sich zu gehen vermag. Je ungünstiger das Material, z. B. je reiner der Kalkstein, um so mehr Wert ist auf feinste Mahlung und innigste Mischung zu legen. Beides macht sich durch guten und gleichmäßigen Brand überreichlich bezahlt. Und es ist ganz erstaunlich, was man dadurch selbst aus mittelmäßigem Material herausholen kann. Besonders die Volumenbeständigkeit und die Druckfestigkeit erfahren ganz ungeahnte Verbesserungen. Speziell bei ersterer ist nur der freie Kalk, der als solcher nicht sowohl aus Mangel an genügend vorhandenem Silikat als vielmehr einzig und allein infolge groben Mahlens und damit verbundener schlechter Mischung auftritt, die unbedingte Veranlassung zum Treiben.



Doch auch die beste Zusammensetzung des Rohmehls, die feinste Mahlung und Mischung desselben hilft wenig, wenn nicht auch der daraus gefertigte Ziegel heil und unversehrt in den Brennprozeß hineingeht. Nichts ist schlimmer als mürbe Ziegel, die im Ofen nur zu bald auseinanderfallen und den Zug versetzen.

Hat man solches Material zu verarbeiten, so ist natürlich zunächst große Rücksicht auf das zu wählende Ofensystem zu legen. Hier ist also außer dem Drehofen etwa ein Schneidofen mit in erster Linie angezeigt. Ferner ist Naßziegelung und Trocknung der Ziegel im Trockenkanal unbedingt nötig.

Dann aber, und das gilt für alle Ofensysteme und jedes Material, soll man unbedingt den Ofen mit künstlichem Luftzuge betreiben. Derselbe braucht durchaus keinen sonderlich großen Druck: es genügt vollkommen ein solcher von etwa 20—22 mm Wassersäule.

Der Ofenbetrieb mit Druckluft (Saugluft wird seltener angewandt wegen des starken Rostens der Apparate und weil nur 1 Atmosphäre Druck zur Verfügung steht) hat eine ganze Reihe von Vorteilen im Gefolge, die an sich nahezu kostenlos sind.

Zunächst ist nämlich stets und ständig ein guter und immer gleichmäßiger Luftzug im Ofen. Leicht mullendes Material wird also weniger Störungen verursachen, und der Brenner hat die Eingabe von Kohle weit besser in der Hand.

Ferner wird die feuerfeste Ofenausmauerung sehr geschont und schon damit erheblich an Reparaturkosten gespart. Dazu kommt noch eine weitere freilich nur kleine Ersparnis an Brennmaterial, da dasselbe bei kräftigem Luftzuge vollkommen ausbrennt.

Die größte Ersparnis aber liegt darin, daß man eine ganz enorme Mehrleistung erzielt und damit die Ofenanlage entsprechend bedeutend geringer bemessen kann. Wenn man z. B. im Etagenofen pro Brennraum früher täglich 60 Faß als eine gute Leistung ansprechen konnte, leistet derselbe heutzutage, mit Druckluft betrieben, etwa 90 Faß. Während also früher für jede 100,000 Faß Jahresproduktion drei Etagenöfen erforderlich waren, braucht man jetzt deren nur noch zwei. Und ein Etagenofen nebst dem nötigen Anteil am Ofenhaus ist auf wenigstens 25,000 Mark zu bemessen.

Daß schließlich das glatte und gleichmäßige Brennen die Qualität des Klinkers verbessert, ist ganz selbstverständlich. Das ergibt sich schon aus dem Grundprinzip des Zementbrennens: *möglichst rasch brennen und kühlen!*

Hierfür hat Dr. Müller-Rüdersdorf einen klassischen Beweis geliefert,<sup>1)</sup> indem er das Material bei seinem Durchgange durch den Drehofen in seinen einzelnen Phasen beobachtete und nach Abkühlung des Ofens aus 20 verschiedenen je 1 m auseinander liegenden Teilen des Ofens Proben entnahm. Dabei stellte es sich heraus, daß die ersten 15 Proben nicht über die Bildung von Leichtbrand hinausgekommen waren, wie schon die bekannte gelbe Färbung

<sup>1)</sup> Tonindustrie-Ztg. 1903, S. 166 flg.

derselben zeigte. Erst die 16. Probe war grau gefärbt, und hinterher findet dann sofort eine vollständige Sinterung statt. Also erst in den letzten 6 m des etwa 25 m langen Ofens findet, und zwar scharf von dem anderen Teile getrennt, die Sinterung statt, d. h. in einem ganz kurzen Zeitraum.

Dr. Müller schließt übrigens hieraus ganz mit Recht, daß jedenfalls bis zu diesem Punkte, die volle Intensität der Kohlenstaubflamme reicht und dieselbe hinterher ganz erheblich zurückgeht, sowie ferner, daß das Entsäuern des Rohmehls in erheblich kürzerer Zeit als bisher erreicht werden könne. —

Bei vielen Materialien, besonders kieselsäure- und speziell quarzreichen, neigen die Klinker leicht zum Zerrieseln. Man kann (aber leider nicht immer mit vollem Erfolge!) diesem Uebel etwas steuern, wenn man die heißen Klinker, sobald sie den Ofen verlassen haben, mit Wasser übergießt. Das hat noch zugleich den Vorteil, daß derartig behandelte Klinker einen langsamer bindenden Zement ergeben. Oftmals würde ohne diese „Kaltwasserkur“ ein Zement selbst mit 2 % oder noch mehr Gips überhaupt nicht langsam bindend werden. Denn für die Wechselwirkung der Schwefelsäure des Gipses und der Alkalien im Zement ist unbedingt ein Zeitraum von etwa 10 Minuten erforderlich. Fehlt dieser Zeitraum, bindet der Zement also vor 10 Minuten, so wird der Gips ohne Wirkung bleiben. Nur der vorherige Wasserzusatz zum Klinker hilft hier als vorbeugendes Mittel. —

Man sieht, es gibt gar Mancherlei im Ofenbetriebe zu bedenken und selbst der Drehofen, der doch maschinell arbeiten soll, hilft auch nicht über alle Schwierigkeiten hinweg.

\* \* \*

## b. Die verschiedenen Ofensysteme.

Wenn wir hier von den verschiedenen Ofensystemen sprechen wollen, so kann es sich natürlich nur um solche handeln, die z. Z. in der Praxis mit Erfolg in Betrieb sind.

Es waren freilich die Anstrengungen der Techniker besonders des letzten Dezenniums im wesentlichen darauf gerichtet, einen Ofen zu konstruieren, der womöglich für jedes Material geeignet wäre, der billig im Bau und in der Unterhaltung und bei höchster Leistungsfähigkeit den geringsten Aufwand an Arbeit und Brennmaterial beanspruchte. Ein solcher „Universal-Ofen“ ist nun einfach unmöglich; dem steht von vornherein die große Verschiedenartigkeit der Rohmaterialien entgegen. Je nach dem Grade der Reinheit, der Härte und Dichte sowie nicht in letzter Linie der Plastizität kann das eine Rohmaterial sich wohl für alle Oefen schicken, während für das andere kaum ein einziges, wirklich passendes Ofensystem existiert. Immerhin ist schon ein großer Schritt vorwärts getan, indem man statt der früher meist periodisch arbeitenden Oefen die neueren Systeme mit kontinuierlichem Betriebe einführte. Der Aufwand an Brennmaterial ging damit sofort erheblich

herunter, z. B. für den ersten brauchbaren derartigen Ofen, den Hoffmannschen Ringofen, von durchschnittlich 28 0/0, wie sie der gewöhnliche Schacht-ofen verlangte, auf etwa 21 0/0 für 100 kg erbrannte Zementklinker. Aber selbst diese 21 0/0 Brennmaterial waren noch zu viel, und da der Ringofen immerhin noch einige Mängel aufwies, besonders denjenigen nicht genügend rascher Abkühlung, so ging das Bestreben dahin, bei reichlicherer Luftzufuhr rascher zu brennen und rascher zu kühlen. Das führte zur Konstruktion der Oefen von Dietzsch, Hauenschild etc. etc. Aber da kam ein anderer Uebelstand, das überaus lästige Anbacken, abgesehen von der Schwierigkeit, frische Ziegel in den Ofen einsetzen zu können, sobald diese nicht aus sehr plastischem Material bestanden oder außerordentlich trocken gepreßt waren. Den Uebelstand des Anbrennens beseitigte vollkommen erst der Stein'sche sowie der Schneider-Ofen, sodann aber auch die Einführung des künstlichen Zuges mit Hülfe von Druckluft.

Aber auch diesen Oefen blieb immer noch die bedeutende Leistung von Handarbeit, die gerade hier eigentlich am allerwenigsten am Platze ist. Das zeitigte in Amerika mit seinen hohen Arbeitslöhnen und relativ mäßigen Brennmaterial-Preisen die Konstruktion eines Maschinenofens, des Drehofens. —

Was den Prozeß des eigentlichen Brennens anbelangt, so gilt dafür ausnahmslos für alle Systeme als erste Fundamentalregel: rasch zu brennen, also das Brenngut nur die kürzeste Zeit in der Brennzone zu belassen, die es braucht, um völlig gar gebrannt zu werden, — und ebenso rasch nach erfolgtem Brande die erbrannte Ware wieder abzukühlen. Nicht sowohl die gesteigerte hohe Temperatur wirkt schädlich auf die Qualität der Ware als vielmehr die allzulang andauernde Wirkung.

Zum Brennen soll man nur Kohlen nehmen, die möglichst frei von Asche und Schwefel sind, welch' beide die Güte des ausgebrachten Produktes erheblich vermindern können. Schwefel geht dabei oftmals unter ungenügender Oxydation in das schädlich wirkende Schwefelcalcium über. Daraus ergibt sich weiter, daß man es vermeiden soll, mit reduzierendem Feuer zu arbeiten.

Versuche, dem Rohmehl Kohlenstaub zuzumischen, um ein besseres Durchbrennen zu erreichen, haben sich nicht überall bewährt. In einigen Fabriken ist der Brand besser ausgefallen und der Aufwand an Brennmaterial herunter gegangen, soweit der Kostenpunkt in Betracht kommt, in anderen Fabriken sind die Resultate höchst negativer Natur gewesen. Man kennt aber jedenfalls nur noch nicht genau die Bedingungen, unter denen die Verwendung von Kohlenschlamm in allen Fällen von Vorteil ist. —

Von den früher üblichen Brennöfen ist der älteste, der periodische Schacht-ofen, wohl so ziemlich verschwunden. Nur in dem konservativen England findet man noch eine Reihe selbst größerer Werke, die in diesen Oefen brennen. Aber in England ist eben die Kohle ziemlich billig und der Schacht-ofen ist als periodischer Ofen ein ziemlicher Kohlenfresser. Als Aequivalent steht diesem großen Kohlenverbrauch sowie einem bedeutenden Aufwande an Arbeitskraft und dem erheblichen Zeitverlust eigentlich nur die gute Qualität

des erbrannten Klinkers gegenüber. Aber die modernen Brennöfen sind auch in diesem Punkte dem alten Schachtofen wenigstens ebenbürtig geworden. Und die vorzüglichen Resultate des Drehofens in der Druckfestigkeit des erbrannten Zementes lassen selbst den besten Schachtofenzement hinter sich. Es erübrigt sich also, auf dieses veraltete System des periodischen Schachtofens näher einzugehen. Der rationelle Großbetrieb kann eben nur kontinuierliche Ofen brauchen.

Von diesen kontinuierlichen Ofensystemen hat sich bis in die letzte Zeit hinein der *Ringofen* zu halten vermocht, trotz der verschiedenen Mängel, die diesem ersten kontinuierlichen Ofen anhaften und die nicht alle sich beseitigen ließen. Dann kommen in Betracht: der *Dietzsch-Etagenofen*, der *Hauenschild-Schneider-Ofen* und der *Drehofen*. Von anderen Systemen wären vielleicht noch kurz zu erwähnen der *Liebanofen*, der *Aalborgofen* und der *Stein'sche Rippenofen*.

\* \* \*

Die Konstruktion des *Ringofens* ist schon in dem Kapitel V. über Luftkalk des Näheren beschrieben. Es ist nur nachzuholen, daß die Gurtbögen für den Zementringofen noch tiefer herabgezogen sind und daß die feuerfeste Ausfütterung nur mit allerbesten Schamottesteinen erfolgen muß. Auch der neuere Zementringofen arbeitet nach dem System von W. Eckardt, Berlin-Köln, nicht mehr mit den Fächsen als Rauchabzügen, sondern mit tragbaren Hauben, wodurch der Zug im Rauchsammler, der sonst durch die Glocken etwas beeinträchtigt war, ein besserer, weil ungehinderter wird.

Es erübrigt also nur, die Art des Brennens im Ringofen etwas näher zu beschreiben und mag hierfür als genaues schematisches Beispiel das Brennen einer ganzen Kammer durchgeführt werden.

Wir nehmen an, es sei Kammer III eben (mittags 12 Uhr) fertig geworden, und es soll die Kammer IV in 20 Stunden gebrannt werden. Dabei ist nachzuholen, daß von dieser Kammer IV bereits vorher um

6 Uhr morgens:	die 1. Reihe	} zusammengerissen, durchgestoßen und mit Koks resp. Kohle gefüllt worden ist.
9 „ vormittags:	„ 2. „	
12 „ mittags:	„ 3. „	

angefüllt ist.

Nun folgt:

nachmittags 3 Uhr: 4. Reihe mit Koks gefüllt,  
3. „ nachgefüllt.

nachmittags 6 Uhr: 5. Reihe mit Koks gefüllt,  
4. „ nachgefüllt,  
3. „ zusammengerissen,  
2. „ zusammengerissen und durchgestoßen.

abends 9 Uhr: 6. Reihe mit Koks gefüllt,  
und von Kammer V: 1. „ „ „ „ „<sup>1)</sup>  
„ IV: 5. „ } zusammengerissen und durch-  
4. „ } gestoßen.<sup>2)</sup>

Von jetzt ab werden nach Bedürfnis, d. h. etwa stündlich, die 1. und 6. Reihe von Kammer IV mit Ungarem ausgeworfen und dicht gehalten.<sup>3)</sup>

Nachts 12 Uhr: Kammer V: die 1. Reihe mit Koks angefüllt,  
„ IV: die 1. und 6. Reihe mit Ungarem ausge-  
worfen und dicht gehalten.

Nachts 3 Uhr: Kammer V: die 2. Reihe mit Koks angefüllt,  
„ IV: die 1. und 6. Reihe mit Ungarem und  
Koks ausgeworfen und dichtgehalten, die  
4., 3. und 2. Reihe nacheinander durch-  
gestoßen, zusammengerissen und mit Koks  
angefüllt.

Morgens 6 Uhr: Kammer V: die 3. Reihe mit Koks angefüllt, die 2.  
Reihe zusammengerissen, die 1. Reihe  
mit Ungarem ausgeworfen.

„ IV: die 1. und 6. Reihe nochmals ausgeworfen  
und dicht gemacht, die 5. Reihe mit Koks  
angefüllt, die 4., 3. und 2. Reihe zu-  
sammengerissen, durchgestoßen und mit  
Koks angefüllt.

Morgens 8 Uhr: Kammer IV ist fertig. — Zu bemerken ist noch, daß  
beim Durchstoßen und Zusammenreißen eines Heizschachtes stets nachher mit  
etwas Kohle nachzufüllen ist, doch nur mäßig, da sonst das überschüssige  
Brennmaterial infolge mangelnder Luft nur schweelt und dann reduzierendes  
Feuer bewirkt.

Als Brennmaterial verwendet man zweckmäßig ein Gemisch von klein-  
stückiger oder grusförmiger Kohle und Koks und beträgt der Verbrauch  
davon für Portlandzement 20—23 %, auf das fertig gebrannte Produkt be-  
rechnet. Für Portlandzement muß auch mit sehr starkem Zuge gearbeitet  
werden, so daß z. B. beim Oeffnen eines Heizlochdeckels über einer gerade  
befeuerter Kammer die Luft durch das Heizloch in den Ofen eingesaugt wird.

---

<sup>1)</sup> Wenn die 6. Reihen einer Kammer mit Koks angefüllt werden, geschieht das sofort  
auch mit den 1. Reihen der nächsten Kammer, damit nicht, wenn später die 6. Reihen der  
ersten Kammer mit Ungarem ausgeworfen werden, etwas davon in die 1. Reihen der nächsten  
Kammer fällt.

<sup>2)</sup> Die 5. Reihen werden nicht erst mit Koks nachgefüllt, sondern gleich zusammenge-  
rissen, da sie schon scharf genug gebrannt sind.

<sup>3)</sup> Man hält die Gurtbögen stets dicht, damit aus den fertig gebrannten Kammern die  
warme Luft heraufgedrückt wird und irgendwie ausgenutzt werden kann, z. B. zum Trock-  
nen etc.

Zu diesem Zweck müssen 4—5 Glocken gezogen werden. Die Glocke der gerade befeuerten Kammer bleibt aber stets geschlossen.

Je nach dem Zuge<sup>1)</sup> im Ofen richtet sich auch die Brennzeit und nach dieser wieder der Verbrauch an Brennmaterial. Derselbe steigt mit langsamerem und sinkt mit schnellerem Brennen. Im allgemeinen wird man für eine Kammer von 3—4 Waggons Inhalt etwa 18—20 Stunden ansetzen können,

Das Brennmaterial wird in sehr vorteilhafter Weise ausgenützt, indem die Kohle erst eine Verkokung erfährt und dann sofort hinterher zur Verbrennung gelangt. Die bedeutende Vorglut ermöglicht, den eigentlichen Brennprozeß ziemlich rasch und mit wenig Brennmaterial durchzuführen. Die Nachglut wieder erwärmt die zur Verbrennung gelangende Speiseluft im intensivsten Maße, wodurch der pyrometrische Effekt ganz bedeutend gesteigert wird. Man arbeitet dabei etwa mit der doppelten Menge an theoretisch erforderlicher Luft und entweichen bei regelrechter Bedienung des Ofens und sorgsamem Betriebe selbst bei sehr gasreichem Brennmaterial doch keinerlei unverbrannte Stoffe, wie mannigfache Prüfungen mittels des Orsat'schen Apparates erwiesen haben. Im übrigen wird der geübte Brenner sofort an der Intensität der Glut sich überzeugen können, ob er mit der richtigen Temperatur und dem erforderlichen Luftzuge arbeitet. Und das ist ein weiterer großer Vorteil dieses Systems: man ist stets in der Lage, sich im Augenblick von dem jeweiligen Stande des Brennens durch Augenschein unterrichten und gegebenenfalls danach das Feuer regulieren zu können.

Ein Uebelstand, und zwar ein nicht unerheblicher, ist leider, daß man nach dem Brennen nur äußerst schwierig rasch und ausgiebig genug Luft, besonders beim Portlandzement, durch die gesinterte Masse hindurchzuleiten vermag. Es ist das um so bedenklicher, als dadurch die Qualität der erbrannten Ware leiden kann. Rasch brennen und rasch kühlen: das ist das Hauptmoment beim Brennen, sowohl beim Kalk wie auch beim Portlandzement. — Auch das Brennen selbst wie ferner noch das Entleeren der fertig gebrannten Kammern ist eine schwierige und mühsame Arbeit und erfordert kräftige und geübte Leute.

Trotz dieser nicht zu verkennenden Nachteile aber ist und bleibt der Ringofen ein sehr beliebter und mit vollstem Recht hoch geschätzter Brennapparat, besonders wo es sich um größte Massenleistungen handelt.

Die Leistung eines großen Ringofens reicht gewöhnlich für eine Jahresproduktion von je rund 120—150,000 Faß.

\* \* \*

---

<sup>1)</sup> Zur Ermittlung des Zuges bedient man sich häufig eines kleinen Zugmessers, wie solche z. B. von dem Tonindustrie-Laboratorium zu Berlin in zweckmäßiger und kompensiöser Form geliefert werden.

Die ziemlich hohe Kostspieligkeit des Zementbrennens im Kohlenverbrauch selbst noch beim Ringofen führten zu der ausgezeichneten Konstruktion des *Etagenofens* (Fig. 150).

Die Grundgedanken, welche den Erfinder dieses vorzüglichen Ofensystems, Carl Dietzsch, dabei leiteten, waren in erster Linie, den periodisch arbeitenden Schachtofen derartig umzugestalten, daß das störende Anbrennen an die Ofenwandungen ganz oder doch wenigstens zum weitaus größten Teile vermieden wurde. Er sagte sich mit Recht, daß dieses Anbrennen seinen Grund wesentlich darin habe, daß die schmelzweiche Masse unter dem bedeutenden Druck

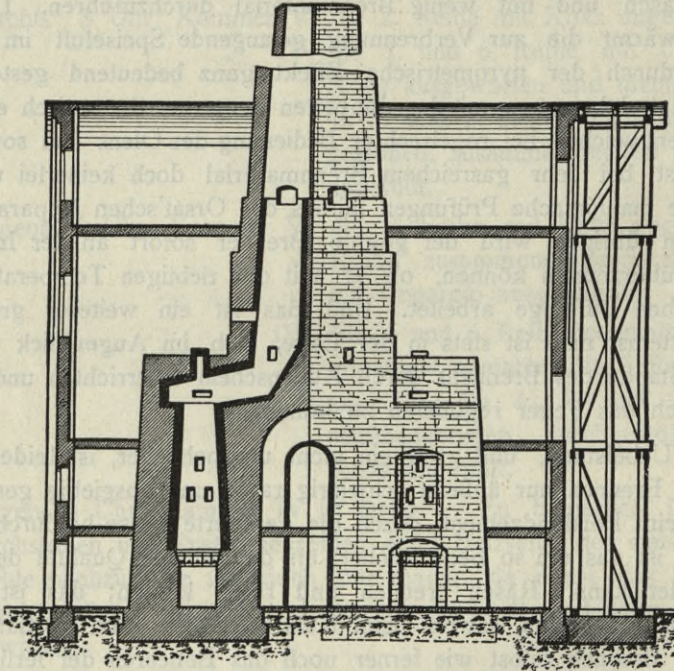


Fig. 150.

des auf ihr gelagerten Materials notwendiger Weise stark an die Ofenwandungen angepreßt werden und dabei, besonders bei dem nicht basischen Ofenfutter, anbacken müsse. Er mußte also in erster Linie daran denken, diesen Druck auf das in der Brennzone befindliche, in Sinterung begriffene Material zu beseitigen. Das gelang ihm auch in der glücklichsten Weise, indem er den Schacht des Ofens in zwei getrennte Teile auseinandersob, die aber durch eine etwas geneigte Ebene miteinander in Verbindung blieben. Den oberen Teil benutzte er als Vorwärmer, den unteren als eigentlichen Brenn- und Kühlraum. Er erreichte durch dieses Auseinanderschieben, daß die Brennzone, in der also der Zement sich im weichsten Stadium befindet, in welchem er am leichtesten geneigt ist anzubacken, die Spitze einer Klinkersäule bildet, also keinerlei Druck ausgesetzt ist.

Indem er also direkt an der eigentlichen Brennzone den Ofen teilte, schuf er den weiteren ganz wesentlichen Vorteil, daß er das Material, das aus dem Vorwärmer kam, genau auf sein Sinterstadium prüfen und danach ebenso genau die Zugabe an Brennmaterial bemessen konnte. Das Aussehen der schmelzweichen Masse am Ausgange des Vorwärmers gibt dem Brenner den besten Anhaltspunkt, wie er weiter zu feuern hat. Kein „Orsat-“ oder sonstiger Apparat ist da nötig: einzig und allein ein geübtes Auge. Verf. hat sich stets nach diesem Merkmal gerichtet, auch in der Kontrolle über die Brennmannschaft, und es als durchaus zuverlässig befunden.

Ein anderer Vorzug ist, daß man nach dem jeweiligen Herunterlassen der Masse, also nach erfolgtem Abziehen des Klinkers am Roste, sofort wieder den Schmelzraum in seinem ganzen Umfange bequem übersehen und etwa an den Wandungen hängen gebliebene Klinkerstückchen leicht entfernen kann.

Gegenüber dem Ringofen beruht der Etagenofen auf dem entgegengesetzten Prinzip. Während bei jenem das Feuer durch die stehende Masse hindurchgeleitet wird, also das Feuer und die Brennzone vorwärts schreiten, ist beim Etagenofen das Umgekehrte der Fall: das Feuer und die Brennzone bleiben konstant auf derselben Stelle, während das Material in Bewegung ist und kontinuierlich Feuer und Brennzone passiert. Das Sintern erfolgt demnach stets in ein und demselben Raume. Während nun im Ringofen das wandernde Feuer stets neue Teile der Ofenwandungen mit erwärmen muß, also Wärme unnütz abgibt, bleibt beim Etagenofen nach dem ersten und einmaligen Erwärmen der Wandungen des Schmelzraumes die ganze Hitze und damit der völlige Nutzeffekt des Brennmaterials einzig und allein dem Sinterprozeß erhalten.

Die Abhitze, welche beim periodischen Ofen zum größten Teil verloren geht, kommt beim Etagenofen in entsprechender Weise wie auch beim Ringofen stets dem frisch eingesetzten Material zu Gute. Sie wird in solchem Maße ausgenützt, daß die Temperatur oben im Vorwärmer, wo das Material eingegeben wird, nicht über 50° C. hinausgeht.

Schließlich erfordert der Ofen, der vorteilhaft meist als Doppelofen gebaut wird, einen nur geringen Platz, da der Brennprozeß von oben nach unten, nicht wie beim Ringofen horizontal geht. Und das ist bei unzulänglichen Terrainverhältnissen sehr schätzenswert.

Der Dietzsch'sche Etagenofen ist also ein Brennapparat ersten Ranges und besonders in der Ausnützung des Brennmaterials bisher wohl noch unübertroffen.

Nur einen Mangel hat er, wenn man von der ab und zu eintretenden Störung durch Anbacken absieht, das sich nicht gänzlich vermeiden läßt, meist aber durch die Nachlässigkeit der Arbeiter verschuldet wird. Dieser Mangel, den er mit anderen Oefen ähnlichen Systems teilt, ist die nicht genügende Regulierbarkeit des Luftzuges. Zu starker Luftzug läßt sich durch Drosselklappen im Schornstein einschränken; aber mangelnder Luftzug ist nicht leicht gut zu machen.



Hier setzt die Einführung von Druckluft überaus günstig ein: Die Ofenwandung wird gekühlt, und damit das Anbacken wesentlich eingeschränkt. Das Feuer wird vorwärts getrieben und damit der ganze Brennprozeß wesentlich beschleunigt. Die Brennzeit ist im Etagenofen auf ein Minimum herabgesetzt und die Abkühlung erfolgt verhältnismäßig rasch, ein großer Vorzug gegenüber dem Ringofen, bei dem es sehr schwierig ist, selbst bei günstigem Zuge schnell und ausgiebig Luft durch die gesinterten Klinkermassen hindurchzuleiten.

Der Etagenofen besteht, wie aus Fig. 150 ersichtlich, aus drei Abteilungen: dem Vorwärmer, dem Schmelz- resp. Sinterraum und dem Kühlraum.

Den Mittelpunkt des ganzen Systems bildet der Schmelzraum. Nach dem einen, dem oberen Teil des Ofens geht er seitlich durch die ansteigende Ebene, den Schürraum, in den Vorwärmer über, nach dem anderen, unteren Teile erweitert er sich direkt senkrecht in den Kühlraum. Der Schmelzraum hat eine ovale Form und ist überwölbt. Er hat drei Oeffnungen zur Bedienung: zwei Schürlöcher resp. Eingabetüren für die Kohle an den beiden schmalen Seiten des Ovals und ein Schürloch oben in der Decke, das einfach mit einem feuerfesten Stein geschlossen ist. Letzteres dient nur im Notfall dazu, die Masse, sobald sie nicht glatt heruntergehen will, durch Stoßstangen künstlich in Bewegung und zum Sinken zu bringen. Vorwärmer und Kühlraum sind ebenfalls oval und erweitern sich etwas von oben nach unten, um das Heruntergehen der Masse zu befördern. Der Vorwärmer hat dann noch oben eine Eingabetür, während der Kühlraum nach unten durch einen einfachen Horizontalrost aus Eisenschienen abgeschlossen ist. Außerdem haben Vorwärmer und Kühlraum noch ein paar seitliche kleine Türchen, um die Masse beobachten und event. in ihrem Gang durch Stangen unterstützen zu können.

Der Vorwärmer mündet dann in einen Kamin, den man bei der älteren Konstruktion event. mit einer Klappe (Drosselklappe) versehen hat, um den Luftzug etwas regulieren zu können.

Bevor nun das eigentliche Brennen im Ofen vorgenommen werden kann, ist es durchaus notwendig, den Ofen nach seiner baulichen Fertigstellung gehörig zu trocknen und auszuschmauchen.

Zu diesem Zwecke werden unten die Zugänge zu den Rosten bis auf je eine kleine viereckige Oeffnung vermauert, hinter welcher man aus gewöhnlichen Backsteinziegeln einen einfachen Herdrost errichtet. Sämtliche Türen und andere Oeffnungen im Ofen werden gut verschlossen, selbst der Schornstein durch ein aufgelegtes Eisenblech abgedeckt. Auf dem kleinen Herd unten, dessen Oeffnung ebenfalls durch ein Stück Eisenblech verschließbar ist, wird ein schwaches Schmauchfeuer angezündet, das im weiteren Verlaufe des Austrocknens der Mauern nach und nach verstärkt wird, bis endlich oben am Schornstein sich keine weißen Wasserdämpfe mehr zeigen und die Ofenwände gut durchgewärmt sind.

Ist dies der Fall, so werden die Vermauerungen unten an den Rosten

entfernt, alles sauber gereinigt und nochmals nachgesehen: nunmehr kann das Füllen resp. Setzen des Ofens beginnen.

Der Vorwärmer wird von oben her vorsichtig mit dem zu brennenden Material beschickt und zwar bis an den Rand der Eingabeöffnung. Dabei ist — sowie auch später beim weiteren Nachfüllen — ein stärkeres Werfen zu vermeiden, weil dadurch sonst unnötig viel Mull erzeugt wird, der dann hemmend auf den Zug im Ofen wirkt. Vielmehr ist jedes einzelne Stück mit der Hand oder (die weiter entfernten) mit einer Steingabel vorsichtig eins auf das andere zu legen.

Ist der Vorwärmer angefüllt, so wird weiter der Kühlraum sowie ein Teil des Schmelzraumes mit halben roten Mauerziegeln derart beschickt, daß man aus diesen Ziegeln gleichsam einen Herd für die später aufzubringende Zementmasse im Schmelzraum aufschichtet. Zuvor werden die Roste eingelegt und auf diese dann die etwa halb gebrochenen Ziegel aufgefüllt, statt deren man auch später Klinker nehmen kann.

Nunmehr ist der Ofen fertig beschickt und kann angezündet werden.

Man wirft dazu auf die Ziegelbrocken im Schmelzraum Holz und Späne, die durch etwas mit Petroleum getränkte und dann angezündete Reste von alter Putzwolle, Schmierlappen etc. zu einem Schmauchfeuer angemacht werden. Dieses Feuer unterhält man 4—5 Stunden, indem man zu dem weiter aufzugebenden Holz nach und nach etwas Kohle hinzufügt und so das Feuer verstärkt. Im Verlaufe der 6. Stunde etwa bildet man und zwar nunmehr ausschließlich aus Kohle eine stärkere Brennschicht, die so lange in Glut zu erhalten und eventuell noch zu verstärken ist, bis sich ihre Wirkung unten und oben im Vorwärmer zeigt. Oben sollen dann die Steine etwa handwarm sein und unten sollen sie bereits weich werden und im Uebergang aus heller Rotglut in beginnende Weißglut begriffen sein. Man kann diesen Vorgang bequem und genau von den Schüröffnungen aus beobachten, die in den Schmelzraum einführen. Ist dieser Zustand der beginnenden Frittung erreicht, so facht man das Feuer im Schmelzraum durch frisch aufgegebene Kohle energisch an und zieht nun mittels schaufelförmiger, eiserner Haken die glühende Masse aus dem Vorwärmer über den schrägen Schürherd in den Schmelzraum, bis dieser fast zum Rande gefüllt ist. Dann deckt man noch von jeder Türe aus mit einigen Schaufeln Kohle ab und ebnet sie gleichmäßig. Ueberhaupt ist die möglichst gleichmäßige Verteilung der Kohle über den ganzen Brennraum unbedingt erforderlich.

Oben im Vorwärmer wird die entstandene Lücke sofort mit frischen Steinen nachgefüllt.

Im Schmelzraum ist die erste Beschickung in etwa 4—5 Stunden fertig durchgebrannt. Um Raum für eine neue Beschickung zu schaffen, ist die erste etwas herunter zu lassen; man zieht also unten an den Rosten ein bestimmtes Quantum der Ziegelbrocken und zwar so lange resp. so viel, bis die Brennschicht im Schmelzraum etwa 50 cm tief gesunken ist. Dieses Herabsinken der fertigen Klinkermasse durch den Schmelzraum in den Kühlraum beobachtet

man durch die kleinen Seitenöffnungen. Sollte der Gang der Masse stocken, so kann man durch diese Oeffnungen hindurch mittels eiserner Stoßstangen derart nachhelfen, daß man diese Stangen durch kräftige Schläge mit einem Vorschlaghammer in die etwa zusammengeschmolzenen Blöcke hineintreibt und durch Rütteln dieselben auseinandersprengt. Auch an den Wänden anhaftende Masse kann auf diese Weise entfernt werden, wobei man noch bequem durch das Schürloch in der Wölbung über dem Schmelzraum nachhelfen kann.

In gleicher Weise kann man auch im Vorwärmer durch die kleinen Seitenöffnungen an die Rohmasse ankommen, falls diese nicht von selbst heruntergehen sollte, nachdem aus dem Vorwärmer Masse in den Schmelzraum gezogen ist.

In gleicher Weise kann man auch im Vorwärmer durch die kleinen Seitenöffnungen an die Rohmasse ankommen, falls diese nicht selbst heruntergehen sollten, nachdem aus dem Vorwärmer Masse in den Schmelzraum gezogen ist.

Ist die Masse im Schmelzraum und im Vorwärmer glatt heruntergegangen, so wird die zweite Beschickung aufgegeben, indem man zuvor von jeder Tür aus die nötige Menge Kohle aufstret und aus dem Vorwärmer wieder glühende Masse auf diese Kohlschicht hinüberzieht, bis der Schmelzraum wieder fast gefüllt ist; oben<sup>1</sup> auf kommen wieder einige Schaufeln Kohle als Deckschicht.

In etwa 3—4 Stunden ist diese zweite Beschickung durchgebrannt und werden alsdann wieder am Rost Ziegelbrocken gezogen, um die fertige Beschickung herunterzulassen und Raum für die neue, dritte Beschickung zu schaffen.

In dieser Weise vollzieht sich abwechselnd immer das Niedergehenlassen der fertig gebrannten Klinker und das Wiederaufgeben neuer Beschickungen aus dem Vorwärmer in den Schmelzraum.

Nur geht man in der Zugabe von Kohle nach und nach immer mehr herab, je weiter der Kühlraum von den Ziegelbrocken entleert und dafür mit Klinker gefüllt wird, je mehr abströmende heiße Luft also von den erkaltenden Klinkern im Schmelzraum zur Verfügung kommt und somit die Herabminderung des Brennmaterials ermöglicht resp. sogar bedingt.

Man gibt schließlich die Beschickung etwa alle 3 Stunden auf, und zwar jedesmal zu ca. 40—50 cm Höhe. An Kohlenaufwand kommt man dabei bis auf etwa 15—18 % für 100 kg erbrannte Klinker herunter.

Als Kohle ist eine leicht entzündliche etwas backende Kohle und zwar ein Gemisch von Nuß III und Grus zu empfehlen. Koks ist gewöhnlich entbehrlich, was immerhin ein Vorzug gegenüber den anderen kontinuierlichen Schachtöfen ist. Natürlich richtet sich das Quantum der aufzugebenden Kohle nach der Beschaffenheit des zu brennenden Materials wie nach der Dicke der Beschickung. Dieselben müssen ebenso wie die Zeitdauer des Beschickens genau ausprobiert werden. Letzteres schwankt zwischen 2—4 Stunden und entspricht ihm dann naturgemäß die Dicke der jedesmaligen Beschickung. Es

sind also drei Punkte durch sorgsamste Untersuchung genau festzustellen und dann zuverlässig innezuhalten: 1. Quantum der Beschickung. 2. Zeit des Durchbrennens und 3. Prozentsatz an Brennmaterial. Alle drei Punkte wechseln nicht unerheblich für die verschiedenen Rohmaterialien.

Ist endlich der Kühlraum ganz von den zuerst eingegebenen Ziegelbrocken entleert und dafür mit fertig gebrannten und im unteren Teile bereits auch abgekühlten Klinkermassen gefüllt, so beginnt nunmehr mit dem Ziehen des Klinkers der regelrechte Betrieb des Ofens. Das Ziehen erfolgt dergestalt, daß man die Roststäbe etwas auseinanderschiebt, wobei kleinere Stücke durch dieselben dann hindurchfallen, während größere Klumpen erst auf dem Roste zerstoßen werden müssen.

Etwa am Roste sich vorfindendes Ungare kann direkt in den Schmelzraum wieder eingegeben werden.

Sollte sich ein größerer Block im Ofen bilden und an den Wänden festsetzen, so muß schließlich der ganze Schmelz- und Kühlraum entleert werden, um von allen Seiten mit Stangen an den Block ankommen zu können. Der Vorwärmer bleibt natürlich davon unberührt. — Man stößt besonders durch das Schürloch über dem Schmelzraum von dem Block, da wo er an den Ofenwandungen anhaftet, erst die Ecken und Kanten ab, bis er von diesen losgelöst von selbst auf den Rost hinabgleitet und dort völlig zerstoßen werden kann.

Ist der Block beseitigt, so erfolgt Füllen und Anfeuern wieder, wie schon beschrieben.

Die Leistung eines Doppelofens von der üblichen Größe beträgt ohne Anwendung von Druckluft 100—120, bei Betrieb mit Druckluft bis zu 200 Faß, der Brennmaterialverbrauch bis 15 % im Minimum; beides konnte Verf. selbst in der Praxis mehrfach feststellen.

Der Bau eines Doppelofens kostet mit allem, insbesondere der Ausfütterung des Brennschachtes aus bestem feuerfesten Material, ungefähr 18,000 M., das dazu gehörige Ofenhaus 25,000 M., sobald nur Fachwerkbau, Pappdach, hölzerner Dachstuhl etc. in Anwendung kommen. Für zwei Doppelöfen kostet der Bau also  $2 \times 18,000 = 36,000$  M. und ca. 40,000 M. für das Haus.

\* \* \*

Der Etagenofen hat viele und z. T. recht wunderliche Nachahmungen gefunden, die aber alle das Original niemals erreicht haben. Eine einzige Ausnahme macht das System, welches z. B. auf der Lägerdorfer Portlandzementfabrik in Betrieb ist (D. R. P. 105,013). Bei diesem Ofen (Fig. 151) ist die ganze bauliche Anordnung von Dietzsch im wesentlichen belassen. Nur die Führung der Verbrennungsgase durch den Vorwärmer ist geändert. Der Vorwärmer ist hier nicht ein einziger Schacht, sondern durch eingebaute Zwischenwände in drei Teile geteilt. Der mittlere Teil m ist Vorwärmer geblieben, wie auch bei Dietzsch. Die beiden seitlichen Teile k dagegen leiten

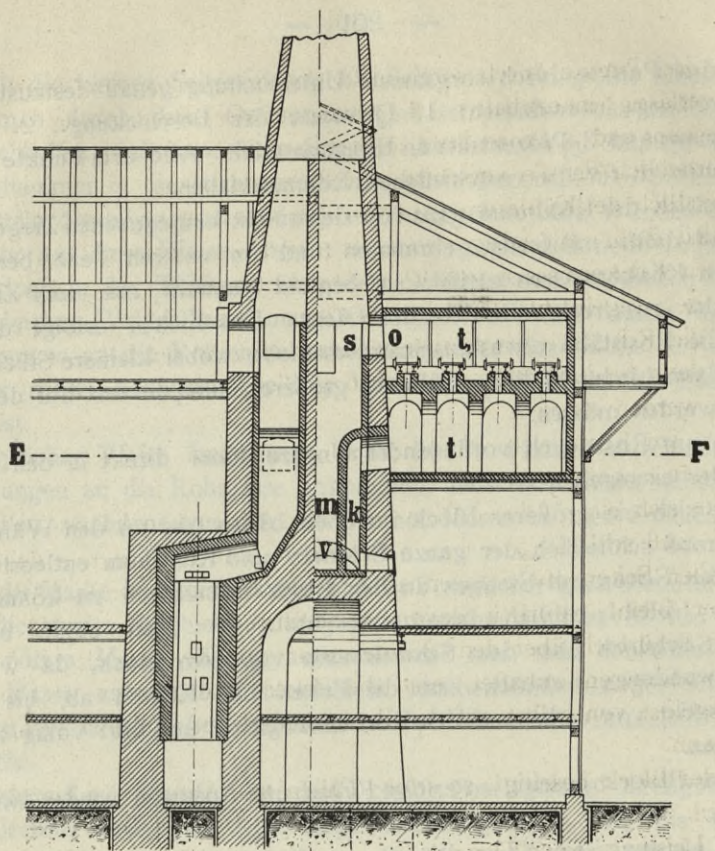
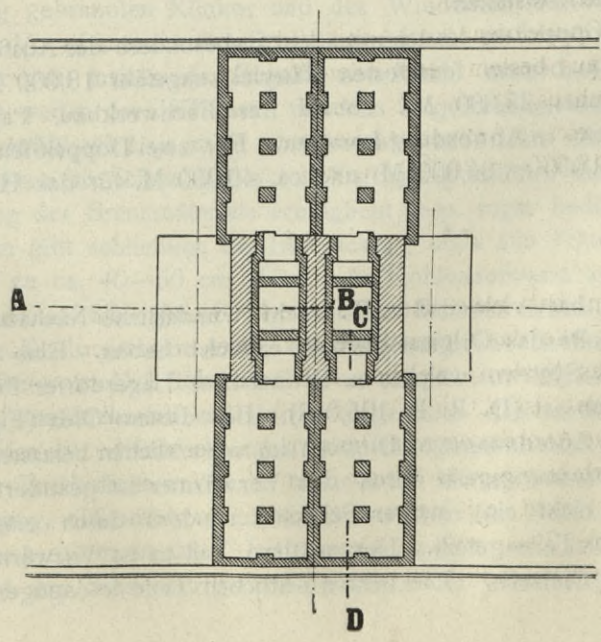


Fig. 151.

**A-B**

**C-D**



**E-F**

einen Teil der Verbrennungsgase aus dem eigentlichen Ofenschacht ab und führen sie in Trockenkammern t hinüber, welche an den Ofen seitlich angebaut sind. Hier trocknen sie Rohziegel (auf eingeschobenen Hürdenblechen) und entweichen dann durch die Abzugsöffnung o wieder in den Schornstein des ursprünglichen Schachtes.

Die Idee dieses Ofens ist, die besonderen Trockenkanäle entbehrlich zu machen resp. dieselben in direkte Verbindung mit dem Ofen zu bringen. Die Anlage wird also wie auch der Betrieb einheitlicher und geschlossener. Eine Ersparnis an Brennmaterial ist nur in ganz geringem Maße vorhanden, eine etwas größere dagegen an Arbeitslohn. Das Angenehme ist noch, daß die Arbeitskolonne der Trockenmannschaft fortfällt bezw. auf den Ofenbetrieb übergeht.

\* \* \*

Eine wesentliche Abänderung des Etagenofens ist der *Lieban-Ofen*. Lieban verlegte den oberen Teil des Ofens, den Vorwärmer, im Gegensatz zu Dietzsch, wieder an seinen ursprünglichen Platz direkt über den Brennraum zurück. Die Einteilung in zwei getrennte Etagen vollzog er in der Weise, daß er über dem Brennraum Feuerbrücken in den Ofen einbaute, und den darüber befindlichen Teil des Ofenschachtes als Vorwärmer benutzte. Die Anlage ist dadurch billiger und gedrungener geworden. Der Brennmaterialverbrauch und Arbeitslohn sind so ziemlich dieselben geblieben. Nur ist der Verschleiß infolge der starken Beanspruchung der Feuerbrücken durch deren Anordnung direkt über dem Sinterraum nicht unerheblich größer geworden.

\* \* \*

Ebenso wie Lieban mit seinem geteilten Etagenschachtofen ist auch Schöfer zu dem ursprünglichen ununterbrochenen Schacht zurückgekehrt. Nur daß er den Schacht nicht mehr wie Lieban durch Einbauten gliederte, sondern ihn in seiner ganzen Länge einheitlich benutzte. Die Befuerung dieses von Smidth & Co.-Kopenhagen vertriebenen *Aalborgofens* ist, um Kohle statt des teureren Koks verwenden zu können, nach Art des Ringofenbetriebes ausgebildet. Zu diesem Zwecke mündet unterhalb der Sinterzone ein Kranz von Heizlöchern ein, welche von oben her mit Brennmaterial beschickt werden und sonst, wie auch beim Ringofen, durch einen kleinen Deckel verschlossen sind. Man hat dem Ofen resp. dieser Heizanlage vorgeworfen, daß zuweilen die Flammen beim Oeffnen der Deckel aus den Heizschächten herausschlugen. Das aber dürfte wohl nur ein Ausnahmestand sein, der einzig und allein durch mangelhaften Zug hervorgerufen wird, und der ebenso gut auch beim Etagenofen eintreten kann. Für gewöhnlich, also unter normalen Zugverhältnissen, findet man genau, wie auch beim Ringofen, daß beim Oeffnen der Heizverschlußdeckel die Luft von außen durch die Heizschächte in den Ofen eingesogen wird.

Der Betrieb des einmal im Gang befindlichen Ofens ist der folgende: Ist die vorhergegangene Beschickung durchgebrannt, so gibt man durch die Heizlöcher frische Kohlen auf. Sind alle Heizschächte beschickt, so wird am Rost, der einfach aus verschiebbaren Stäben besteht, ein Teil der Klinker gezogen. Dabei rollen oben die fertiggebrannten weißglühenden Klinkerstücke in den tieferen Teil des Ofens. Ein Anbacken derselben wird durch die stark auseinandergezogene Wandung wesentlich vermieden. Die Flammen der entzündeten Kohlen schlagen dagegen in den engen Schmelzraum hinein, wo der eigentliche Brennprozeß vor sich geht.

Als Brennmaterial wird fast ausschließlich Kohle verwendet, was für Fabriken, die weit von Kokereien entfernt liegen, ein erheblicher Vorteil ist. Die Leistungsfähigkeit der üblichen Größe beträgt im Durchschnitt pro Tag etwa bis zu 70 Faß; sie schwankt wie bei allen anderen Oefen in der Hauptsache entsprechend dem Zuge im Ofen. Der Verbrauch an Brennmaterial hängt natürlich von der Beschaffenheit des jeweiligen Rohmaterials ab und wird etwa auf gleicher Stufe wie beim Etagenofen stehen.

\* \* \*

Der nicht zu verkennende Uebelstand beim Etagenofen, daß manche Materialien den Gang im Vorwärmer nicht aushalten, der denn auch zur Konstruktion des Du Pasquier-Kawalewski Ofens führte, hat *Hauenschild* veranlaßt, das Problem des kontinuierlichen Schachtofens auch für mürbe, wenig bindende Rohmaterialien, aber nach einer andern Richtung hin zu lösen, als es Du Pasquier-Kawalewski mit ihrer einfachen Modifikation des Etagenofens ohne bleibenden Erfolg versucht hatten. *Hauenschild* ging dabei von dem Gedanken aus, wenn die Masse das Rutschen im Vorwärmer und Ueberschüren in den Schmelzraum nicht verträgt, so muß eben der Vorwärmer einmal verkürzt und dann wieder an seinen alten Platz direkt über den Schmelzraum gestellt werden.

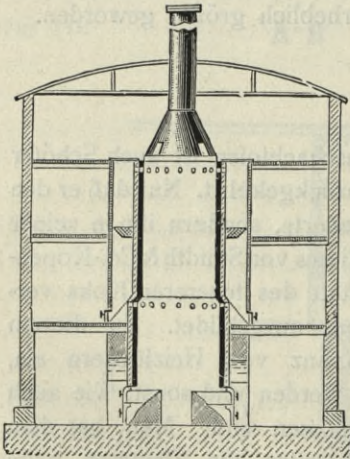


Fig. 152.

Dem Einwurf, daß dann das schmelzweiche Material infolge des Druckes der aufliegenden Rohmasse an die Ofenwandung anbacken müßte, begegnete er mit seinem Prinzip, die Ofenwandung reichlich zu kühlen, zu welchem Zwecke er dieselbe ganz dünn herstellte (Fig. 152), nur aus einer einzigen Reihe Schamottesteine, von einem Blechmantel umgeben. Um den eigentlichen Mantel legte er dann noch einen zweiten an, einen Moniermantel, ca. 750 mm

vom ersten entfernt, indem er den Zwischenraum zum Darren des Rohmaterials auszunützen gedachte.

Das war natürlich ein Fehler; denn damit gab er sein eigenes Prinzip der dünnen Ofenwand wieder auf, indem nunmehr der innere Mantel mit dem äußeren durch das Trockengut zu einer fast einheitlichen Ummantelung verbunden war.

Ferner versuchte Hauenschild, den zu brennenden Ziegeln die Idealgestalt einer Kugel zu geben. Aber diese Versuche schlugen fehl, da die Kugelziegel z. B. der Dorstener Presse zu ungleichmäßig ausfielen. Damit aber wurde der Betrieb einmal verteuert und sodann, weil die „Rollkörper“ im Ofen nicht immer aushielten, der Ofengang oftmals empfindlich gestört.

Nur zwei Werke (in Frankreich: Vicat und in Rußland: Schtschurow) vermochten einen annähernd gleichmäßigen Betrieb mit dem Hauenschild-Ofen aufrecht zu erhalten. Das russische Werk erzielte dabei eine Durchschnittstagesausbeute an Klinker von etwa 135 Faß bei ca. 18 % Brennmaterialverbrauch (Koks). —

In Anlehnung an das Hauenschild'sche Prinzip, die Ofenwandung zu kühlen, um das Anbrennen der schmelzweichen Klinker zu verhüten, und diese Kühlung durch dünne Ofenwände zu bewirken, hat *Stein* seinen Schachtofen aus dünnen Eisenringen konstruiert. Die Abkühlung, die hierdurch eine sehr energische wurde, fand eine weitere Förderung darin, daß die Eisenringe z. T. aus Konstruktionsrücksichten mit Rippen versehen waren. Diese Rippen, welche zugleich ein Durchbrennen des Eisenmantels verhüten sollten, wirkten natürlich als richtiger Rippenheizkörper, sodaß im Ofen durch sehr starke Wandkühlung freilich das Anbrennen fast gänzlich vermieden wurde, dafür aber der Brennmaterialverbrauch sich entsprechend ungünstiger stellte. Eine geringe Aufbesserung des Uebelstandes ergab sich bei Benutzung von Preßluft.

Immerhin leiden die Eisenringe besonders in der Sinterzone recht beträchtlich und deren Auswechslung ist eine ziemlich schwierige und auch keineswegs sehr billige. Der Ofen ist denn auch nur in einigen wenigen Werken in Betrieb, deren Rohmaterial (meist Schlacke) sehr leicht sintert, also wenig Brennmaterial erfordert und zudem eine erheblich höhere Ausbeute an Klinker gibt.

\* \* \*

Einen wesentlichen Fortschritt hatte der Hauenschild-Ofen erst zu verzeichnen, als er in seinem Betriebe durch die *Schneidersche Brennmethode* vervollkommenet wurde.

Der Schneider-Ofen (Fig. 153) hat dieselbe bauliche Konstruktion wie der alte Hauenschild-Ofen, den Doppelmantel, nur daß die Anordnung desselben eine etwas andere ist. Das aber ist für den Betrieb des Ofens derartig gleichgültig, daß man den Doppelmantel überhaupt fallen lassen kann, ohne den Ofen in Leistung oder Brennmaterialverbrauch zu verschlechtern.



Das ist auch sofort klar, wenn man erwägt, daß das Schneider'sche Prinzip, das Anbrennen der Klinker im Ofen zu vermeiden, ein ganz anderes ist wie jenes von Hauenschild. Und damit war auch die Konstruktion des Ofens, die Dünnwandigkeit und der Doppelmantel, hinfällig.

Schneider hat das Prinzip eingeführt, „den Ofen auf einen Klotz zu brennen“, d. h. er schichtete das Brennmaterial derartig, daß der ganze Klinkerstock im Ofen zu einem zusammenhängenden Klotz wurde. Dessen enormes Gewicht von wenigstens 30 Tons mußte natürlich die an die Wandung anhaftenden Klinker immer wieder abreißen.

Das Anbacken selbst suchte er mit Erfolg dadurch zu vermeiden, daß er zwischen das Brennmaterial und die Ofenwand eine dünne Schicht von zer-

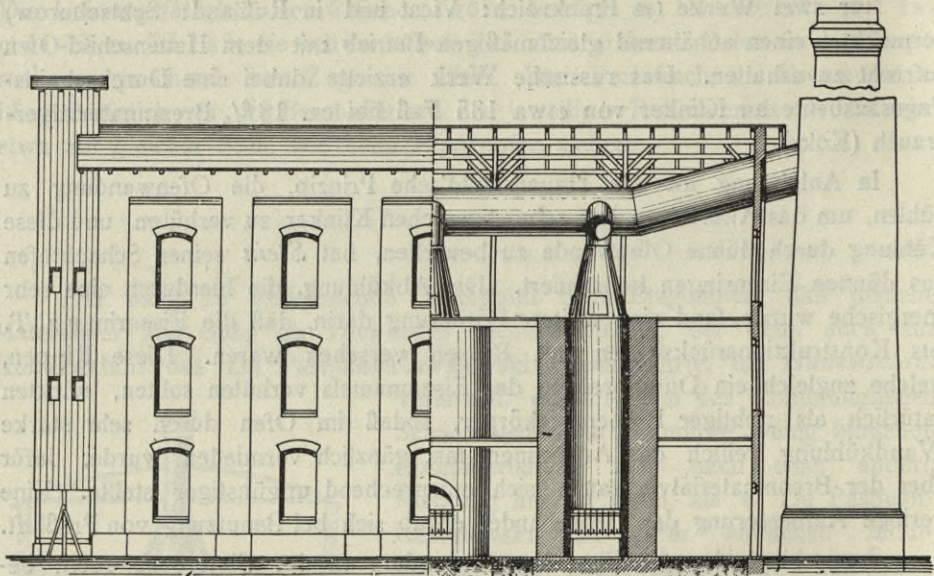


Fig. 153.

kleinerten Rohziegeln eingab. Damit schuf er statt der eigentlichen festen Ofenwand mit dem stark sauren Schamottefutter eine bewegliche aus dem gleichen basischen Material wie die Zementrohmasse. Das ursprüngliche Einfüllen solcher Rohziegelbrocken mittels Schablone wurde bald in der Weise abgeändert, daß man ganze (heile) Zementrohziegel von den Eingabeöffnungen aus rings an der Wandung als einen geschlossenen Ring einsetzte und damit eine gut zusammenhängende, bewegliche Wand aus basischem Material schuf.

Direkt an diesen Ziegelring wird die Hauptmenge des Brennmaterials eingegeben.

Der Erfolg war in den meisten Fällen ein geradezu verblüffender: Der ganze Ofeninhalt kommt als geschlossener Klotz, ohne anzubrennen, auf den Rost herunter, wo er, freilich nicht ohne Mühe, mit Stoßstangen auseinandergebrochen wird.

Als Brennmaterial dient naturgemäß Koks; der Verbrauch daran geht für günstige Materialien (z. B. Schlacken-Rohmehl) bis auf 11 % für 100 kg best gebrannter Klinker herunter, bei kaum 1 % Ungarem. Die Leistung hat Verf. bis zu 120 Faß pro Tag feststellen können.

Die Qualität des Klinkers ist meist eine ganz vorzügliche. Der Brand ist gewöhnlich derartig scharf, daß die Vermahlung direkt auf der Kugelmühle z. T. unmöglich wird und die Klinker stets erst durch einen sehr kräftigen Steinbrecher vorgebrochen werden müssen. —

Die bauliche Konstruktion des Schneider-Ofens ist eine überaus einfache: Ein gerader Schacht, unten ganz schwach auseinandergezogen und mit einem Korbrost abgeschlossen. Die Rauchabzüge werden für jeden Ofen am einfachsten aus Eisenblechrohren hergestellt und für mehrere Oefen (meist 4) zusammen in einen gemeinsamen Schornstein von etwa 50 m Höhe und 2 m oberem lichten Durchmesser geleitet. Der untere Teil eines solchen Schornsteines wird billig aus gewöhnlichen Normalziegeln hergestellt, nur das eigentliche Rauchrohr wird aus Radialsteinen aufgemauert. Die Kosten einer solchen Ofenanlage sind sehr gering: der einzelne Ofen kommt auf ungefähr 5,500 bis 5,700 M. zu stehen.

\* \* \*

Der *Drehofen*. — Alle vorbeschriebenen Ofenkonstruktionen sind charakterisiert durch die allen gemeinsame Operation des Verformens der Rohmasse zu Ziegeln. Dieses aber ist, mit Ausnahme bei Verwendung getrockneter Schlammmasse, nötig, damit für das Durchstreichen der Verbrennungsgase der erforderliche freie Raum vorhanden ist. Zwar wurde vor mehreren Jahren versucht, diese an sich überflüssige Zieglerarbeit zu beseitigen. Aber dem *Sonnet'schen* Ofen hafteten weitgehende prinzipielle Mängel an: z. B. sollte das Rohmaterial und der gebrannte Zement auf der Unterkante eines unter dem Böschungswinkel geneigten Feuerkanals heruntergleiten und zwar im Gegenstrom zu den Feuergasen. An sich ist diese Idee ja richtig und wird auch bei den modernen Drehöfen verwirklicht, aber mit dem Unterschiede, daß hier die schiefe Ebene in ständiger Bewegung ist und infolgedessen nicht der Reibungswiderstand der Ruhe, sondern der wesentliche kleinere und auch gleichmäßiger zu erhaltende der Bewegung auftritt.

Die einzigen Vorschläge, die in ihrer weiteren Ausbildung zu praktischen Resultaten führten, waren diejenigen von Ransome, der den von William Siemens in die Industrie eingeführten „Rotierer“ anfangs der achtziger Jahre speziell für die Zementindustrie adoptierte.

Ransome hatte keinen eigentlichen Erfolg mit seiner Konstruktion. Diese litt vor allem an dem Fehler, daß das Brennrohr zu kurz und demnach ein rationelles Ausnützen der Feuergase unmöglich war.

Stokes half diesem Uebelstande zwar ab, verbesserte auch Einzelheiten der Feuerung und vertrat vornehmlich ganz energisch das Prinzip der Gasfeuerung. Dennoch blieb auch ihm ein durchschlagender Erfolg versagt.

Damit sind im wesentlichen die englischen Bemühungen um die Entwicklung des modernsten Brennofens abgeschlossen. Der Erfolg blieb aus, nicht weil die Konstruktion zu große Mängel aufwies, was durchaus nicht der Fall war, wie aus einem Vergleich mit den tatsächlich vorzüglichen heutigen Apparaten einleuchtet, sondern wohl nur deshalb, weil die finanziell beteiligten Kreise vor der Lösung der Beseitigung einiger letzter Schwierigkeiten sich von dem Unternehmen zurückzogen.

Nach längerer Pause wurden dann die englischen Bemühungen in Amerika von Hurry und Seaman zu Beginn der neunziger Jahre wieder aufgenommen und zwar unter Verhältnissen, die in der ersten Zeit nach dem Erfolge als unumgänglich notwendig für diesen angesehen wurden. Beiden Erfindern kam die um jene Zeit außerordentliche Billigkeit der Pennsylvanischen Petroleumrückstände zu Statten. Damit fielen für sie alle Schwierigkeiten der Feuerung fort; denn sie brauchten nur die in der Metallurgie für ähnliche Fälle angewandten Einrichtungen sinngemäß zu kopieren und konnten ausschließlich ihr Augenmerk auf die Durchbildung des konstruktiven Teiles richten.

Für Amerika hat freilich heute ebenfalls die Kohlenstaubfeuerung diejenige mittels Petroleumrückständen verdrängt, aber nur, weil letztere nach Auffinden genügend großer anderweitiger Verwendungsgebiete bald zu sehr im Preise stiegen. Vielmehr steht die Frage der Gasfeuerung auch heute an sich durchaus nicht ungünstig und die Verhältnisse besonders in Südrußland mit seinem Reichtum an Naphta sind sogar als recht vorteilhafte zu bezeichnen. Hat man doch selbst im Innern Rußlands bis heute diese Naphtarückstände in ausgedehntem Maße für die Zwecke der Feuerungstechnik auszunützen verstanden! Demnach würde unter Umständen ebenso die Verwendung von Generatorgas je nach Lage der einschlägigen Verhältnisse sich recht günstig gestalten können.

Wollte man nun im einzelnen aufführen, worin die konstruktiven Verbesserungen von Hurry und Seaman bestehen, wodurch sich also der Ofen der Atlas Works in Bethlehem von denjenigen Ransomes und Stokes unterscheidet, so würden diese technischen Details über den Rahmen dieses Buches hinausgehen. Es mag also nur auf die später folgende Beschreibung verwiesen werden, welche den Ofen im Stadium seiner Vollendung und Anpassung an speziell auch deutsche Verhältnisse etwa nach der Konstruktion der Hamburger Brennofen-Bauanstalt darstellt.

Unabhängig von den englischen und amerikanischen Versuchen unternahm es gegen die Mitte der neunziger Jahre C. v. Forell, dem Drehofen Eingang in die deutsche Zementindustrie zu bahnen. Er baute auf dem Eisenwerke zu Lollar einen derartigen Ofen zum Brennen von Portlandzement aus einem Rohmehl, das sich aus Kalkstein und granulierter Hochofenschlacke zusammensetzte. Nach und nach konnten die anfänglich auftretenden Schwierigkeiten beseitigt und die verschiedenen Teile verbessert werden, bis endlich ein Apparat vorlag, der entschieden der Aufmerksamkeit aller Techniker wert war. Zu seiner finanziellen Ausbeutung entstand dann eben die Hamburger Brennofen-

Bauanstalt, die im weiteren Verlaufe mit Hurry und Seaman einen Vertrag abschloß, gemäß dem alle beiderseitigen Erfahrungen ausgetauscht wurden. Das war naturgemäß von entscheidendem Erfolge; indem sich hieraus ein kombiniertes System von ausgezeichneter Konstruktion und Leistung ergab.

Die wesentlichen Grundzüge dieser *kombinierten Konstruktion* dürfen wohl im allgemeinen als bekannt vorausgesetzt werden: Ein geneigt gelagerter, eiserner Zylinder mit innerer feuerfester Ausfütterung wird durch den Eingriff eines Rädervorgeleges in den aufgenieteten Zahnkranz in Rotation versetzt. (Fig. 154).

Die Rohmasse wird am oberen Ende G aufgegeben und verläßt die Trommel am unteren Ende H als Klinker, d. h. als fertig gebrannter Zement.

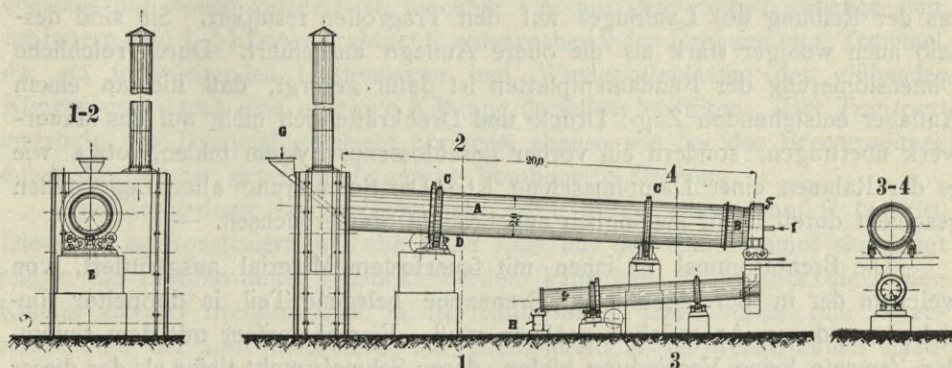


Fig. 154.

Als Brennmaterial dient zumeist fein gemahlener Kohlenstaub, welcher am unteren Ende in die Trommel eingeblasen wird, sodaß die Bewegung der Zementrohmasse und der Feuergase im Gegenstrom erfolgt.

Der Zylinder A besteht aus starken Flußeisenblechen mit Laschenverbindung und Winkeleisenring zur Befestigung des gußeisernen Endschusses B. Zur Aufnahme des Längsschubes, den das feuerfeste Material bei der Erwärmung ausübt, ist B auf der äußersten Strecke konisch gestaltet. Auf dem Rohr sind zwei Ringe C befestigt, deren oberer seinerseits als Halt für den Zahnkranz dient. Bei der geringen Umdrehungszahl des Drehofens, eine bis zwei Touren in der Minute, ist ein starkes Uebersetzungsverhältnis erforderlich. Alle Räder, Wellen und Lager erscheinen sehr stark bemessen, um jede Gefahr eines Bruches auszuschließen. Dies ist wohl auch für die ganze übrige Konstruktion und die Dimensionen bestimmend gewesen. Wenigstens erscheint der Sicherheitskoeffizient derart vorsichtig aufgestellt zu sein, daß bislang eine Unzulänglichkeit wegen schwacher Konstruktion noch nicht bekannt geworden ist.

Die stark beanspruchten Teile sind aus bestem Stahlguß bezw. Flußstahl angefertigt, z. B. Ringe, Rollen, Wellen und Zapfen etc.

Die Lagerung der Rollen auf Schwingen bedeutet eine recht interessante Lösung der Aufgabe, das Gewicht eines Zylinders mit Berücksichtigung gering-

fügigster Abnutzung der Tragflächen gleichmäßig auf 4 bzw. 8 Punkte zu verteilen. Die Gleichförmigkeit der Belastung wird auch dadurch nicht gestört, daß behufs Veränderung in der Lage der Ofenaxe eine Verstellung der Widerlager stattfindet, vielmehr ist der Gang der Ofen stets ein gleichmäßig sanfter und stoßfreier.

Infolge der geneigten Lagerung hat der Ofen ständig die Tendenz, von den Tragrollen abzugleiten. Diesem wirkt eine Gegendruckrolle D entgegen, die unter Vermittelung einer starken Lagerung den Schub auf die Fundamentplatte und durch diese direkt auf das Mauerwerk überträgt. Die unteren Fundamentpfeiler haben nur eine dem Gewichte des Trommelteiles entsprechende vertikale Kraft aufzunehmen, abgesehen von jener seitlichen Komponente, die aus der Reibung des Laufringes auf den Tragrollen resultiert. Sie sind deshalb auch weniger stark als die obere Auflage ausgeführt. Durch reichliche Dimensionierung der Fundamentplatten ist dafür gesorgt, daß die an einem Auflager entstehenden Zug-, Druck- und Drehkräfte sich nicht auf das Mauerwerk übertragen, sondern ein vorher geschlossenes System bilden, etwa wie es der Rahmen einer Dampfmaschine ist. Die Schmierung aller Lagerstellen geschieht durch leicht zugänglich angebrachte Stauferbüchsen. —

Die Brenntrommel ist innen mit feuerfestem Material ausgefüttert, von welchem der in der eigentlichen Brennzone belegene Teil in doppelter Hinsicht besonderen Ansprüchen genügen muß. Einmal darf er mit dem sinternenden Zemente keine Verbindung bilden, deren Schmelzpunkt tiefer als der dieser beiden Massen ist, und zweitens muß er trotz der hohen Temperatur widerstandsfähig gegen das fortwährende Scheuern und Kratzen der gesinterten Masse sein. Man hat deshalb auch neben den hochfeuerfesten Schamottesteinen mit gutem Erfolge solche aus Magnesit verwendet. Die besten Resultate aber wurden mit einem patentierten Zementbetonfutter erzielt. Die Brennofen-Bauanstalt macht darüber in der Patentbeschreibung die Angabe, daß man in die Brenntrommeln nach Anbringung eines geeigneten Lehrbogens eine Betonmasse einstampft, die aus wie üblich fein gemahlenem Portlandzement und aus Klinkern des Drehofens selbst besteht. Eine solche Masse hält sich einmal außerordentlich lange und dann läßt sie sich auch ohne größere Kosten mit den eigenen Materialien schnell ersetzen. Sie ist an sich außerordentlich billig, da die bei Reparaturen aus dem Ofen wieder herausgebrochene Masse ja Zementklinker ist und deshalb mit zur Zementmühle wandert. Nach den nunmehr vorliegenden ausgedehnten Betriebsergebnissen (auch bei anderen Drehofensystemen) ist an der Ueberlegenheit dieser Ausfütterungsmethode nicht mehr zu zweifeln und sind demnach die bei Verwendung von Schamotte angewandten Schutzmittel kaum anders als minderwertige Auswege zu bezeichnen.

Es ist an sich klar, daß ein geringerer Angriff erfolgt, wenn man die Schamotte auf der Innenseite mit Zement überzieht, sie glasiert, und tatsächlich ist auch diese Erwägung an mehreren Stellen zum Ausgangspunkt entsprechender Schutzmaßregeln gemacht, z. B. D. R. P. 134,820, wo das Aufschmelzen einer

Schutzschicht auf die Ausfütterung behandelt wird und zwar unter Benutzung eines Flußmittels.

Aber ganz abgesehen von dem Werte der einzelnen Methoden im Vergleich zu einander läßt sich heute schon mit Sicherheit behaupten, daß die s. Z. so außerordentlichen Schwierigkeiten der Ausfütterung nahezu völlig beseitigt erscheinen. Die dafür aufzuwendenden Beträge sind nicht viel höher als bei dem in diesem Punkte besonders günstig gestellten Schneider-Ofen. Die Ausfütterung in dem oberen Teile der Trommel, die nur eine relativ geringe Temperatur auszuhalten hat, stellt keine besonderen Ansprüche in Bezug auf Qualität. Auch findet dort eine Erneuerung des Ofenfutters nur äußerst selten statt. —

Unterhalb der Brenntrommel befindet sich eine Kühltrommel E, welche ebenfalls auf Rollen gelagert ist, die aber hier nur ganz einfach gehalten sind. Im Innern sind  $\square$ -Eisen angebracht, entsprechend der Drehung der Trommel, die ein fortwährendes Hochnehmen und Wiederfallenlassen der glühenden Klinker und damit eine intensive Kühlung derselben bewirken. Der Transport innerhalb der Trommel geschieht übrigens, ebenso wie bei der Brenntrommel, durch die mit der geneigten Lagerung kombinierte Drehung.

Die Verbindung beider Trommeln wird durch einen Kopf F bewirkt. Dieser ist so konstruiert, daß die heiße Luft aus der Kühltrommel abgesaugt und in die Brenntrommel gedrückt werden kann und daß weiter die heißen Klinker aus der Brenntrommel in die Kühltrommel fallen, ohne sich festzusetzen oder der Luft Gelegenheit zu geben, direkt in die Brenntrommel einzuströmen. Am Kopfe befindet sich dann noch die Kohlenstaubfeuerung und eine Feuertür.

Von dem Kopfe gibt es drei verschiedene Konstruktionen. Bei der ersten ist der ganze Kopf gemauert und entsprechend verankert. Eine starke Platte dient zur Befestigung der Kohlenstaubfeuerung und der Feuertür. — Bei der zweiten Ausführung ist die Steinkonstruktion durch eine solche aus Gußeisen ersetzt und zwar so, daß eine Art doppelwandiger Kapsel gebildet wird, deren Inneres von Wasser durchflossen wird. Leitend für diese Ausführung, welche übrigens als D. R. G. M. 142,561 geschützt ist, war wohl die Idee, die starken Ausstrahlungen der Platte zu beheben. Dieses ist allerdings vollkommen gelungen, doch mit Mitteln, die auf die Dauer immerhin Kosten und Unbequemlichkeiten verursachen dürften. Es sind doch ca. 4 qm wasserberührte Fläche ständig der intensivsten Wärmestrahlung ausgesetzt, wodurch nicht nur ein ziemlich hoher Wasserbedarf (etwa 5 cbm pro Stunde) erforderlich wird, sondern gleichzeitig ein entsprechender Wärmeverlust eintritt. — Als die einfachste Lösung erscheint die dritte Konstruktion des Kopfes: Ein starkes Blechgehäuse, das am Umfang und an der Stirnwand, unter Aussparung von Oeffnungen für Feuerung und Tür, mit Schamottesteinen ausgesetzt ist. Das ganze steht auf Rollen und kann vorkommenden Falles für Reparaturen im Ofen etc. leicht fortgeschoben werden. Diese Ausführung ist einfach, solide und nicht teuer und hat vor allem an der Seite des Brennerstandes keine höhere Temperatur als die Wand des wassergekühlten Kopfes.

Die Anschlüsse für die Windleitungen sind leicht als solche aus der Abbildung erkenntlich.

Die Kohlenstaubfeuerung wird auf verschiedene Weise ausgeführt. Der Exhaustor saugt aus der Kühltrommel heiße Luft und drückt sie in die Brenntrommel. Dazu wird durch ein seitliches Fallrohr eine genau abgemessene Menge feinst gemahlener Kohlenstaub in das Rohr eingeführt, der sich mit der Luft innigst mischt und deshalb bei der Verbrennung eine intensive Hitze erzeugt. Die Bemessung des Luftquantums ist innerhalb sehr weiter Intervalle durch Drosselklappen regulierbar. Größere Schwierigkeiten bereitete dagegen anfangs die Veränderung in der Zufuhr des Kohlenstaubes, weil man für die feineren Einstellungen die bekannten Stufenscheiben nicht brauchen konnte. Diese sehr wichtige Frage scheint vollkommen erst der Umdrehungsregler der Reeves-Pulley Co. zu lösen, dessen Konstruktion die folgende ist: Auf zwei parallelen Wellen, von denen die eine (mit Fest- und Losscheibe) die treibende, die andere die getriebene ist, sind je zwei Konusse verschiebbar angebracht, zwischen welchen ein Lederriemen mit Holzbelag läuft. Man stellt mit einer Gabel gleichzeitig das eine Paar enger und das andere Paar weiter, wodurch sich dann die Umdrehungen der getriebenen Welle im Verhältnis der Durchmesser ändern, welche die Berührungskreise des Gurtes besitzen. Dieser Apparat hat einen relativ recht guten Nutzeffekt, sodaß er sich auch für die Uebertragung größerer Kräfte, also etwa auch zum veränderlichen Antriebe der Brenntrommel eignen würde. Für letzteren Fall bietet sich freilich noch die Möglichkeit des elektrischen Einzelantriebes mit Regulierung des Widerstandes.

Dieselbe Regelmäßigkeit, die von der Zuteilung der Kohle gefordert wird, muß natürlich auch bei der Zufuhr der Rohmasse obwalten. Denn nur dadurch, daß alle Verhältnisse des Drehofens die unveränderlich gleichen bleiben, kann eine qualitativ wie quantitativ gute Leistung erzielt werden. Tatsächlich dürfte man wohl kaum bei einem anderen Ofensystem die einzelnen Faktoren so sehr in der Gewalt haben wie beim Drehofen.

Gewöhnlich wird das Rohmehl vor Eingabe in den Ofen nach der üblichen Weise in Netztrögen etwas angefeuchtet. Dadurch verhütet man Staubbildung und eine etwa sonst leichter eintretende Entmischung der einzelnen Rohmaterialien. —

Die Frage der Kohlenmüllerei, die immer noch nicht zur vollsten Zufriedenheit gelöst ist, soll hier nicht weiter behandelt werden. Die Schwierigkeiten sind doch nicht ganz so unbedeutend, wie man noch in letzter Zeit meinte. Man bricht die Kohlen auf Walzen (z. B. dem Mahlstuhl von Amme, Giesecke & Konegen) und mahlt sie auf Polysius'schen Unterläufern oder Rohrmühlen fein. Natürlich sollen sie vorher entsprechend getrocknet sein, wobei besonders darauf zu achten ist, daß hierbei keine Ueberhitzung und damit Entwertung der Kohle eintritt. Als Trockenluft kann man ev. die heiße Kühltluft der Klinker oder einen Teil der Abgase aus der Brenntrommel ver-

werten. Die Benutzung von Trockenschüsseln nach dem Muster der Adelenhütte hält Verf. nach seiner Erfahrung für nicht genügend rationell. —

Von dem vorbeschriebenen Ofen für Trockenverfahren unterscheidet sich die Ausführung für Naßverfahren (Fig. 155) nur durch eine größere Länge des Brennrohres. Da man hier kein nahezu trockenes Material in den Ofen einführt, so bildet man den oberen Teil der Brenntrommel als Trockentrommel aus, deren Beheizung durch die Verbrennungsgase geschieht. Die Ausführung der Lagerung und der Antriebe ist die gleiche wie beim Ofen für Trockenaufbereitung. Hat man es nicht mit dem vollständigen, eigentlichen Naßverfahren, sondern nur mit dem Halbnaßverfahren zu tun, so wird eine mittlere Länge des Brennrohres genügen. —

Der *Betrieb des Drehofens* ist als für einen Maschinenofen genau so exakt zu handhaben wie etwa derjenige einer Dampfmaschine. Es wird

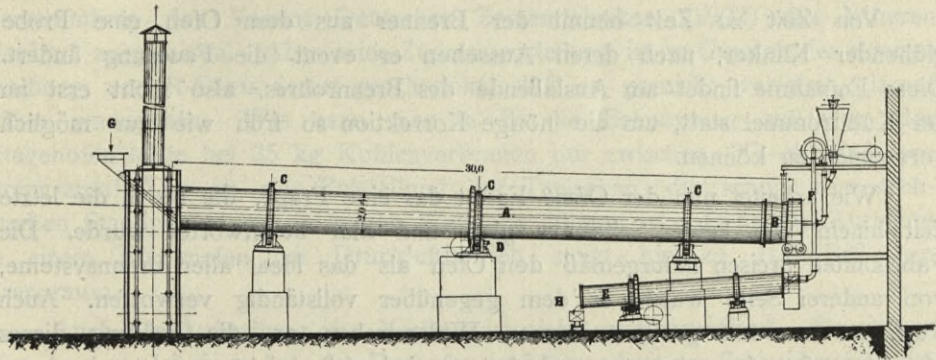


Fig. 155.

niemandem einfallen, von einer Dampfmaschine die gleichen Leistungen zu beanspruchen, wenn z. B. die Dampfspannung sich ändert oder das Kühlwasser des Kondensators in seiner Temperatur stärkeren Schwankungen unterworfen ist. Ebenso soll man natürlich den Drehofen möglichst unter sich stets gleichbleibenden Bedingungen betreiben.

Die Gesichtspunkte, die für das Arbeiten des Brenners bestimmend sind, beziehen sich auf richtige Abmessung von Luft und Kohlenstaub bei eintretenden Schwankungen in der Zufuhr und Zusammensetzung der Rohmasse. Nun sind freilich, wie schon ausgeführt wurde, genau regulierbare Zuteilvorrichtungen vorgesehen, welche den einmal eingestellten Gang auch ständig beibehalten. Trotzdem wird es sich nicht immer vermeiden lassen, daß gelegentlich im Brennrohr außergewöhnliche Erscheinungen auftreten, zu deren Abhilfe die Zufuhr verändert werden muß. Und dem haben sich dann auch die Verhältnisse der Befuerung sofort und ganz entsprechend anzupassen. Besonders schwierig liegt wohl der Fall, wenn z. B. im Schlamme stärkere Schwankungen des Wassergehaltes auftreten. Hier ist von einem ökonomischen Brennen nicht mehr die Rede. Denn der Brenner muß sich dann auf den Kohlenverbrauch einrichten, welcher zum Garbrennen des dünnsten Schlammes



genügt, vorausgesetzt, daß die Schwankungen sich nicht in sehr großen Zeitabschnitten zeigen, welche die Aenderung in der Luft- und Kohlenzuteilung ohne die Gefahr des Leichtbrandes an den entsprechenden Uebergängen vorteilhafter erscheinen lassen.

Bei richtigem Bau der Ofenanlage mit den zugehörigen Nebenapparaten sollen freilich die genannten Erscheinungen eine Ausnahme bilden und nur von kürzester Dauer sein.

Daß auf eine regelmäßige Schmierung zu achten ist, versteht sich bei einem Maschinenofen, noch dazu von so hohem Gewichte, ganz von selbst. Man stellt also am besten eigens hierfür einen besonderen Schmierer in den Betrieb ein. Der Brenner aber soll seine ganze Aufmerksamkeit einzig und allein auf den Gang des Ofens richten; er kann dann freilich gleich drei Oefen auf einmal bedienen.

Von Zeit zu Zeit nimmt der Brenner aus dem Ofen eine Probe glühender Klinker, nach deren Aussehen er event. die Feuerung ändert. Diese Entnahme findet am Auslaßende des Brennrohres, also nicht erst an der Kühltrommel statt, um die nötige Korrektion so früh wie nur möglich vornehmen zu können.

Wie arbeitet nun der Ofen? Es ist das eine Frage, die bis in die letzte Zeit hinein von keiner Seite aus glatt und klar beantwortet wurde. Die Fabrikanten preisen naturgemäß den Ofen als das Ideal aller Brennsysteme, von anderer Seite wurde er dem gegenüber vollständig verworfen. Auch Verf. ist nur mit großem inneren Widerstreben an die Prüfung dieses Maschinenofens herangetreten und hat es jedenfalls nicht gewagt, ein neues Werk damit auszurüsten. Inzwischen hat aber doch die Anlage einer ganzen Reihe von Drehöfen, in Deutschland in erster Linie durch die Hamburger Brennofenbauanstalt, die Möglichkeit gegeben, die jeweiligen Verhältnisse genau zu studieren und dieses Studium hat zweifelsohne den Beweis erbracht, daß der Drehofen nicht nur technisch ein wirklich ausgezeichneter Brennapparat ist, sondern daß er auch tatsächlich billiger arbeitet als alle anderen Oefen. In diesem Punkte ist früher besonders stark übertrieben worden: Ersparnisse von 75 Pf. pro Faß, wie sie wiederholt angegeben wurden, erscheinen aber dem Verf. nach seinen eigenen Untersuchungen über den wirtschaftlichen Wert des Ofens völlig ausgeschlossen.

Der Kohlenverbrauch schwankt nach den Feststellungen des Verf. zwischen 50 kg beim Trockenverfahren, bis zu 60 kg beim Naßverfahren. Es scheint also zunächst beim Naßverfahren eine sehr beträchtliche Mehrausgabe für Kohlen vorzuliegen. Und das ist auch durchaus der Fall. Aber diesem Mehraufwande an Brennmaterial steht eine noch größere Ersparnis an Arbeitslohn gegenüber, welch' letzteres Konto gerade für Naßfabriken ein besonders hohes ist. Wenn man erwägt, daß man Dickschlamm von ca. 40% Wassergehalt direkt in den Ofen eingeben kann, daß also das ganze sonst nachfolgende Trocknen oder Eindicken des Schlammes vollständig fort-

fällt, so darf gern zugestanden werden, daß durch den Drehofen wohl eine Verbilligung der Gesteungskosten um vielleicht 20 Pf. pro Faß möglich ist.

Betrachten wir nun einmal die Ausgaben beim Trockenverfahren etwas näher, so finden wir zunächst den Kohlenaufwand von ca. 48 kg pro Faß. Dazu kommt das Trocknen und Vermahlen der Kohle sowie der Kraftbedarf zum Antriebe der Trommel. Dem stehen als Ersparnisse gegenüber: das Trocknen der Rohmaterialien, Zieglerarbeit und Ziegelrocknen, Minderaufwand an Brennerlohn etc.

Um diese Mehrausgaben und Ersparnisse in das richtige Verhältnis zu bringen, müssen wir sie mit den anderen üblichen Ofensystemen vergleichen. An solchen Vergleichen hat es denn auch nicht gefehlt und u. a. hat A. Foß, Mitglied der Firma Smidth & Co., Kopenhagen, sich auf der Jahresversammlung des Vereins Deutscher Zementfabriken (1902) des Näheren darüber ausgelassen. Aber seine Zusammenstellung ist zu Gunsten des eigenen Aalborg- und R-Ofens derart geschminkt, daß es garnicht verlohnt, darauf näher einzugehen. Wie kann man z. B. die Behauptung aufstellen, der Etagenofen leiste bei 35 kg Kohlenverbrauch nur zwischen 37—48 Faß pro Brennraum! Das ist eine Entstellung der Tatsachen, die schon vom technischen Standpunkte aus in keiner Weise zu billigen ist. Denn die Ausbeute in einem Etagenofen mit Druckluftbetrieb steigt bis zu 100 Faß pro Brennraum.

Auch die Aufstellung von Naske<sup>1)</sup> ist nicht ganz zutreffend. Der Ringofen kommt dabei zu gut, der Drehofen und besonders der Schneiderofen viel zu schlecht weg.

Es soll zugegeben werden, daß eine solche vergleichende Aufstellung sehr schwierig und allgemein gültig überhaupt nicht möglich ist. Bei einigermaßen gutem Willen und genügender Objektivität kann man aber immerhin einen solchen Versuch wagen. Die nachstehende Aufstellung gibt ein Durchschnittsbild aus den Betrieben von ca. 30 deutschen und ausländischen Fabriken.

Zu Grunde gelegt ist eine Jahresproduktion von 100,000 Faß. Hierbei sind berücksichtigt

- 1) ein Ringofen mit Trockenpressung (8% Wasser) und direktem Einsatz der frischen Steine in den Ofen (Anlagekapital M. 100,000),
- 2) zwei Etagenöfen mit Naßpressung (20% Wasser) und vier Trockenkanälen (Anlagekapital zusammen M. 110,000),
- 3) vier Schneider-Oefen mit Trockenpressung (10% Wasser) und drei Trockenkanälen (Anlagekapital zusammen M. 90,000),
- 4) einundeinhalb Drehofen mit Kohlenaufbereitung etc. (Anlagekapital zusammen M. 120,000).

---

<sup>1)</sup> C. Naske. Die Portlandzementfabrikation, S. 135.

Der Brennmaterialverbrauch selbst ist angesetzt pro Faß:

- 1) für den Ringofen mit 36 kg ( $\frac{3}{4}$  Kohle +  $\frac{1}{4}$  Koks)
- 2) „ „ Etagenofen „ 28 „ Kohle,
- 3) „ „ Schneider-Oefen „ 25 „ „
- 4) „ „ Drehofen „ 50 „ „

Ferner sind die Abschreibungen bemessen für

- 1) den Ringofen zu 10 ‰,
- 2) „ Etagenofen „ 8 ‰,
- 3) „ Schneider-Oefen „  $6\frac{1}{2}$  ‰,
- 4) „ Drehofen „ 10 ‰.

Schließlich ist angenommen

- a) der Preis der Kohle mit 75 Pf. pro Zentner,
- b) „ „ des Koks „ 125 „ „ „
- c) der Durchschnittstageslohn mit 3 M.

Aus diesen Einzelzahlen stellt sich nun das nachstehende Bild zusammen:

Material bzw. Arbeit	Ringofen	Etagenofen	Schneider-Ofen	Drehofen
Trockenkohle für Rohmaterial . . . . .	9	9	9	—
Zieglerarbeit . . . . .	10	11	10	—
Kohle für Ziegelrocknen . . . . .	—	14	7	—
Brennerlohn . . . . .	25	20	16	5
Brennkohle . . . . .	63	42	63	75
Entleeren des Ofens etc. . . . .	12	10	11	2
Trocknen der Kohle . . . . .	—	—	—	1
Mahlen der Kohle . . . . .	—	—	—	5
Kraftbedarf . . . . .	—	—	—	3
Abschreibungen etc. . . . .	10	9	6	12
Insgesamt pro Faß: Pfennig	129	115	122	103

Natürlich sind diese Zahlen für die Aufstellung einer Neuanlage entsprechend zu berücksichtigen. So erscheint der Schneider-Ofen im Vergleich zum Etagenofen ziemlich teuer im Betriebe. Aber man wird ihn auch nur nehmen, wenn die mangelnde Plastizität des Rohmaterials dazu nötigt oder ein billiger Kokspreis bezw. leicht sinternde Rohmasse (also etwa bei Verwendung von Schlacke) es erwünscht resp. möglich macht. —

Für den Schneider- wie auch den Drehofen kommt zu den vorstehenden Kosten noch hinzu, daß die erbrannten Klinker sehr scharf gebrannt sind und sich daher nur schwierig vermahlen lassen. Hierüber liegen noch keinerlei exakte Erfahrungen oder Angaben vor. Der Mehraufwand wird zudem ausgeglichen durch die bessere Qualität eines scharf gebrannten Klinkers. Richtig, d. h. normal gebrannte Klinker sowohl aus dem Schneider- wie besonders auch aus dem Drehofen sind denn auch von vorzüglichster

Qualität, und speziell die Druckfestigkeit des daraus ermahlenen Zementes ist eine überraschend ausgezeichnete. —

Die vom Verf. beobachteten Drehöfen, und zwar solche der Hamburger Brennofenbauanstalt wie auch von Smidth & Co.-Kopenhagen, arbeiteten sämtlich mit Kohlenstaub. Neuerdings sind nun die Versuche wieder aufgenommen, mit Gas zu brennen. Das kann sich für gewöhnlich, speziell für Deutschland, natürlich nur auf Generatorgas beschränken, um hierfür etwa vorhandenes minderwertiges und darum billiges Brennmaterial ausnutzen zu können. Wesentlich kommt für einen derartigen Betrieb naturgemäß ein rationell arbeitender Generator in Betracht, also etwa der Duff-Withfield-Generator, welcher von W. Eckardt (Köln-Berlin) und Schmidt & Desgraz (Hannover) gemeinschaftlich eingerichtet wird.

Auch Fellner & Ziegler beschäftigen sich seit einiger Zeit mit der Verwendung von Gas zum Brennen im Drehofen. —

Die Leistungsfähigkeit des Drehofens kann man bei normal sinterndem Material auf etwa 200 Faß pro Tag bemessen.

Die Abgase, welche beim Naßverfahren ca. 300° C., beim Trockenverfahren ca. 700° C. betragen, werden nur bei letzterem zum Trocknen des Rohmaterials verwendet. Sie werden dazu in ein drittes Rohr, das ebenfalls schräg gelagert ist und rotiert, geleitet und daselbst in der bekannten resp. schon beschriebenen Weise der Trockentrommeln vollständig ausgenutzt.

\* \* \*

Nach dem Brennen werden die noch warmen Zementklinker zunächst oftmals erst mit etwas Wasser benetzt. Das geschieht, um event. sonst eintretendes Abmullen (Zerrieseln) zu verhindern und ferner, um die Klinker für

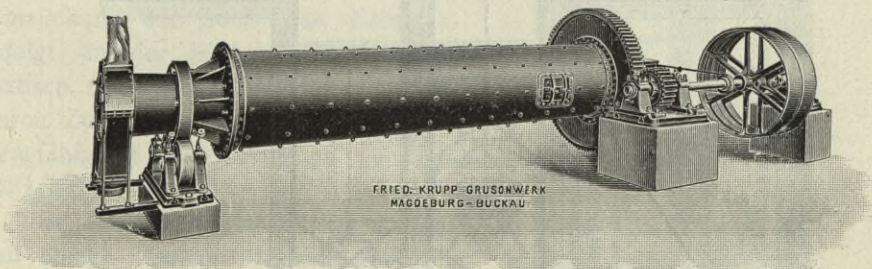


Fig. 156.

die nachfolgende Trockenlöschung durch die Atmosphärlinien der Luft im Klinkerlager entsprechend vorzubereiten. Im Klinkerlager sollen die Klinker dann, ehe sie in die Zementmühle gelangen, wenigstens 10 Tage lagern.

Die Vermahlung der Klinker in der Zementmühle erfolgt unter Vorschrotung durch einen Steinbrecher durch das kombinierte System Kugelmühle und Rohrmühle, das in seiner Einfachheit und Leistungsfähigkeit bisher kaum übertroffen ist.

Handelt es sich um Klinker aus dem Etagenofen, so kann zuweilen der Steinbrecher entbehrt werden, während er für Ringofenklinker und besonders für solche aus dem Schneider-Ofen unbedingt erforderlich ist.

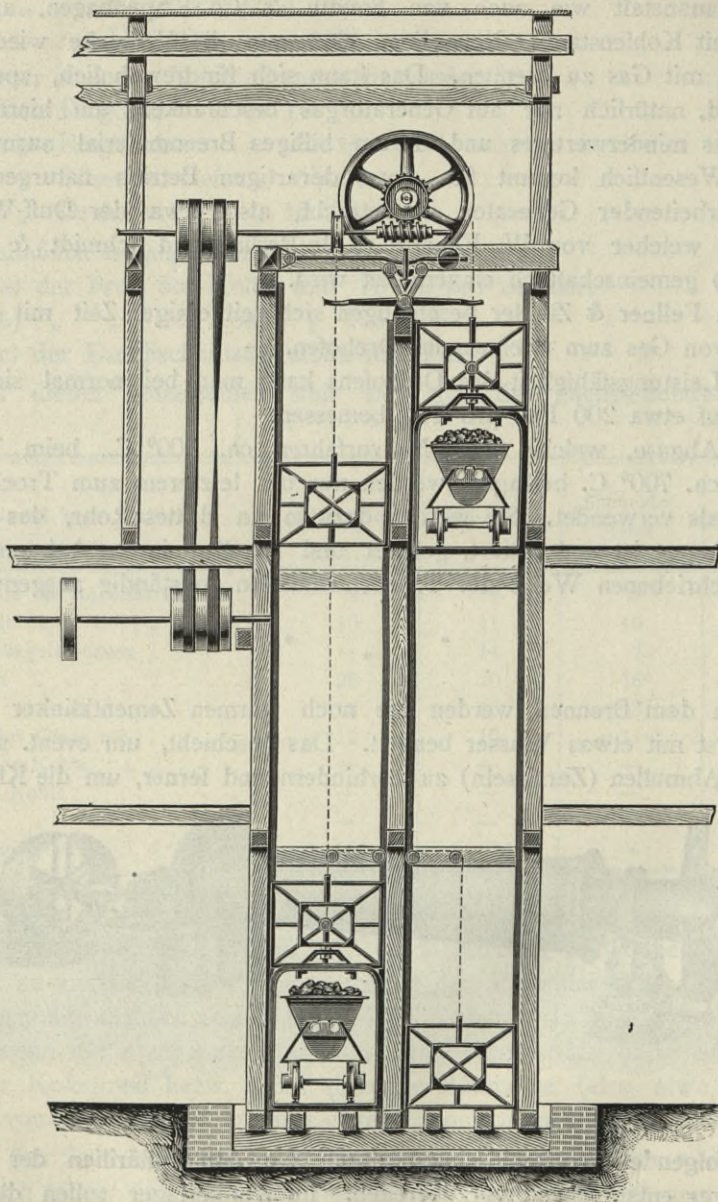


Fig. 157.

Haben wir es gar mit Drehofen-Klinker zu tun, so muß man noch die Gruson'sche Trommelmühle einschieben, oder man benutzt die Roulette von Amme, Giesecke & Konegen oder auch die neue Löhnert-Mühle.

Die Gruson'sche Trommelmühle (Fig. 156) ähnelt in ihrem Aeußeren

der Rohrmühle: sie nimmt Material von 5 mm Korngröße auf und vermahlt es zu Griesen, welche dann der Rohrmühle zugeführt werden. Als Vorzerkleinerungsmaschine dient in diesem Falle ein Walzwerk oder eine kleine Kugelmühle.

### c. Die Nebenapparate im Ofenbetriebe.

Zu den Nebenapparaten im Ofenbetriebe gehören zunächst die Transportmittel für Rohsteine, Kohle, Klinker etc.

Als *Transportmittel* zu und in den Oefen dienen die *Aufzüge* (Fig. 157) und Wagen auf Gleisen. Oft stehen die Gleise des unteren Teiles und des oberen Teiles durch Aufzüge mit einander in Verbindung, wie die nebenstehende Einrichtung eines Aufzuges der Nienburger Maschinenfabrik es zeigt. Da stets beide Plattformen je einen auf- und einen niedergehenden Wagen tragen, so ist nur die absolute Last zu heben. Als Ketten für solche Aufzüge empfehlen sich vor allem die Gall'schen Gelenkketten. Der Betrieb erfolgt durch doppelte Riemen, einen offenen und einen gekreuzten, Fest- und Losscheiben und Schneckenvorgelege. Das Ausrücken, wie auch das Bremsen, erfolgt an der höchsten Stelle automatisch, sonst aber von jeder Etage aus durch Zugseile oder Handhebel. Die Tragfähigkeit dieser Aufzüge geht bis zu 1,500 kg.

Es ist streng darauf zu achten, daß solche Aufzüge niemals zu Beförderungen von Personen benutzt werden und daß weiter der Zugang zu ihnen in jeder Etage automatisch geschlossen wird.

Diese Fahrstühle dienen im Ofengebäude an Stelle der unrationellen Kohlenbecherwerke zum direkten Aufbringen der Brennmaterialien, zuweilen auch wohl der Ziegel und des Ungaren.

Für die Ziegel ist aber unter Umständen auch ein sogenannter Stein-

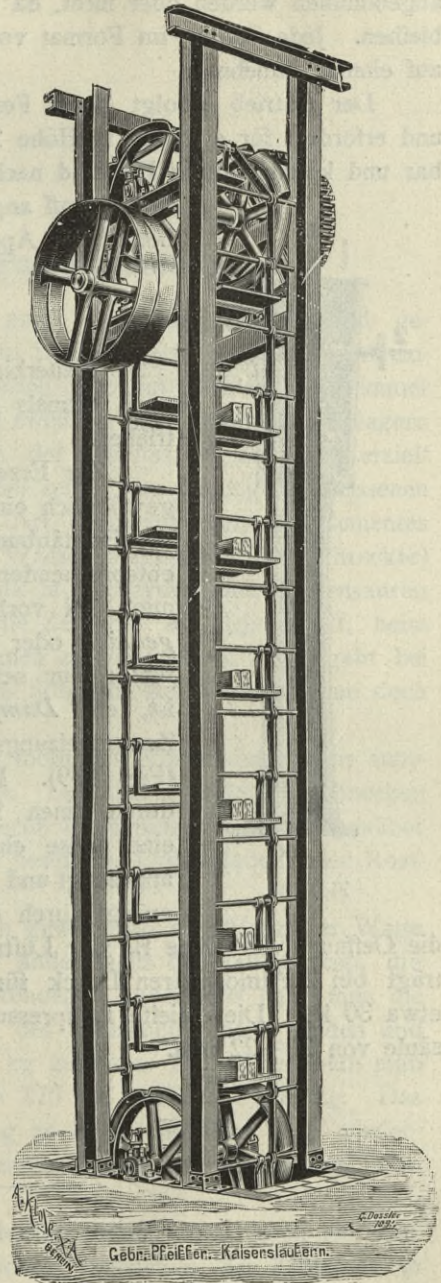


Fig. 158.

elevator, wie der nebenstehende der Gebr. Pfeiffer-Kaiserslautern (Fig. 158) empfehlenswert. Derselbe läuft kontinuierlich, gleichgültig, ob die Steine oben abgenommen werden oder nicht, da die Hängeschalen stets in derselben Lage bleiben. Jede Schale, im Format von  $300 \times 400$  mm, kann 3 Normalsteine auf einmal aufnehmen.

Der Antrieb erfolgt durch Fest- und Losscheibe und Rädervorgelege und erfordert für etwa 15 m Höhe 2 Pferdestärken. Die Lager sind verstellbar und können durch Handrad nachgestellt werden, sobald die Ketten nicht mehr straff angespannt sind. Eines besonderen Gehäuses bedarf der Apparat nicht.

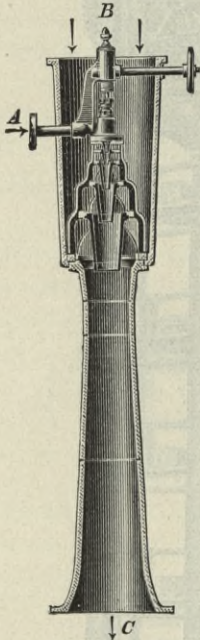


Fig. 159.

Weiterhin werden jetzt meist die Etagenöfen und auch oftmals die Schneider-Oefen mit *Druckluft* betrieben.

Zur Erzeugung dieser Druckluft bedient man sich gewöhnlich eines *Ventilators*, wie solcher bereits bei der Entstäubung angeführt ist, natürlich hier von der entsprechenden Größe. Zuweilen aber benutzt man auch bei vorhandener Wasserkraft ein *Wasserstrahlgebläse* oder ferner, falls Wasser fehlt und ein Ventilator nur schwer an die Transmission anzuschließen ist, ein *Dampfstrahlgebläse* (Unterwindgebläse) der Zentralheizungswerke A.-G. zu Hannover-Heinholz (Fig. 159). Ihre Wirkungsweise beruht darauf, daß durch einen Dampfstrahl von bestimmtem Druck in einer Düse ein Vakuum erzeugt und hierdurch Luft angesaugt und weitergedrückt wird. Die Dampfzuleitung erfolgt durch das Rohr A, die Luftansaugung durch

die Oeffnung der Düse B, der Luftaustritt bei C. Der Dampfverbrauch beträgt bei 2 Atmosphären Druck für jedes 1,000 cbm Druckluft pro Stunde etwa 30 kg. Die erzielte Luftpressung entspricht dem Drucke einer Wassersäule von 20—22 mm.

## 8. Verpackung und Packmaschinen.

Bevor der fertig gemahlene Zement zum Verpacken und Versand gelangt, wird er meistens noch eine Weile im Silo gelagert. Das geschieht einmal, weil die klimatischen Verhältnisse speziell also im Winter nicht immer den sofortigen Verbrauch ermöglichen, und zweitens, weil durch das Ablagern im Silo zweifelsohne eine Verbesserung in der Qualität des Zementes erzielt wird. Unter dem Einfluß der vom Zement bei seiner Vermahlung mitgerissenen Luft bzw. der Atmosphärenteilchen wird eine Art Trockenlöschung des Zementes bewirkt. Besonders der als Klinker mit Wasser behandelte (abgeschreckte) Zement wird event. vorhandenen freien Kalk in Kalkhydrat und kohlen-sauren Kalk umbilden. Dann zeigen auch manche Zemente die Eigenschaft, beim Ablagern noch nachzufeuern, also ihr Volumen zu vergrößern. Das geht bei zu frühzeitiger Verpackung oftmals bis zum Sprengen der Fässer, ohne doch eigentlich Treiben zu bedeuten.

Diese Lagersilos sind in neuerer Zeit meist mit Vorrichtungen zur automatischen Entnahme des Inhaltes eingerichtet. Das sind gewöhnlich Schnecken am konisch zusammengezogenen Boden, deren Bewegungsfähigkeit gegenüber der Last des auflagernden Materials durch besondere Druckplatten oder Rosteinrichtungen gesichert wird.

Zwischen Mühle und Silo schaltet man gewöhnlich eine Hennefer Wage ein, um einerseits die Tagesmahlung und andererseits den Inhalt resp. die Füllung des Silos jederzeit kontrollieren zu können. Andernfalls kann man die Füllung des Silos auch durch Berechnung des kubischen Inhalts finden und dann jedes Kubikmeter Zement mit ca. 1,450 kg ansetzen. Früher rechnete man jedes Kubikmeter rund zu 9 Faß Zement à 170 kg, also zu 1,530 kg. Das ist gegenüber der heutigen feineren Mahlung zu hoch und vom Verf. wiederholt durch genaues Packen eines ausgemessenen Silos auf obige Zahl von 1,450 kg im Durchschnitt ermittelt worden.

Vor das Lagersilo wird in einer modernen Fabrik stets noch ein Vorpacksilo vorgelegt, welches zum automatischen Verpacken des Zementes in Fässer und Säcke dient. Die Methode, besonders die Fässer durch Bearbeiten mit einem Schlagholz oder durch Rüttelvorrichtungen fest und voll zu packen, ist wegen der Beschädigungen der Fässer und wegen des argen Stäubens als veraltet jetzt vollständig verlassen worden. Die modernen Packapparate



arbeiten vielmehr ohne jegliche Erschütterung und unter absoluter Vermeidung irgendwelchen Stäubens.

Die Verpackung selbst geschieht in Fässer oder Säcke. Letztere haben, soweit nicht Export in Frage kommt, immer mehr die Fässer verdrängt, und besonders der Zentner-Sack (à 50 kg netto) hat sich selbst in Norddeutschland mit größtem Erfolg einzuführen verstanden. —

Unter dieser Berücksichtigung sowie in der Erwägung, daß eine Zementfabrik doch keine Faßfabrik sein soll, ist die Anfertigung von Zementfässern auf den Werken immer mehr zurückgegangen. Man zieht es vielmehr gegen-

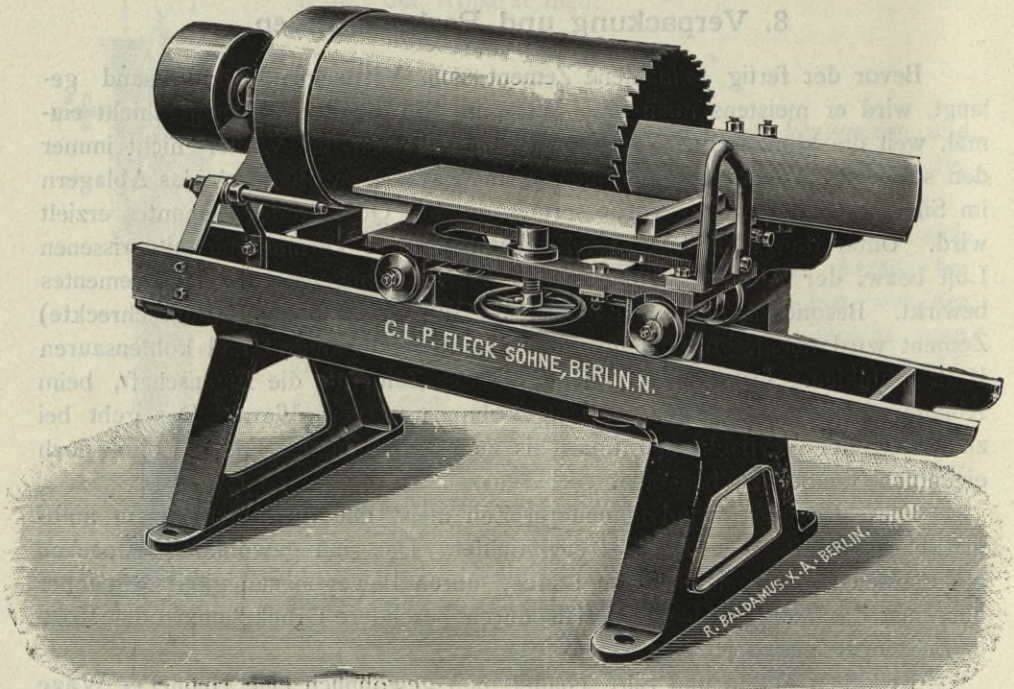


Fig. 160.

über der immer stärker auftretenden Nachfrage nach Sackpackung vor, das Faßholz fertig zu kaufen und auf dem eigenen Werk nur die Fässer vom Böttcher zusammenschlagen zu lassen.

Die Einzelpreise hierfür stellen sich etwa wie folgt:

Stäbe (Dauben)	0·40
2 Böden	0·20
12 Reifen	0·18
Nägel und Draht	0·04
Böttcherlohn (im Akkord)	0·18
Demnach 1 Faß	M. 1·00

\* \* \*

Will man trotzdem auch die Dauben und Böden selbst fabrizieren, so dienen hierzu die folgenden Apparate.

Die *Zylindersäge* (Fig. 160). Entsprechend den Anforderungen an ein Faß, möglichst fest zu sein, ohne daß doch dabei Materialvergeudung eintritt, werden die Dauben jetzt nur noch dem Durchmesser des Fasses entsprechend hohl geschnitten. Das Sägeblatt der stabil in Eisen konstruierten Maschine ist dem Faßdurchmesser und der Daubenlänge entsprechend ausgeführt. Der Schlitten, welcher zur Aufnahme des zu verarbeitenden Holzes dient, läuft auf großen Rollen, ist leicht zu bewegen und wird sicher geführt. Für die zu erzielende Daubenstärke sind verstellbare Anschläge am Schlitten angebracht, welche die abzuschneidende Daube bis zur vollständigen Ablösung festhalten,

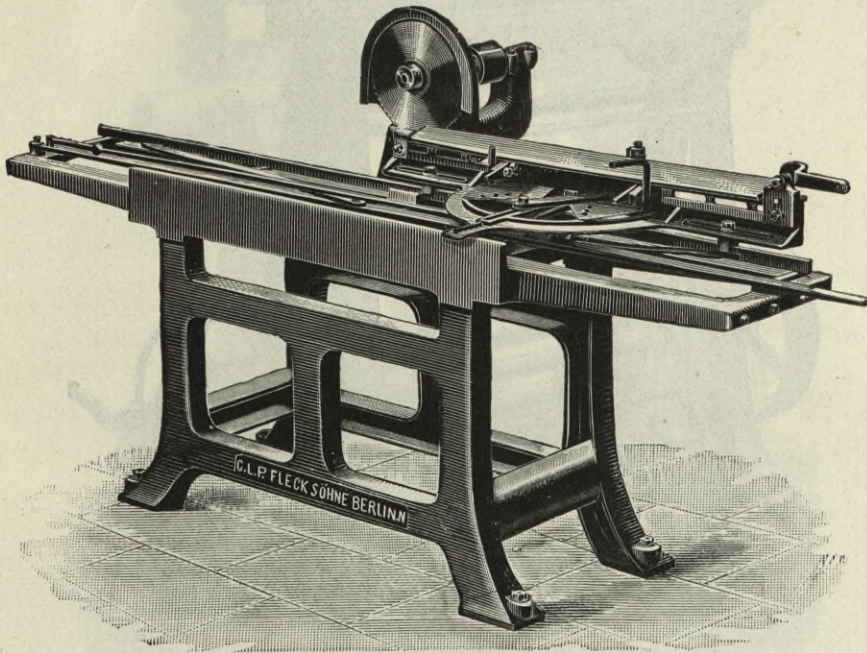


Fig. 161.

worauf die Daube selbsttätig aus der Maschine transportiert wird. — Tagesleistung ca. 3—4,000 Faßdauben, Kraftbedarf etwa 4 Pferdestärken. —

Die *Faßdauben-Fügemaschine* (Fischbauch-Kreissäge), Fig. 161, dient dazu, die Faßdauben im ungebogenen Zustande richtig zu fügen. Die Dauben erhalten, gleichgültig ob sie breit oder schmal sind, stets die richtige Form, ohne daß dabei ein unnützer Holzverlust entsteht. Das solide gelagerte Kreissägeblatt kann wegen der Abnutzung hoch und tief gestellt werden. Der Tisch mitsamt der Führung ist abnehmbar. Der Schlitten wird in einer sich zur Faßdaubenbreite selbst einstellenden Kurve geführt. Die Einspannvorrichtung ist für Daubenlängen von 500—1,000 mm verstellbar. Als Anschlag für die richtige Einstellung der Dauben ist ein umschlagbarer, durch Feder ge-

haltener Daumen so angeordnet, daß der Holzverlust dadurch geregelt wird. Die vorliegenden Arme geben die Breite und gleichzeitig die richtige Kurve an, welche dadurch erzeugt wird, daß durch den auf dem Tisch liegenden Handhebel, dessen Griff sich vorn an der Maschine befindet, sowohl die Anschlagarme als auch gleichzeitig die Kurve eingestellt werden. — Tagesleistung ca. 3—4,000 Faßdauben, Kraftbedarf etwa 1 Pferdestärke. —

Die *Dauben-Abkürzsäge* (Fig. 162) dient zum gleichmäßigen Abkürzen der Dauben und ist zu diesem Zwecke mit zwei verstellbaren Kreissägen aus-

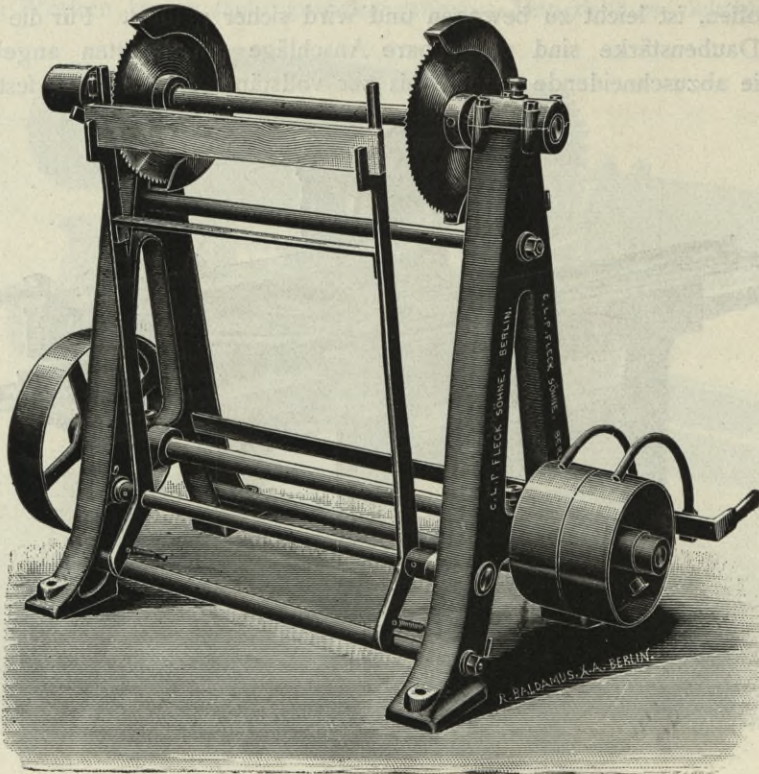


Fig. 162.

gerüstet, die auf einer horizontal gelagerten Welle angeordnet sind. Die abzukürzende Daube wird in den pendelnden Halter gelegt und den Sägen zugeführt, was entweder selbsttätig oder auch von Hand geschehen kann. — Tagesleistung ca. 6,000 Dauben, Kraftbedarf etwa  $1\frac{1}{2}$  Pferdestärken. —

Diese Dauben-Abkürzsäge kann auch gleich mit einer *Kröse- und Abschrägvorrichtung* versehen werden (Fig. 163), sodaß also Abkürzen, Krösen und Abschrägen der Enden von Faßdauben sich in einer Handhabung vollzieht. Die Maschine wird, wie die nebenstehende Abbildung zeigt, meist mit automatischem Vorschub der Dauben, seltener mit Handvorschub gebaut und leistet, bei einem Kraftbedarf von etwa 2 Pferdestärken, täglich ca. 6,000 Dauben. —

Die *Faßboden-Rundschnidemaschine* (Fig. 164) dient dazu, Böden beliebiger Stärke genau rund zu schneiden und gleichzeitig abzuschrägen.

Der kräftig ausgeführte Ständer trägt sowohl die Aufspannvorrichtung als auch eine Konkavsäge mit Messerkopf.

Der zu schneidende Boden wird mittels Exzenter und Handhebels zwischen die Planscheibe und den sich darauf legenden Federring gespannt, die beide durch einen Bügel gehalten werden. Während dieses Vorganges ist der Bügel, der mit seiner am unteren Ende befindlichen Spindel in einer Hülse steckt und durch Schildzapfen derselben in senkrechter Ebene drehbar

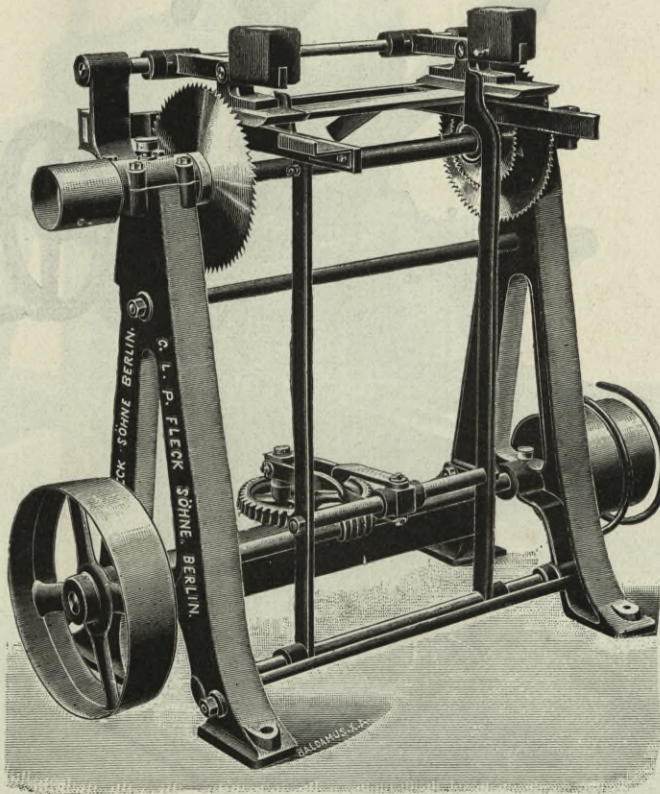


Fig. 163.

gelagert ist, von der Konkavsäge und dem Messerkopfe entfernt. Nachdem der Boden aufgespannt ist, wird derselbe durch Herumlegen des Bügels dem Sägeblatt und Messerkopf wieder zugeführt und durch Handrad mittels Schnecke und Schneckenrades in eine Drehbewegung versetzt.

Die Maschine ist für Böden verschiedenen Durchmessers einstellbar. Hierfür sind natürlich verschiedene Planscheiben, Federringe und Konkavsägen erforderlich, da ein Satz derselben nur kleine Abweichungen gestattet.

Tagesleistung ca. 500—600 Böden. —

Zum Zusammensetzen des Fasses dient die *Faßwinde* und *Aufsatzform* (Fig. 165).

Das Zusammenwinden des offenen Faßendes geschieht durch eine Drahtseilschleife, welche um das offene Faßende gelegt und durch ein doppeltes

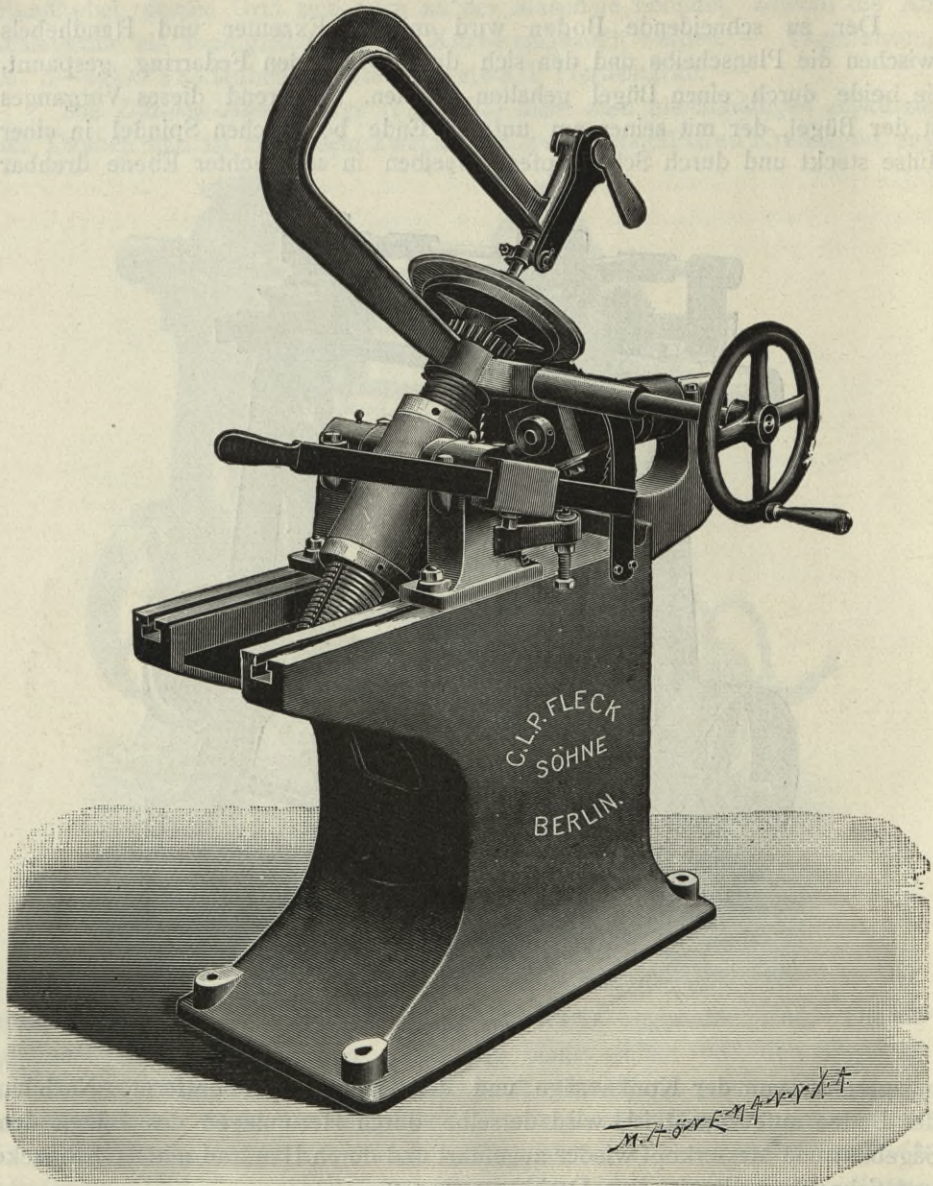


Fig. 164.

Schneckengetriebe zusammengezogen wird. Einige wenige Umdrehungen der Kurbel genügen, um ein Faß zusammenzuwinden. — Tagesleistung 150—200 Faß.

Die fertig geschnittenen Dauben und Böden müssen vor ihrer weiteren Verarbeitung noch vollständig ausgetrocknet werden, damit nicht später das fertige Faß durch Zusammentrocknen undicht wird und stärkeren Streuverlust verursacht. Dieses Trocknen wird nur noch ganz selten an der Luft, vielmehr meist künstlich in einer Trockenanlage mit indirekter Beheizung (Dampfheizung, Kaloriferen etc.) bewirkt.

Auch das fertige Faß wird nochmals einer Befehung durch offenes Koksfeuer oder eingehängte Kokskörbe ausgesetzt, vornehmlich, wenn es für

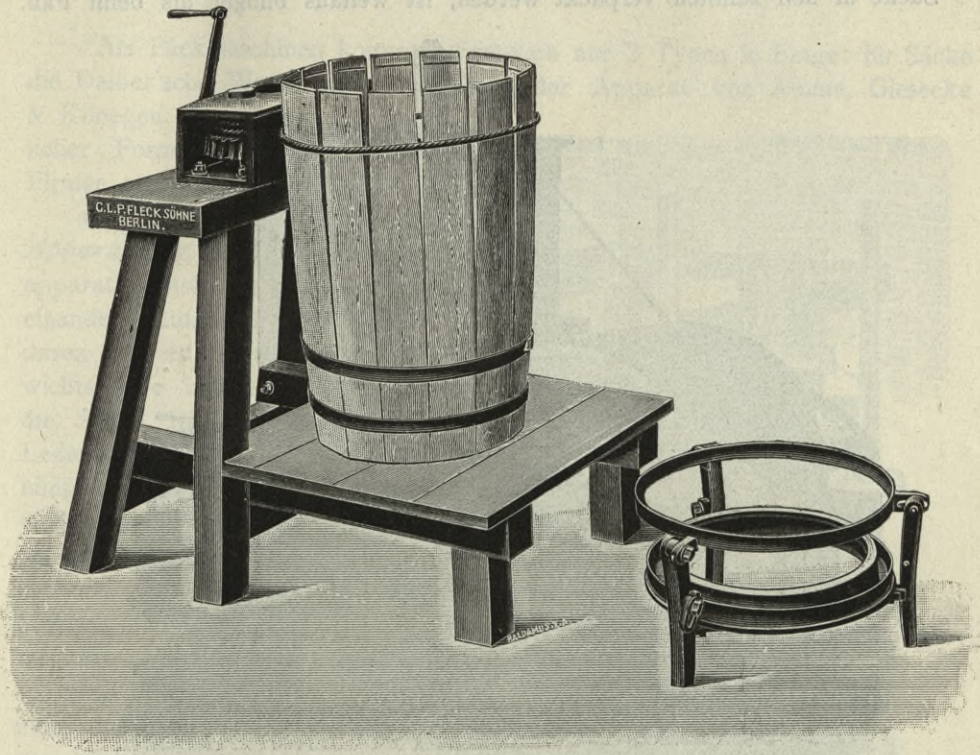


Fig. 165.

Export bestimmt ist. Im letzteren Falle werden neben den Weidenreifen auch noch ein paar eiserne Reifen aufgelegt. Oder man bedient sich überhaupt eiserner Fässer, für welche die entsprechenden Maschinen u. a. von C. Mündinus-Lüneburg gebaut werden.

In das zum Verpacken fertige Faß werden noch ein paar Bogen Packpapier eingelegt, um jegliche Feuchtigkeit vom Zemente fern zu halten.

In diesem Punkte ist das Faß naturgemäß dem Sack überlegen. Denn alle sog. wasserdichten Säcke, welche dem Verf. in der Praxis vorgekommen sind, verdienen in keiner Weise diese rühmende Bezeichnung.

Aber der Sack und die Sackpackung ist billiger und bequemer! Rechnen wir einen guten Sack zu 50 kg Fassungsvermögen reichlich zu 25 Pf., so

würden wir für 170 kg netto (d. i. eine Faßpackung!) auf nur 85 Pf. kommen. Da ein Sack zudem gut eine fünfmalige Reise aushält, so würden für 100 kg die dazu nötigen 2 Säcke nur einen Fastage-Verlust von 10 Pf. ausmachen. Tatsächlich tritt ein solcher kaum ein. Vielmehr wird sich, da die Säcke auch mit 25 Pf. in Rechnung gestellt werden, auf Sack-Konto manchmal sogar ein kleiner Ueberschuß ergeben.

Die Reparatur der Säcke ist zudem leicht und billig mittels Nähmaschine durch Frauenhand auszuführen. Auch die Rücksendung, bei welcher meist 9 Säcke in den zehnten verpackt werden, ist weitaus billiger als beim Faß.

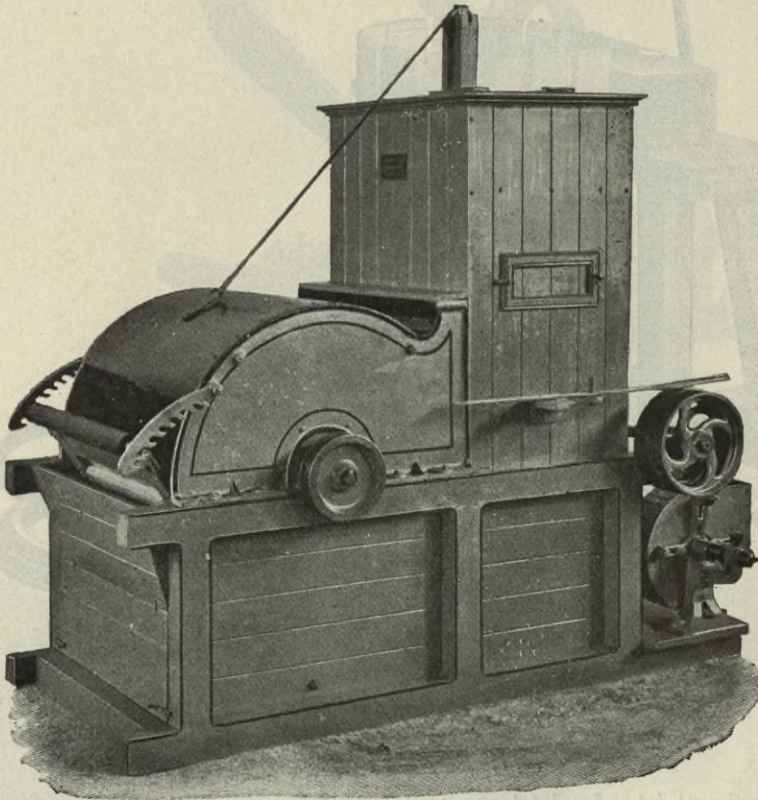


Fig. 166.

Hierzu kam bis in die letzte Zeit hinein, daß eine gute Packmaschine wohl für Säcke, nicht aber auch für Fässer vorhanden war. Und schließlich ist auch das Zumachen des Sackes mittels Bindfadens (Kordel) einfacher und schneller sowie billiger auszuführen als das Zuböttchern eines Fasses, welches letzteres im Akkord mit 3—4 Pf. anzusetzen ist.

Die Reinigung alter Säcke, die von Hand ausgeführt eine starke Belästigung des Arbeiters durch Staub bedeutet, wird neuerdings ebenfalls maschinell ausgeführt. Zu diesem Zwecke bedient man sich vorteilhaft der

*Sackreinigungsmaschine* (Fig. 166) des Eisenwerkes (vorm. Nagel & Kämp) A.-G. Hamburg. Die Reinigung wird hierbei durch ein kräftiges Ausklopfen des Sackes auf einer elastischen Unterlage durch biegsame Schläger bewirkt, die auf einer rasch rotierenden Welle angeordnet sind. Der dabei entstehende Staub wird durch einen Exhaustor abgezogen und durch Filtertücher unschädlich gemacht. — Stundenleistung ca. 100 Säcke.

Als Packmaschinen kommen eigentlich nur 2 Typen in Frage: für Säcke die Daiber'sche Wage und für Fässer der Apparat von Amme, Giesecke & Konegen, der übrigens in ähnlicher Form auch von anderen Firmen ausgeführt wird.

a) Der *Daiber'sche Sackpack-Apparat* (Fig. 167),<sup>1)</sup> ein Doppelapparat, besteht aus zwei nebeneinander aufgestellten Wagen, deren doppelte Wagebalken Gewichtsschale und Aufhänger für die Säcke tragen (letzterer ein Lederbalgen). Die beiden Aufhänger sind an den beiden Enden eines gegabelten Rohrstützens befestigt, durch welchen das Material einläuft. An der Gabelung des Stützens liegt im Innern eine bewegliche Klappe, welche gerade so groß ist, daß sie die Oeffnung zu den unteren Rohren verschließen kann, und welche durch ein Hebelwerk und Zugstangen mit den Aufhängern für die Säcke in Verbindung steht. — Der Apparat funktioniert in der Weise, daß immer eine Seite des Stützens durch die Klappe an der Gabelung zugedeckt ist und z. B. also Sack I gefüllt wird, indem das Material durch den nach

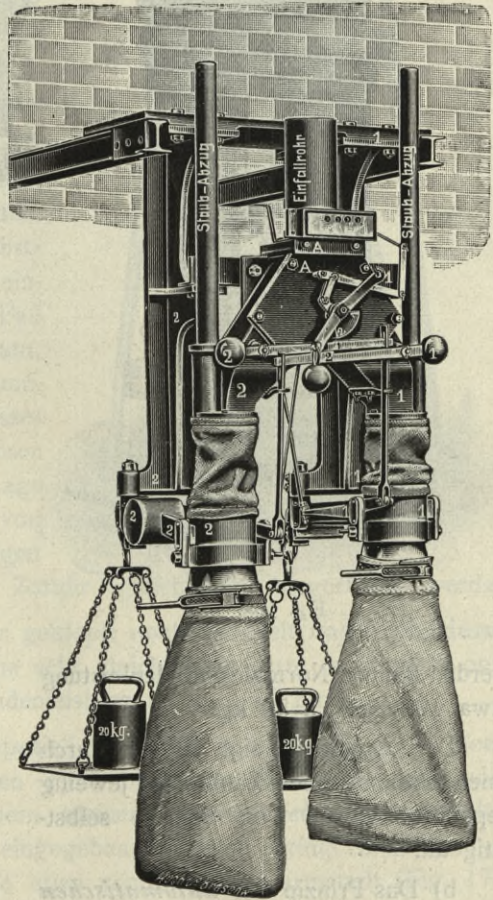


Fig. 167.

dieser Seite geöffneten Stützens kontinuierlich in den Sack hinunterrieselt. Hat der Sack das gewünschte Gewicht erreicht, so geht er herunter. Dabei zieht

<sup>1)</sup> Ausgeführt vom Eisenwerk Carlshütte in Alfeld a. L.



seine Zugstange an dem Hebel der Klappe und wirft diese herum, sodaß nunmehr die andere Seite des Abfallstutzens frei wird und der Zement in den Sack II fällt. Während sich nun Sack II füllt, wird Sack I abgenommen und ein neuer angehängt, sodaß der Apparat niemals zum Stillstand kommt.

Die Leistungsfähigkeit dieser Sackpackmaschine ist recht beträchtlich und hängt nur von der Schnelligkeit des Zulaufes ab, welche beliebig gesteigert

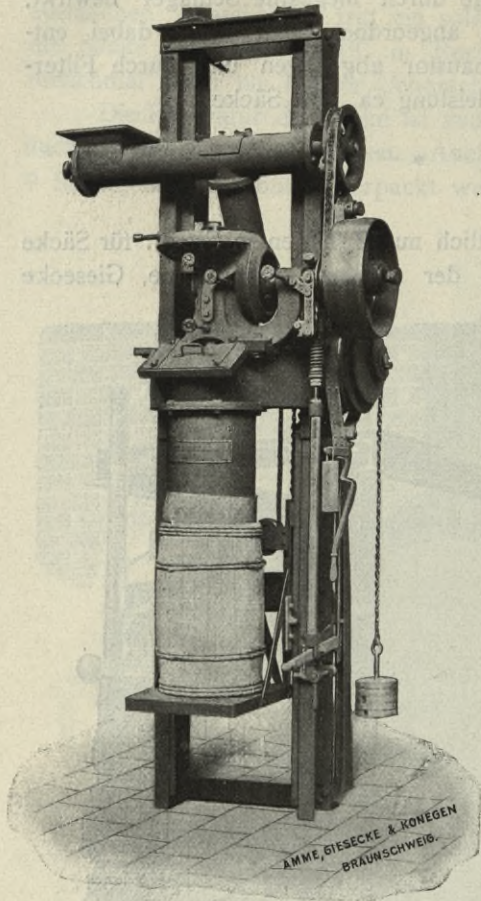


Fig. 168.

werden kann. Normale Stundenleistung etwa 100 Sack à 50 kg.

Der Apparat zeigt zudem durch einen automatischen Zähler die jeweilig gepackte Anzahl von Säcken selbsttätig an.

b) Das Prinzip der *automatischen Faßpackmaschine* von Amme, Giesecke & Konegen - Braunschweig (Fig. 168 und 169) ist das folgende:

Das aus dem Silotrichter B kommende Material wird durch eine Transportschnecke S, deren Antrieb von der Maschine abhängig ist, in gleich-

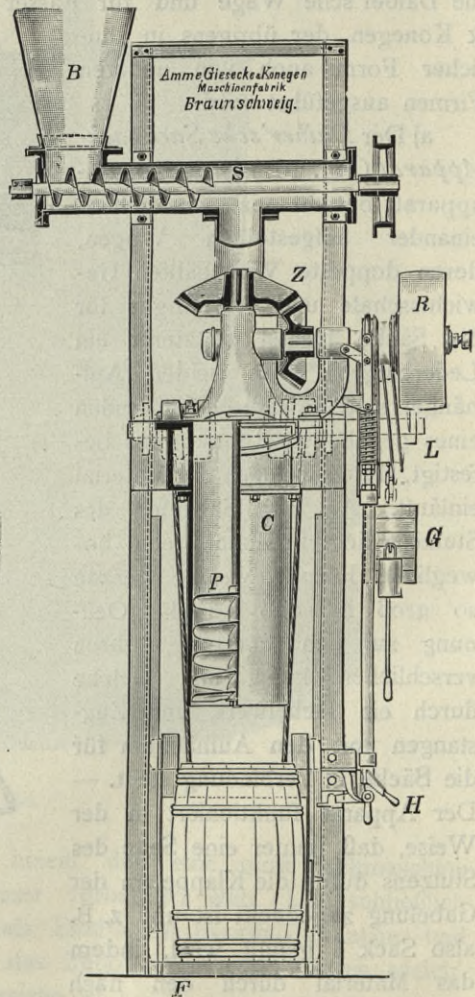


Fig. 169.

mäßigem Strome dem Packzylinder C zugeführt, in welchem sich die Packspirale P befindet. Das Faß, auf einem Fahrstuhl F stehend, befindet sich bei Beginn des Packens in einer Stellung, daß es den Packzylinder C umschließt. Beim Anfang des Packens, bei welchem die Packspirale P mittels Zahnräder Z durch die Riemenscheibe R in Umdrehung versetzt wird, wird der Zement sozusagen in daß Faß hineingeschraubt.

Durch diese schraubende Pressung wird das auf dem Fahrstuhl stehende Faß, dessen Gewicht G ausbalanciert ist, der Füllung entsprechend langsam nach unten gedrückt. Außer dem gleich bleibenden Gegengewicht, das dem Gewichte des Fahrstuhls und des Fasses entspricht, ist eine Einrichtung getroffen, welche das stetig zunehmende Zementgewicht im Fasse ausbalanciert, sodaß die Pressung im Fasse stets die gleiche bleibt.

Nach vollendeter Füllung rückt die Maschine automatisch aus, nachdem bereits vorher die Zufuhr ebenfalls selbsttätig abgestellt ist. Durch eine einfache Hebelbewegung sinkt das Faß mit dem Fahrstuhl soweit nach unten, daß es bequem abgerollt werden kann. — Nach Aufrollen eines neuen Fasses und nachdem dieses durch Lösen der Bremse in die höchste Lage gebracht ist, beginnt das Packen von neuem durch Ziehen eines einzigen Hebels, wodurch Maschine und Zufuhr gleichzeitig eingerückt werden.

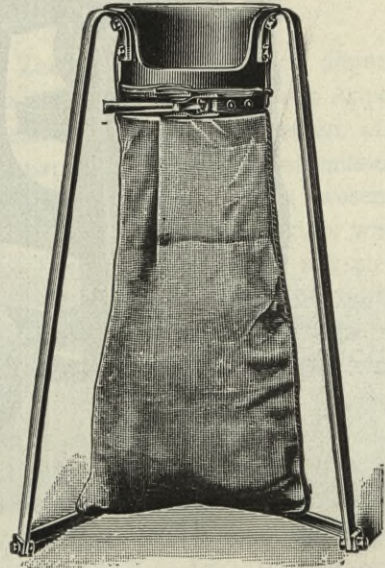


Fig. 170.

Die Fässer werden also weder geklopft noch gerüttelt und infolgedessen sehr geschont. Die Packung ist eine sehr gleichmäßig feste und geht ohne jegliches Stäuben vor sich. — Stundenleistung ca. 30—40 Faß. —

Für das Packen von Hand speziell in Säcke hat die Firma L. Soest & Co., Reisholz b. Düsseldorf, einen recht bequemen Sackhalter konstruiert (Fig. 170). Der Sack wird in diesem kleinen Apparat geöffnet festgehalten und der Zement mittels Schaufeln eingegeben. Hierauf bringt man den gefüllten Sack auf eine fahrbare Wage etwa von Schenck-Darmstadt (Fig. 171) und wägt ihn für das entsprechende Gewicht ab.

Die Säcke sind bereits ein für alle Mal bei der Herstellung signiert. Sie brauchen also nur zugeschnürt und event. plombiert zu werden, um sofort versandbereit zu sein.

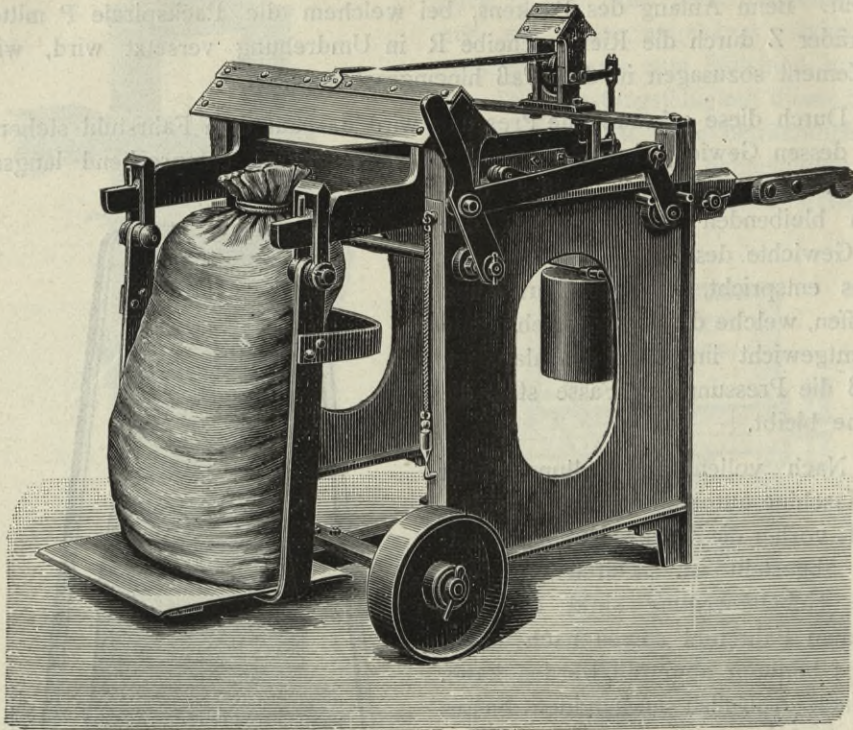


Fig. 171.

Die Fässer werden dagegen erst noch mit einem Etiquett versehen, welches die betreffende Fabrikmarke trägt. Dieses Etiquett wird meist auf dem festen Boden aufgeklebt: beim Oeffnen des Fasses ist also alsdann der andere Boden zu entfernen.

## 9. Die Hilfsmaschinen einer Zementfabrik.

Als Hilfsmaschinen kommen für eine Zementfabrik wesentlich diejenigen in Betracht, welche dazu dienen müssen, die vorstehend beschriebenen Apparate der Mühle, der Trockenanlagen, der Presse etc. in Bewegung zu setzen, also in erster Reihe die Kraftmaschinen mit ihren Nebenapparaten und die Transmissionen. Ferner wird auch für Licht- wie für Kraftzwecke die Elektrizität wesentlich erheblicher herangezogen als früher, wenngleich unumwunden erklärt werden muß, daß eine allgemeine Umgestaltung des Betriebes in solchen mit elektrischer Kraft- und Kraftübertragungs-Anlage vornehmlich wegen der noch zu hohen Kosten bisher wohl nur ganz vereinzelt erfolgt ist. Eine solche elektrische Kraftanlage kann bislang nur da rationell arbeiten, wo ausreichende Wasserkräfte billig zur Verfügung stehen.

In solchem Falle wird man die vorhandene Wasserkraft zweckmäßig durch eine Turbinenanlage, wie z. B. bei Lauffen a. Neckar, ausnützen.

Auch die sonst recht rationell arbeitenden Kraftgasmaschinen, z. B. von Gebr. Körting-Hannover oder der Gasmotorenfabrik Deutz, sind leider speziell für eine Zementfabrik noch nicht genügend durchgearbeitet. Es kommen in dieser Fabrikation oftmals derartig hohe, wenn auch nur momentane Mehr-Anforderungen an Kraft vor, die bis zu 50 % gehen können, so daß eine Kraftgasmaschine mit ihrer Reserve von 10—15 % hier nicht ausreicht.

Man wird also zunächst noch immer als Kraftquelle eine gute Dampfmaschine mit entsprechender Kesselanlage aufstellen müssen. Natürlich kommt hier nur noch die Verbundmaschine mit Kondensation in Frage, welche mit einem Dampfverbrauch von ca. 5.5 kg Dampf für die indizierte = 6.6 kg Dampf für die effektive Pferdestärke weitaus am billigsten arbeitet. Ob man als Verbundmaschine die gewöhnliche Nebeneinanderschaltung oder die Woolfsche Anordnung wählt, hängt wesentlich nur von der Disposition der Gesamtanlage ab. Nur das eine soll man beherzigen, daß die Maschine reichlich groß genommen wird. Denn es ist unausbleiblich, daß nach und nach immer mehr angehängt wird. Und bei einer übermäßigen Belastung arbeitet selbst eine Maschine von Sulzer, Augsburg oder Görlitz nicht mehr rationell.

Die moderne Maschine arbeitet meist mit einem Druck von 12 Atmosphären und dementsprechend ist auch die Kesselanlage einzurichten, für welche man etwa einen Cornwallkessel oder einen Steinmüller-Kessel wählen wird.

Die Stärke der Maschine ist gemäß den besseren Neueinrichtungen der Fabriken auf ungefähr  $2\frac{1}{2}$  effektive Pferdestärken pro 1,000 Faß Jahresproduktion zu bemessen. Um stets von Betriebsstörungen unabhängig zu sein, wird man zweckmäßig die ganze Kraftanlage auf zwei Maschinen verteilen. Bei genügender Reserve in der Maschine kann man dann immer noch den Betrieb wenigstens zu drei Viertel aufrecht erhalten.

Die Kesselanlage hat sich der Größe der Maschinen selbstverständlich anzupassen, wobei für jede Pferdestärke etwa  $\frac{1}{2}$  qm Heizfläche zu rechnen ist. —

Für große Werke wächst nun der Wasserverbrauch für Maschine und Kessel an Kondens- und Speise-Wasser recht beträchtlich. Das wird umso un-

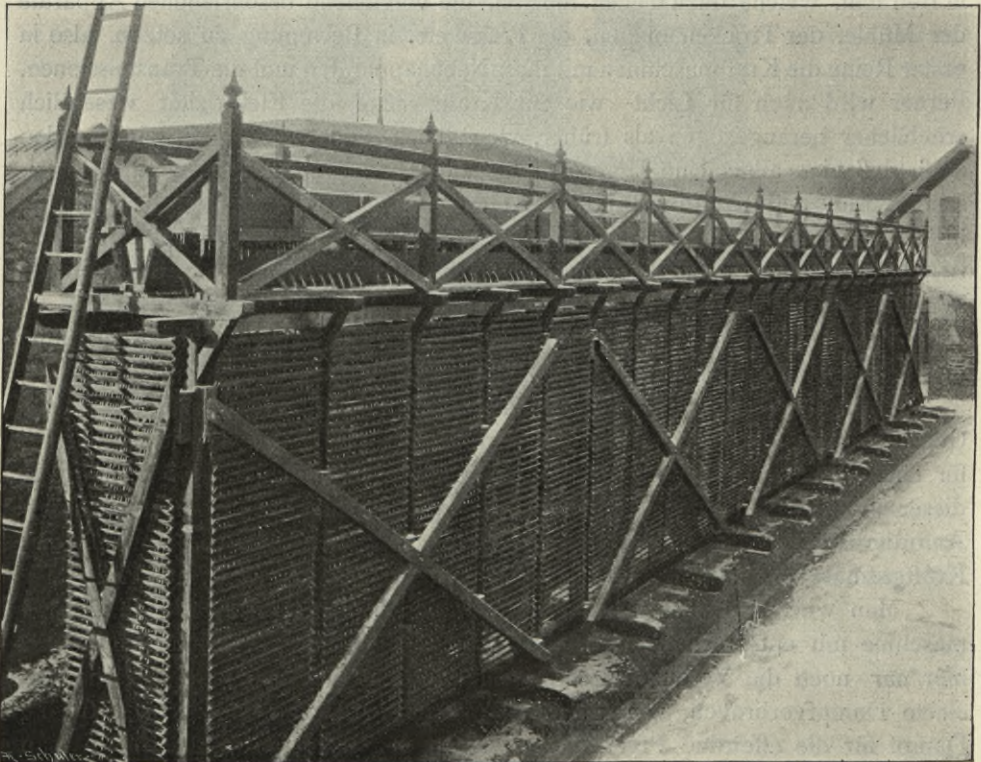


Fig. 172.

bequemer empfunden, als vielfach die Art des Betriebes gerade wasserarme Gegenden aufzusuchen gezwungen ist. Man hilft sich in solchen Fällen durch Anlage großer Kühlteiche, um in ihnen das Kondenswasser wieder abzukühlen und so immer wieder zu gewinnen. Noch besser arbeiten für diesen Zweck die *Kondenstürme* z. B. von Balcke & Co.-Bochum oder die *Rückfußkühler* von Muntziger-Kaiserslautern (Fig. 172).

Das zu kühlende Wasser wird auf die oberen Behälter dieser Kühlapparate gepumpt und rieselt von hier aus durch viele kleine Auslaufröhrchen über den Rand der Verteilungskästen in Tropfen auf die hölzernen Horden, welche außerordentlich große Kühlflächen darbieten. Es bildet sich ein über das Kühlwerk gleichmäßig verteilter feiner Regen, welcher durch die aufsteigende Luft (nach dem Gegenstromprinzip) intensiv abgekühlt wird.

Der Verlust an Wasser läßt sich ungefähr dahin bemessen, daß von der gesamten Wassermenge durch Verdunstung etwa der Anteil an Speisewasser verloren geht, während das Kondenswasser voll erhalten bleibt. Es ist also etwa immer nur das Kesselspeisewasser neu zu ergänzen, d. i. der weitaus geringere Teil der erforderlichen Wassermenge.

Die Kühlanlagen werden übrigens meistens noch mit Oelabscheidern versehen, sodaß nur gereinigtes Wasser zur Verwendung kommt. —

Für die *Reinigung des Kesselspeisewassers* benutzt man fast allgemein selbsttätige Apparate, z. B. von Dehne-Halle.

Die nebenstehende Abbildung (Fig. 173) zeigt z. B. diejenige Anordnung der Dehne'schen Apparate, welche zumeist gewählt wird.

Das Wasser kommt hier von einem Hochbehälter H oder aus einer Druckleitung und tritt zunächst in den Vorwärmer A, welcher durch Abdampf oder direkten Dampf geheizt wird und dem Wasser eine Temperatur von 70 bis 80° C. erteilt.

Das erwärmte Wasser gelangt dann in den Fällapparat B, wo sich die Ausscheidung der Kesselsteinbildner in Form von Flocken vollzieht.

Nachdem die ausgeschiedenen Bestandteile in der Filterpresse C zurückgehalten sind, gelangt das nunmehr gereinigte Wasser in die Pumpe D.

Bei jedem Hub der Wasserpumpe tritt also ein bestimmt abgemessenes Quantum frischen, erwärmten Wassers in den Fällapparat B ein.

Gleichzeitig spritzt jedoch die kleine, von der Wasserpumpe D angetriebene Laugepumpe E ein bestimmtes Quantum, aus dem Laugebehälter F entnommene Mischung von Chemikalien in den Fällapparat ein.

Die Zusammensetzung der Kesselsteinbildner im Wasser ist vorher durch Analyse bestimmt, und da somit die Menge der Zusätze genau bekannt ist, welche jedem Liter Wasser behufs seiner Reinigung zu machen sind, so ist es leicht, die im Laugebehälter (Rührbottich) enthaltene Lauge so zusammensetzen, daß in der von der Laugepumpe eingespritzten Menge genau so viel Chemikalien enthalten sind, als die gleichzeitig von der Wasserpumpe geförderte Quantität Wasser zur völligen Reinigung bedarf.

Die hauptsächlich im Wasser enthaltenen fällbaren Stoffe sind kohlensaurer Kalk, kohlensaure Magnesia, kohlensaures Eisenoxydul und schwefelsaurer Kalk, zu deren Ausscheidung man Aetzkalk, Aetznatron und Ammoniak-soda benutzt. Die ferner noch vorhandenen, nicht ausscheidbaren Stoffe, Chlornatrium, schwefelsaures Natron und Salpeter beseitigt man in der Weise,

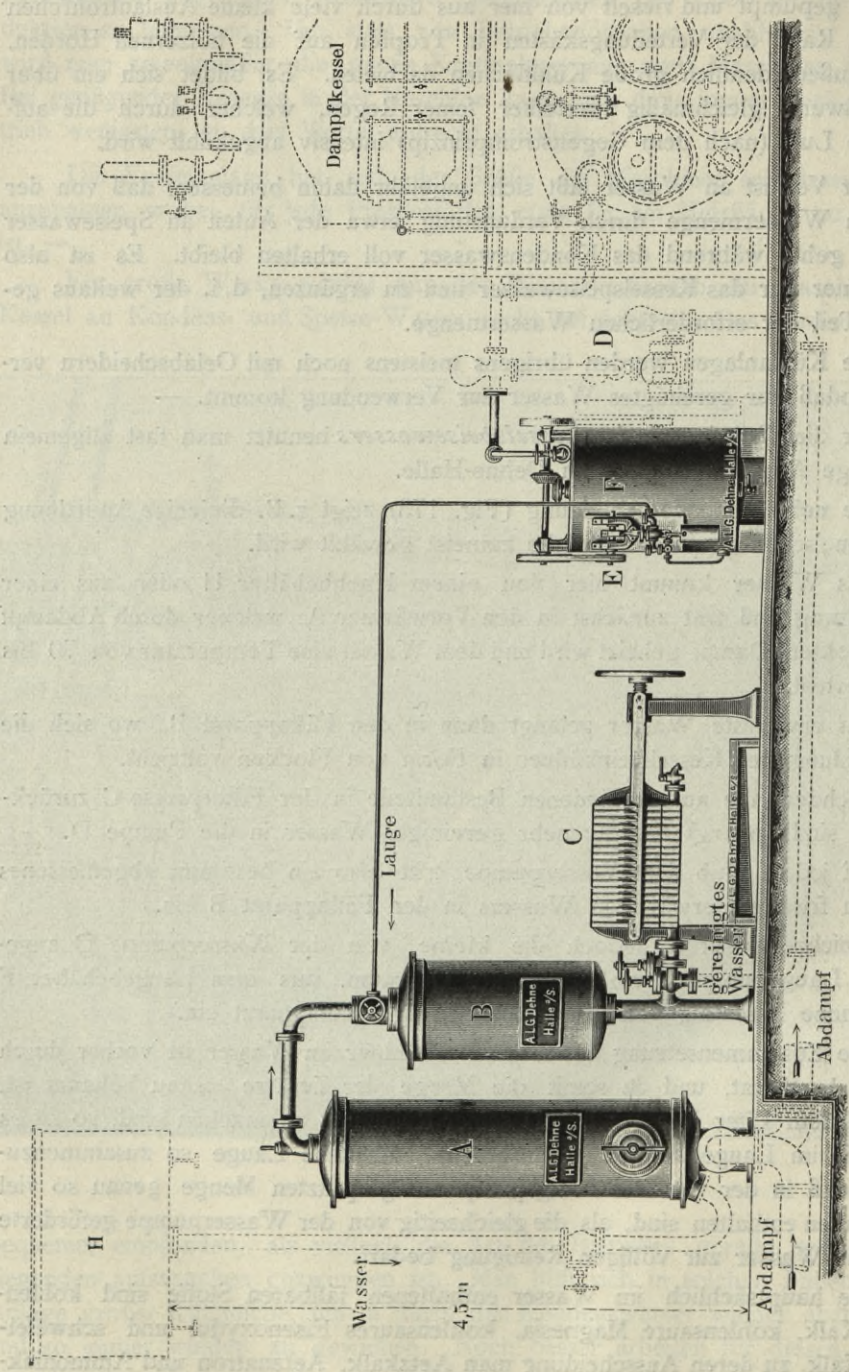


Fig. 173.

daß man die durch das Verdampfen des Wassers im Kessel mehr und mehr konzentrierte Lösung von Zeit zu Zeit teilweise aus dem Kessel ausfließen läßt und durch Frischwasser ersetzt.

\* \* \*

Die Kraftübertragung von der Maschine auf die einzelnen Apparate erfolgt noch immer fast ausschließlich durch Transmissionen.

Nur solche Maschinen, die sehr entlegen sind, oder solche, welche wie z. B. die Aufzüge zu den Brennöfen, auch in den Pausen laufen müssen, treibt man besser elektrisch an.

Die Transmissionen werden vielfach von den Maschinenfabriken der Zerkleinerungsapparate gleich mitgeliefert. Andernfalls bezieht man sie auch wohl

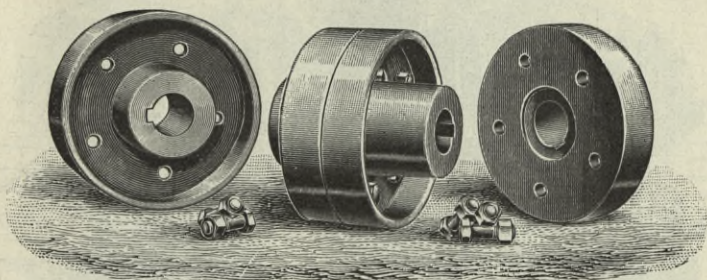


Fig. 174.

von Spezialfirmen, also etwa von der Berlin-Anhaltischen Maschinenfabrik, Wülfel-Hannover oder Polysius-Dessau.

Die am meisten interessierenden Teile der Transmissionen sind Lager, Kuppelungen und Riemen, ferner die Schmiervorrichtungen.

Für schwere Wellen, die gewöhnlich fest verbunden bleiben sollen, werden meist Scheibenkuppelungen (Fig. 174) gewählt, welche fest auf die Wellen aufgezogen und nur bei Betriebsstörungen abgenommen werden. Sie werden also gewöhnlich für die Haupttransmissionen benutzt.

Zum Ausrücken einzelner Wellen nebst den dazu gehörigen Riemenscheiben etc. bedient man sich der Klauenkuppelungen (Fig. 175). Dieselben werden, um ein Durchhängen zu vermeiden, zwischen zwei recht eng aneinander gestellten Lagern angebracht. Das Auskuppeln erfolgt bei ihnen meistens, bei schwereren Wellen, größeren Kraftübertragungen und hohen Tourenzahlen immer während des Stillstandes der Maschine. Nur für ganz geringe Uebertragungen und langsam laufende Wellen kann man wohl auch mal das Ein- und Ausrücken während des Ganges der Maschine vornehmen. Aber auch dann wird besonders das Einrücken niemals ohne einen ziemlich kräftigen Stoß erfolgen, der für empfindliche Maschinen auf die Dauer doch lebensgefährlich wirkt.

Will man also ein völlig stoßfreies Ein- und Ausrücken haben und besonders auch große Kraftübertragungen bezw. schnelllaufende Apparate wäh-



rend des Betriebes anstandslos ein- und ausschalten, so muß man zu Reibungskuppelungen (Fig. 176) greifen. Das Ein- und Ausrücken erfolgt bei diesen durchaus sanft und allmählich und zwar bei kleineren Wellen durch einen Handhebel, bei stärkeren Wellen durch Spindel und Handrad.

Die Lager der Wellen werden neuerdings fast ausschließlich als nicht-tropfende Oelkammerlager und zwar als Ringschmierlager ausgebildet, wie aus der umstehenden Abbildung (Fig. 177) eines Polysius'schen schweren Oelkammerlagers ohne weiteres ersichtlich ist. Der Vorteil dieser Lager besteht darin, daß sie zunächst absolut dicht schließen und unter dem unvermeidlichen Staub in der Mühle fast gar nicht zu leiden haben. Sie bedürfen ferner keiner Wartung, da das Oel so lange im Lager bleibt bzw. bleiben kann, bis seine

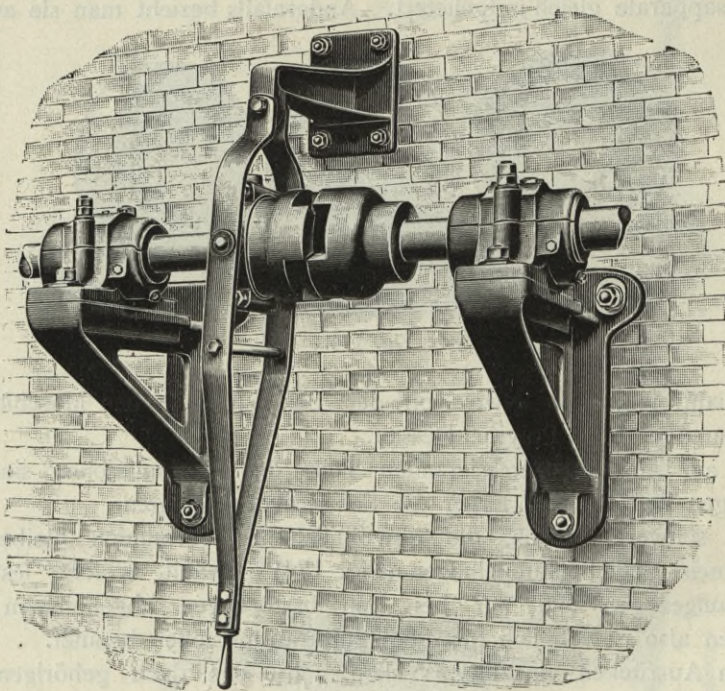


Fig. 175.

Schmierfähigkeit erschöpft ist. Alsdann wird es auf einmal herausgelassen und durch frisches Oel ersetzt. Da das Oel damit vollständig ausgenützt wird, so arbeiten diese Ringschmierlager zugleich außerordentlich sparsam. —

Zur Kraftübertragung von Welle zu Welle dienen entweder konische oder Stirnräder, gewöhnlich von Eisen, oder Riemen, Seile u. dergl.

Die eisernen Räder, und besonders die konischen, wegen des seitlichen Schubes, sind bislang ein unumgängliches Uebel im Mühlenbetriebe. Sie sind starkem Verschleiß unterworfen und werden oftmals etwa durch Ausbrechen mehrerer Zähne nebeneinander vor der Zeit völlig unbrauchbar. Hier kann man das neuerdings bekannt gewordene *Thermit* mit bestem Erfolge an-

wenden, während es bisher unmöglich war, an ein und derselben Stelle mehr als einen Zahn einzuflicken. Auch für Wellenbrüche bezw. deren Ausbesserung hat sich das Thermit als ein vorzügliches Heilmittel erwiesen.

Größere Kraftübertragungen werden fast allgemein durch Hanfseile bewirkt, mittlere und kleine durch Riemen aus Leder, Kamelhaar, Baumwolle oder Gummi, letzteres event. mit Hanfeinlage. Das beste ist und bleibt wohl

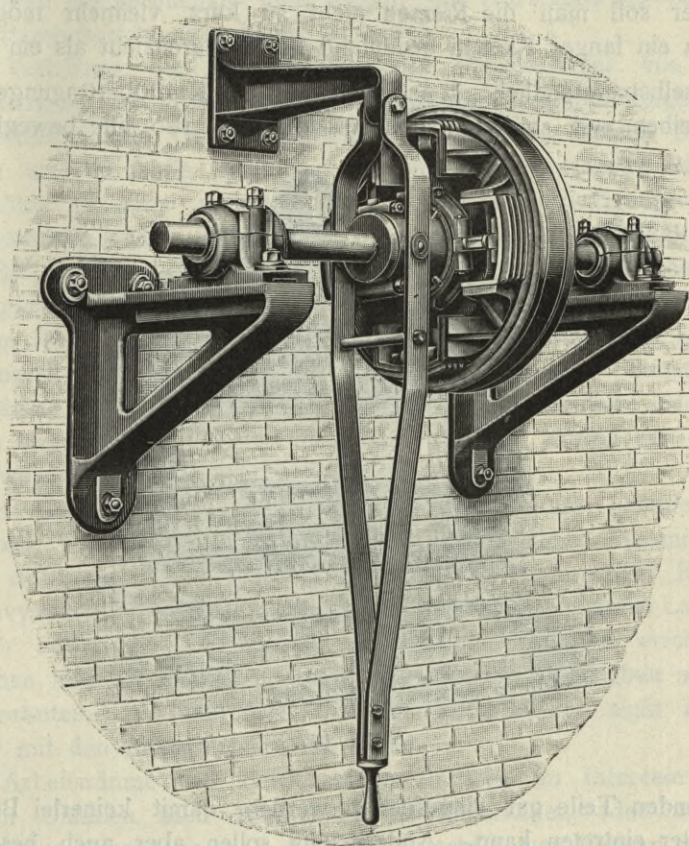


Fig. 176.

ein guter Kernlederriemen. Leider aber sind sie mit Erfolg nur in trockenen und möglichst staubfreien Räumen zu verwenden. In feuchten oder staubigen Räumen wird man also besser Gummi- bezw. Kamelhaarriemen benutzen.

Um die Riemen besser haften zu machen, werden dieselben oftmals mit Riemenfett bestrichen; besonders der Müller ist gern mit diesem „Heilmittel“ bei der Hand. Und doch ist dasselbe durchaus zu verwerfen und arbeitet nur dem Riemenfabrikanten in die Tasche! Nichts ruiniert einen Riemen schneller und nachdrücklicher als ein allzu nächsichtig geduldeter Gebrauch, d. h. Mißbrauch von Riemenfett. — Gleitet ein Riemen, vornehmlich in stark staubigen Räumen, trotz aller Anspannung auf der Riemenscheibe, so ist es

besser, die gewöhnlichen eisernen Riemenscheiben mit einem Lederüberzug zu versehen oder sie ganz fortzunehmen und durch hölzerne zu ersetzen.

Auch soll man nicht etwa aus Sparsamkeitsrücksichten die Riemenscheiben zu schmal und überhaupt die ganze Transmission zu leicht nehmen. Fortwährendes Ablaufen der Riemen und häufige Wellenbrüche würden eine unvermeidliche Folge einer solchen übertriebenen Sparsamkeit sein.

Ferner soll man die Riemen nicht zu kurz, vielmehr möglichst lang wählen, da ein langer Riemen bedeutend besser durchzieht als ein kurzer.

Als selbstverständlich gilt natürlich, daß alle Kraftübertragungen, Wellen, Riemenscheiben und sonstigen Transmissionsteile, also alle beweglichen oder

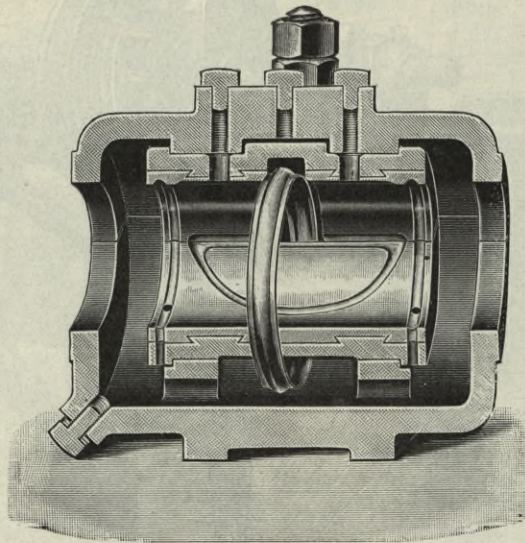


Fig. 177.

sich drehenden Teile gut eingefriedigt werden, damit keinerlei Beschädigung der Arbeiter eintreten kann. Andererseits sollen aber auch besonders alle Transmissionsteile für den Arbeiter bequem zugänglich sein, um Schmieren, Riemenautlegen, Wellenausrücken etc. jederzeit leicht und schnell vornehmen zu können. —

\* \* \*

Zur Verhütung von Unfällen sind denn auch seitens der Steinbruchsberufsgenossenschaft für die maschinellen Betriebe besondere Vorschriften herausgegeben, welche gemäß § 78 Absatz 2 des Unfallversicherungsgesetzes vom 6. Juni 1884 staatlich genehmigt sind. Bei der großen Wichtigkeit, dieselben genau einzuhalten, mögen diese Bestimmungen für den Unternehmer bzw. technischen Leiter hier noch im Wortlaut eingefügt werden.

In den Arbeitsräumen muß für hinreichenden Luftwechsel gesorgt sein. Die Fußböden, Laufbühnen und Treppen sind in einem gangbaren und sicheren Zustand zu erhalten.

Feste Treppen müssen mindestens an einer Seite mit einem Seitenbrett von 15 cm über die Stufen vorstehender Höhe und einem Geländer versehen sein. Bei einseitigen Treppen genügt ein Geländer.

Können zum Betriebe gehörige Wasserflächen nicht eingefriedigt werden, so sind, soweit die Möglichkeit einer Gefahr des Ertrinkens gegeben ist, geeignete Rettungsvorrichtungen bereit zu halten.

Zur Verhütung des Hineinfallens oder Herabstürzens von Menschen sollen Oeffnungen, als: Luken zu Förderzwecken, Schüttöffnungen, Trichter u. s. w., ferner Kanäle, Gruben, Schächte, Bassins oder solche Behälter, in denen sich ätzende Stoffe befinden, umwehrt oder verdeckt, Bühnen und andere erhöhte Verkehrs- und Arbeitsstellen durch Einfriedigungen gesichert sein; insbesondere müssen Sackaufzüge mit zurückfallenden Deckeln versehen werden. Bei Schlämbassins genügt als Wehr ein 20 cm hohes Fußbrett oder eine gleich hohe Steinschicht, oder ein Erdwall von 50 cm Höhe.

In den Räumen, Gebäuden und Höfen der Betriebsanlagen ist während der Betriebszeit für genügende natürliche oder künstliche Beleuchtung zu sorgen. Räume, in welchen sich explosive oder brennbare Gase befinden oder durch ungenügenden Abzug ansammeln können, dürfen nur von außen beleuchtet werden.

Findet Gasfabrikation als Nebenbetrieb statt, und befinden sich in der Gasfabrik Verkehrsräume, in denen eine erhebliche Ansammlung von Leuchtgas stattfinden kann, so darf die Erleuchtung derartiger Räume nur mittelst Davy'scher oder anderer die gleiche Sicherheit bietenden Lampen oder aber durch außerhalb des Raumes angebrachte Laternen erfolgen. Das Tabakrauchen in solchen Räumen, sowie das Betreten derselben mit offenem Licht ist verboten. In Gasfabriken darf das Retortenhaus nicht in direkter Verbindung mit den Reinigungsräumen stehen.

Die Arbeitsräume und Betriebsstätten müssen im Interesse der Verhütung von Unfällen nach Möglichkeit so eingerichtet, oder mit solchen Vorrichtungen versehen sein, daß die Luft von schädlichen Mengen gesundheitsgefährlicher Gase, Dämpfe oder Stoffe jeder Art freigehalten wird.

Inbesondere sind Maßregeln zur Verhütung und Entfernung des Staubes in tunlichster Vollkommenheit zu treffen.

Die Betriebs-Motoren sollen, wenn sie nicht direkt mit Arbeitsmaschinen verbunden sind, in besonderen Räumen aufgestellt, oder in den Arbeitsräumen so umschlossen, oder ihrer Lage nach so angeordnet sein, daß der Zutritt Unbefugter zu denselben verhindert ist.

Die Wasserräder und Turbinen, die Hauptwellen nebst den daran befindlichen Rädern sind, sofern selbige sich im Verkehrsbereich der Arbeiter befinden, mit schützenden Einfriedigungen zu umgeben, die zugehörigen Laufbrücken oder Stege sind an den offenen Stellen mit 12—15 cm

hohen Fußleisten und tunlichst mit Geländern zu versehen, sodaß, namentlich im Winter bei Eisbildung, die mit Bedienung der Motoren u. s. w. betrauten Personen vor dem Hineinfallen geschützt werden. Das Schutzzeug (die Schützen) muß möglichst dicht gehalten werden und einen leichten Gang haben.

Mit Bedienung der Maschinen sollen unter 16 Jahre alte männliche sowie weibliche Arbeiter überhaupt nicht betraut werden.

Schwungräder und deren Wellen, Kurbeln, Räder, Regulatoren und die durchgehenden Kolbenstangen müssen, wenn sie so gelegen sind, daß eine gefahrbringende Berührung mit denselben leicht eintreten kann, oder wenn diese Teile weniger als 1·8 m über dem Boden liegen, eingefriedigt oder mit Schutzvorrichtungen umgeben sein.

Beginn und Ende der Bewegung der Motoren müssen nach jedem Stockwerk, in dem sich Arbeitsmaschinen befinden, die an die Kraftmaschine angeschlossen sind, in passender und verständlicher Weise signalisiert werden.

Ebenso muß von jenen Räumen aus ein Signal zum Stillsetzen des betreffenden Motors gegeben werden können, wenn nicht Einrichtungen zur Stillsetzung der Transmission im betreffenden Raume vorhanden sind.

Der Maschinenwärter gibt zuerst das Signal, daß er anlassen will. Hierauf muß von den Betriebsräumen zurückgemeldet werden, daß alles in Ordnung ist.

Alle bewegten Teile von Transmissionen und Maschinen, welche so belegen sind, daß Menschen bei der Arbeit oder beim Verkehr in Berührung mit denselben geraten können, müssen, soweit sie nicht unmittelbar als Arbeitszeug dienen oder ihre fortwährende Handhabung oder Beobachtung nicht während der Arbeit notwendig ist, mit Schutzvorrichtungen umgeben sein.

Insonderheit müssen:

Transmissionen, welche niedriger als 1·8 m vom Fußboden liegen, sofern sie sich im Verkehrsbereiche der Arbeiter befinden, mit festem Kasten, Rinnen oder Hüllen versehen sein. (Zum Verkehrsbereich der Arbeiter gehören alle Stellen, die von den Arbeitern, insbesondere auch von den Maschinenwärtern und Transmissionsarbeitern während des Ganges der Maschine betreten werden.) Stehende Wellen sind mit festen Schutzkästen bis auf 1·2 m Höhe einzufriedigen; eine Ausnahme ist nur dann zulässig, wenn eine stehende Welle auf einem Gestelle sich befindet, welches bereits ausreichenden Schutz gewährt. Durch Stockwerke geführte stehende Wellen sind aber ausnahmslos, wie vorbemerkt, zu schützen.

Seil-, Riemen- und Kettentransmissionen eingefriedigt oder in solcher Höhe angebracht werden, daß durch ihren Schlag niemand verletzt werden kann; auch sollen sie tunlichst so geschützt sein, daß ein etwaiges Auflaufen der Seile, Riemen und Ketten niemanden in Gefahr bringen kann.

Schwungräder und tiefliegende Riemenscheiben, welche sich im Verkehrsbereiche der Arbeiter bewegen, möglichst auf ihrer ganzen Höhe, mindestens aber bis auf 1·2 m Höhe vom Fußboden eingefriedigt werden.

Gezahnte Betriebe im Verkehrsbereiche der Arbeiter verwahrt werden.

Alle hervorstehenden Teile, Stellschrauben, Nasenkeile etc., an Wellen, Riemenscheiben und Kuppelungen im Verkehrsbereiche der Arbeiter vermieden resp. eingekapselt werden.

Auf- und Ablegen von Riemen von mehr als 40 mm Breite ist ohne Benutzung von Riemenauflegern entweder nur während des Stillstandes oder bei langsamer Bewegung der Transmission gestattet. Auf den Wechsel des Riemens an Stufenscheiben bei Werkzeugmaschinen bezieht sich diese Vorschrift nicht.

Abgeworfene Riemen müssen entweder ganz entfernt oder so aufgehängt werden, daß sie nicht mit bewegten Transmissionsteilen in Berührung kommen.

Reparieren und Kürzen der Riemen darf nicht geschehen, so lange dieselben auf der Transmission schleifen. Die Riemenverbindung muß möglichst glatt und fest hergestellt werden.

Jugendlichen Arbeitern unter 16 Jahren sind Arbeiten an im Gang befindlichen Triebwerken, als Reinigen und Schmieren, sowie das Reparieren der Riemen auf das strengste zu untersagen.

Alle Maschinen, welche durch Riemen von größerer als 40 mm Breite angetrieben und während der Arbeitszeit stillgestellt werden, sind mit fester und loser Riemenscheibe oder sonstiger Ausrückvorrichtung zu versehen; die Führung des Riemens muß durch festangebrachte Riemen-ausrücker geschehen.

Bei allen Zahnrädern bis zu 1,5 m Höhe über Flur sind die gefährdenden Teile, namentlich der Zahnkranz, wenn nicht das Maschinengestell schon Schutz gewährt, an der Einlaufstelle und da, wo er an festen Teilen sich vorüberbewegt, möglichst zu verdecken. Schwungräder an Arbeitsmaschinen sind durch Schutzgitter oder Kasten derart zu sichern, daß eine Berührung der Arbeiter durch dieselben bei gewöhnlicher Vorsicht, insbesondere auch durch unfreiwilliges Hineinstürzen verhindert ist. Dasselbe hat mit tiefliegenden Riemenscheiben zu geschehen. Schwingende Teile von Arbeitsmaschinen, wie z. B. bei Steinsägen, sind entsprechend einzufriedigen.

Arbeitsmaschinen mit schnelllaufendem Schneidezeug sind nach Möglichkeit so einzurichten und zu betreiben, daß die Arbeiter von demselben nicht berührt und von fortgeschleuderten Splittern nicht getroffen werden.

Raschlaufende Schmirgelsteine müssen mittels seitlicher Scheiben und Preßmuttern auf der Achse befestigt, sowie mit einer starken Schutzhaube versehen sein, welche nur den zum Schleifen benutzten Teil des Umfanges frei läßt.

Die Schüttöffnungen und Trichter bei Steinbrechern und Walzwerken müssen durch Schutzbügel resp. Schutzbleche oder Drahtgeflechte so verwahrt sein, daß ein Hineinfallen der Arbeiter bei gewöhnlicher Vorsicht nicht möglich ist. Bei Kollergängen müssen die Steine und die Bahn der

Läufersteine so geschützt sein, daß ebenfalls ein Hineinstürzen bei gewöhnlicher Vorsicht unmöglich gemacht wird.

Die Zahnräder, Riemenscheiben und Riemen, sowie Schwungräder an diesen Maschinen müssen mit Schutzgittern oder Schutzkasten versehen sein. (Staubverhütungsapparate resp. Absaugevorrichtungen und Staubsammler.)

Für Kreissägen gelten die nachstehenden Unfallverhütungsvorschriften der Norddeutschen Holz-Berufsgenossenschaft:

Obligatorisch ist die sichere Verkleidung der Kreissäge unter dem Tisch. Als sicher wird erachtet, wo nicht die technische Einrichtung schon den genügenden Schutz gewährt, eine vollständige Umkleidung des Tisches oder eine Verkleidung der Kreissägen an beiden Seiten unter dem Tische bis 5 cm über den Zahnkranz des größten angewendeten Sägeblattes.

Die Platten dürfen dann keinen größeren Abstand wie 10 cm lichte Weite haben.

Obligatorisch ist die Einführung des Spaltkeils, sobald die vorzunehmende Arbeit die Verwendung des Spaltkeils überhaupt gestattet. Die Schneide und Höhe desselben muß sich dem Zahnkranz des Sägeblattes möglichst anschließen.

Bei Pendelsägen muß der obere Teil verdeckt sein.

Die Bahn der Fördergefäße muß, wenn irgend möglich, allseitig durch Mauerwerk, Bretterschalung oder Drahtgitter abgeschlossen sein.

An den Belade- resp. Entladeöffnungen, wo diese Verschalung nicht angebracht werden kann, sind, wenn irgend tunlich, selbsttätige Verschlüsse anzubringen, welche die Oeffnungen geschlossen halten, so lange der Fahrstuhl sich nicht an denselben befindet. Außerdem sind, wenn irgend tunlich, die Fördergefäße auf den oberen Ladestellen durch selbsttätige Aufsetzvorrichtungen (Haken etc.) zu sichern.

Wird ein Aufzug für mehrere Stockwerke gebraucht und kann er von den einzelnen Stockwerken aus in Bewegung gesetzt werden, so muß eine Verständigung der Arbeiter zwischen den verschiedenen Ladestellen stattfinden können.

Die Beförderung von Personen in Fabriken mittels Fahrstühlen und Transportgefäßen, welche nicht besonders zur Personenbeförderung bestimmt sind, ist verboten.

An sämtlichen Hebewerkzeugen, die nicht zum Heben ganz bestimmter Lasten an bestimmten Orten verwendet werden, ist die Tragfähigkeit in sichtbarer Weise zu vermerken.

Sämtliche Hebewerkzeuge und die zum Tragen oder Heben von Lasten bestimmten Seile, Gurten und Ketten müssen öfteren Revisionen unterworfen werden.

Hebezeuge mit Kurbelantrieb müssen, sofern sie nicht selbstsperrend sind, mit einer wirksamen Sperrvorrichtung versehen sein. Soll das Herablassen der Last durch das Eigengewicht der letzteren geschehen, so muß eine zuverlässige Bremse vorhanden sein. Auch muß, wo zweierlei Gang vorhanden ist, eine Falle angebracht sein, welche das Selbsteinrücken des Schnellganges verhindert. Die Zahnräder sind an der Einlaufstelle zu verdecken.

Insofern die Eigenart des Betriebes nicht die unterbrochene Bewegung der Maschine verlangt, ist das Reinigen, Schmieren und Reparieren der Maschinen und Transmissionen während der Bewegung derselben, ferner das Anlegen von Leitern an bewegte Wellen, soweit dabei nicht Vorrichtungen (z. B. Hakenleitern etc.) benutzt werden, welche die Gefahr für den Arbeiter bei Anwendung der nötigen Vorsicht ausschließen, zu verbieten.

Leitern müssen der Beschaffenheit des Fußbodens und des oberen Stützpunktes angemessen mit Spitzen bezw. Haken versehen sein, damit ein Ausrutschen möglichst vermieden wird. Die Leitern sollen in gutem Zustande erhalten werden.

Es ist darauf zu halten, daß enganliegende Kleider und zweckentsprechende, vom Betriebsunternehmer zu beschaffende Schutzbrillen überall da getragen werden, wo solches erfahrungsmäßig erforderlich ist.

An solchen Orten, wo der Verkehr oder die Arbeit mit Gefahren verbunden ist, welche durch Schutzvorrichtungen nicht beseitigt werden können, sind Anschläge in deutlicher Schrift anzubringen, welche auf die Gefahr hinweisen.

Arbeiter, welche an Epilepsie, Krämpfe und Ohnmachten leiden, sind vom Maschinen- und Fahrstuhlbetrieb auszuschließen. Betrunkene Arbeiter sind aus den Arbeitsräumen zu entfernen.

In jedem Betriebe ist für antiseptisches (fäulniswidriges) Verbandsmaterial Sorge zu tragen und durch Anschlag bekannt zu geben, wo dasselbe zu erhalten ist.

Der Arbeiter darf in den Dienst erst dann eingestellt werden, wenn er ein Exemplar dieser Unfallverhütungsvorschriften in Empfang genommen, sich von dem Inhalte derselben unterrichtet und darüber eine Bescheinigung ausgestellt hat.

Die auf Grund vorstehender Vorschriften etwa zu treffenden Einrichtungen sind innerhalb drei Monaten nach der Bekanntmachung derselben in den amtlichen Nachrichten des Reichsversicherungsamts, bezw. für neu hinzutretende Betriebe nach Zusendung der Vorschriften an den Betriebsunternehmer auszuführen.

Der Genossenschaftsvorstand kann Betriebsunternehmern auf ihren Antrag und nach gutachtlicher Äußerung des Sektionsvorstandes resp. des Vertrauensmannes die obige Frist verlängern oder dieselben von der Befolgung der Unfallverhütungsvorschriften teilweise entbinden, wenn der Betrieb durch dieselben wesentlich erschwert oder wirtschaftlich unmöglich gemacht werden würde. Die etwa hieraus erwachsenden Kosten für technische Gutachten etc. hat der Betriebsunternehmer zu tragen.

Genossenschafts-Mitglieder, welche vorstehenden Unfallverhütungsvorschriften zuwiderhandeln, können vom Genossenschaftsvorstande mit den im § 78 des Unfallversicherungsgesetzes angedrohten Strafen belegt werden.



## 10. Entwerfen und Betrieb von Zementfabriken.

Es kann nicht die Aufgabe eines Werkes wie des vorliegenden sein, eine Idealfabrik zu konstruieren: eine solche, wie überhaupt ein ganz bestimmter Typus, existiert nicht. Es sprechen hierbei zu viele Faktoren mit, und bei aller Einheitlichkeit der Grundzüge gibt es doch in der Praxis unzählige Varianten. Wesentlich in Betracht kommen dafür außer den Rohmaterialien die Leichtigkeit der Anfuhr von Koks, Kohlen, sowie der Rohstoffe, die Abfuhr des fertigen Produktes und dann noch die engeren Terrain- und Platzverhältnisse. Es mögen deshalb auch hier nur einige Fingerzeige gegeben werden, in welcher Weise die Fundamentallinien einzuhalten und innerhalb derselben die Anlagen so übersichtlich und einfach wie nur irgend möglich auszugestalten sind.

Zunächst also ist heutzutage eine Hauptbedingung der Transportweg! Die besten Rohmaterialien nützen nichts, wenn sie in weltverlassener Abgeschlossenheit, fern dem Eisenbahnnetz oder schiffbaren Strömen liegen. Eigene Schienengeleise bis ins Werk hinein oder eine kleine Hafenanlage dicht an demselben sind einfach Zwangsbedingung. Es hat eben keinen Zweck, Anlagen in Gegenden zu erbauen, welche keine Absatzgebiete für die betreffende Ware haben, also in unserem Falle fern von industriellen Gebieten liegen. Bei der mehr als genauen Kalkulation, wie sie unter den jetzigen wirtschaftlichen Verhältnissen geboten ist, fällt eine schon nur wenig höhere Fracht unter Umständen ganz erheblich ins Gewicht.

Etwas Anderes ist es, wenn für ein abseits gelegenes Industriezentrum eine Anlage für diesen speziellen Bezirk geschaffen werden soll. Hier darf, angesichts des Frachtvorsprunges, immerhin etwas teurer gearbeitet werden, um z. B. aus weniger guten Rohmaterialien doch einen guten Zement herzustellen. —

Gehen wir nochmals kurz den Betrieb einer Portlandzementfabrik durch, so ergibt sich der Gang des Materials resp. die Lage der einzelnen Fabrikationsabteilungen wie folgt (vergl. Fig. 178).

Maschine und Kessel plaziert man wenn möglich direkt hintereinander, die Maschinen selbst nebeneinander, um durch Umkuppelung sofort eine Vereinigung der Haupt-Triebwellen stattfinden lassen zu können. Mit dem einen Strang treibt man dann die Rohmehlmühle nebst Zubehör, Pressen etc., mit dem anderen die Zementmühle.

Dicht neben die Rohmehlmühle sind die Trockenvorrichtungen für das Rohmaterial, Kalkstein und Ton, dann die Pressen und event. noch die Trockenkanäle für die Zementrohziegel zu plazieren.

Der Gang des Materials ist dabei folgender (Fig. 178): Das aus den Gruben und Brüchen kommende Material wird gröblich vorzerkleinert, dann auf den Darren getrocknet und in bestimmten Mengenverhältnissen in die Schrot-Apparate eingestürzt. Von diesen gelangt es in kleinstückiger Form mittels eines Becherwerkes in die Rümpfe oder Trichter über den Feinmahl-Apparaten, wird auf den Mahlapparaten zu Mehl vermahlen, nochmals durch einen Mehlelevator hochgehoben und über die Siebe und Sichtmaschinen gelassen. Von hier aus fällt der Gries wieder auf die Mahlapparate zurück, während das fertige Rohmaterial in Mehlkammern oder direkt auf die Naß-

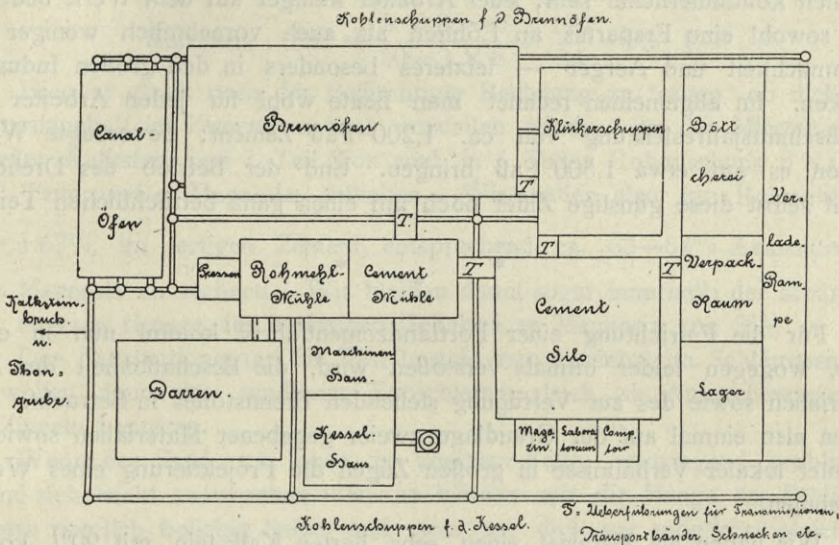


Fig. 178.

misch-Schnecke eingetragen wird und auf die Pressen gelangt. Die von diesen gefertigten Zementrohziegel werden event. erst in Kanalöfen getrocknet und dann am besten sofort — ohne doppeltes Stapeln! — in den Ofen eingesetzt.

Die Oefen liegen quer vor den Mühlen: während die Rohziegel von der Seite der Rohmehlmühle mittels Etagenwagen oder Steinelevatoren zu den Eingabeöffnungen der Oefen gelangen, werden die fertigen Klinker auf der anderen Seite in die Zementmühle oder erst in ein neben den Oefen gelegenes Klinkerlager befördert.

In der Zementmühle werden die Klinker vorgebrochen, durch ein Becherwerk in die Mahlrümpfe gehoben, in den Feinmahlapparaten zu Mehl vermahlen und dieses durch ein Mehl-Becherwerk auf die Siebe geschafft. Der Gries fällt auch hier auf die Mahlapparate zurück, das Feinmehl, der

fertige Zement, wird durch ein Transportband in die Silos befördert, welche neben der Zementmühle liegen. Es sind das große, kastenartige Räume, in welche der Zement von oben her eingestürzt wird, und in welchen er dann, am besten wenigstens vier Wochen, ablagert, um schließlich unten verpackt zu werden. — An das Silo hat sich also der Packraum, der Stapelraum und die Verladebühne anzufügen.

Die Verpackung geschieht entweder in Fässern oder Säcken, welche heute vielfach beide ganz oder wenigstens teilweise fertig geschnitten (Fässer) gekauft werden. Manchmal werden die Fässer auch wohl noch vollständig selbst angefertigt, anderenfalls kauft man Dauben, Böden und Reifen und stellt nur die Fässer selbst zusammen.

Der ganze Betrieb soll tunlichst ein weitgehendst automatischer und natürlich kontinuierlicher sein; jeder Arbeiter weniger auf dem Werk bedeutet nicht sowohl eine Ersparnis an Löhnen als auch vornehmlich weniger Unannehmlichkeit und Aerger — letzteres besonders in den großen Industriebezirken. Im allgemeinen rechnet man heute wohl für jeden Arbeiter eine Durchschnittsjahresleistung von ca. 1,200 Faß Zement; bevorzugte Werke werden es auf etwa 1,500 Faß bringen. Und der Betrieb des Drehofens erhöht selbst diese günstige Ziffer noch um einen ganz beträchtlichen Teil.

\* \* \*

Für die Einrichtung einer Portlandzementfabrik kommt nun in erster Linie, wogegen leider oftmals verstoßen wird, die Beschaffenheit der Rohmaterialien sowie des zur Verfügung stehenden Brennstoffes in Betracht. Wir wollen also einmal auf der Grundlage zweier gegebener Materialien sowie bestimmter lokaler Verhältnisse in großen Zügen die Projektierung eines Werkes vornehmen.

Wir haben als Material einen sehr harten Kalkstein mit 90% kohlen-saurem Kalk und etwa 8% Gesamtsilikat (Ton) sowie einen Ton von folgender chemischer Zusammensetzung:

Sand . . . . .	20%
Kieselsäure . . . . .	54 „
Tonerde . . . . .	12 „
Eisenoxyd . . . . .	2 „
Kalk . . . . .	0 „
Magnesia . . . . .	8 „

Das Tonmaterial ist danach in verschiedener Hinsicht wenig günstig. Es enthält viel Sand, dazu überreichlich Kieselsäure gegenüber nur 2% Eisen-oxyd (Flußmittel) und 8% Magnesia.

Es heißt also zunächst, den Ton zu schlämmen und damit, weil andererseits sehr harter Kalkstein vorliegt, das Halbnaßverfahren ein-zurichten.

Nach Abschlämmen des Sandes und unter der Voraussetzung, daß dies nahezu vollständig gelingt, hat dann der Ton folgende chemische Zusammensetzung:

Kieselsäure . . . . .	67.5%
Tonerde . . . . .	15.0 „
Eisenoxyd . . . . .	2.5 „
Kalk . . . . .	0.0 „
Magnesia . . . . .	10.0 „

Wie stellt sich nun das Mischungsverhältnis dieses Tones zum Kalkstein?

Angesichts der ungünstigen Zusammensetzung des Tones und der Härte des Kalksteins kann man hier als Hydromodul nur ein mittleres, also etwa 2.0 ansetzen. Daraus berechnet sich die Rohmischung (vergl. S. 181) von

$$\text{Kalkstein} : \text{Ton} = \frac{2 \times 85 - 0}{50 - 2 \times 8} = \frac{170}{34} = 5 : 1.$$

Hier ist gleich noch der Befürchtung Rechnung zu tragen, ob nicht der Magnesiumgehalt im Zement zu hoch ausfallen würde. Bei der Mischung von 5 Teilen Kalkstein und 1 Teil Ton sind in 6 Teilen Rohmischung  $5 \times 0 + 1 \times 10$  Teilprocente Magnesia enthalten. Wir haben also im Rohmehl mit  $\frac{10}{6} = 1.67\%$ , im fertigen Zement, entsprechend ca. 63—64% Ausbeute, mit 2.5% Magnesia zu rechnen. Wir bleiben damit sogar innerhalb der schärferen resp. engeren Grenze des zulässigen Gehaltes an Magnesia von 3%. —

Der Fabrikationsgang für Ton besteht nun zunächst im Schlämmen, und wir wollen dann den sandfreien Tonschlamm gleich als Anmachewasser für das Ziegeln benutzen.

Wenn der Sand, wie etwa in unserem Falle, vorwiegend grobkörnig ist und sich leicht auswaschen läßt, so können wir die Menge des Schlammwassers ziemlich beliebig halten und zwar so, daß wir möglichst gleich die richtige Menge Ziegelwasser bekommen. Rechnen wir dazu den Wassergehalt des nassen Ziegels zu 20% und erwägen wir, daß der trockene Ziegel sich aus 5 Teilen Kalkstein und 1 Teil Ton zusammensetzt, so werden wir die folgende Zusammensetzung der Rohmasse bezw. des nassen Ziegels haben.

Kalkstein . . . . .	66 $\frac{2}{3}$ %
Ton . . . . .	13 $\frac{1}{3}$ „
Wasser . . . . .	20 „

Es stehen uns also auf 13 $\frac{1}{3}$  Teile Ton zum Schlämmen 20 Teile Wasser zur Verfügung: wir müssen also unsern Ton im Verhältnis 2 : 3, d. h. mit 60% Wasser schlämmen. Das dürfte bei gröberem, leicht auswaschbarem Sande gerade noch möglich sein.

Hätten wir es dagegen mit feinem, schwer resp. unvollständig auswaschbarem Sande zu tun, so müßten wir natürlich nasser schlämmen. Hierdurch wird dann die Wahl des Ofensystems mit beeinflußt. —

Schon der Wassergehalt der Rohmasse von 20% weist uns weiter auf

das Naß-Ziegeln, wozu freilich auch schon die äußerst spröde Natur des Rohmaterials genötigt hätte.

Ferner läßt das wenig plastische Material die Wahl des Etagenofens als nicht günstig erscheinen. Wir werden also den Schneider-Ofen oder aber den Drehofen zu wählen haben. Letzterer würde überhaupt vorzuziehen sein, wenn wir Feinsand im Ton hätten und darum sehr naß schlämmen müßten, d. h. wenn wir infolgedessen mit mehr Wasser zu arbeiten hätten als wir später bei der Mischung von Kalkstein und Tonschlamm gebrauchen könnten, um eine streichgerechte Masse zu erhalten.

Die Tonaufbereitung und damit Ziegelpresse, Ofensystem bzw. dazwischen geschaltet die Kanaltrocknerei der nassen Ziegel stehen damit fest. Es bleibt noch die Kalksteinaufbereitung und die Zementmüllerei.

Der harte Kalkstein verlangt zunächst naturgemäß einen Steinbrecher. Dann wird das vorgetrocknete Material in eine Trockentrommel gebracht und gelangt hiernach zur Vermahlung. Das Mahlsystem soll, da unser Werk etwas abseits gelegen ist, mit dem der Zementmühle möglichst einheitlich sein, um event. auch einmal mit der Rohmühle Zement mahlen zu können und umgekehrt. Wir werden also als Mahlsystem die Kombination Kugelmühle und Rohrmühle oder die Roulette wählen.

Damit sind die Grundlinien der Fabrikation sowie des Betriebes festgelegt.

Was brauchen wir nun für 200,000 Faß Jahresproduktion an Hauptapparaten (außer Maschine und Kessel)?

Für den Ton: ein Schlämbottich (halbtief) mit Labyrinth!

Für den Kalkstein ist zu erwägen, daß täglich (bei 22 Stunden-Betrieb) 668 Faß, stündlich also rund 30 Faß Zement zu fabrizieren sind. Nun braucht 1 Faß Zement rund 270 kg trockenes Rohmehl resp. in unserem Falle  $\frac{5}{6} \times 270 = 225$  kg Kalkstein. Für stündlich 30 Faß Zement sind also 6,750 kg Kalkstein zu trocknen und zu vermahlen. Das erstere leistet z. B. eine große Möller-Pfeifer-Trockentrommel. Und für die Rohmühle kommen wir mit 2 Systemen Kugelmühle und Rohrmühle aus, die dann ohne besondere Sichtmaschinen arbeiten.

Als Presse ist die Strangpresse bedingt. Nun wiegt ein Rohziegel trocken ca.  $3\frac{1}{2}$  kg. Und da stündlich (die Presse geht nur 20 Stunden) rund für 33 Faß Zement à 270 kg Rohmehl zu ziegeln ist, so müssen in dieser Zeit rund 9,000 kg Rohmehl verarbeitet bzw. 2,600 Ziegel hergestellt werden. Das leisten bequem zwei mittlere Schlickeysen'sche Pressen.

Die Anzahl der Trockenkanäle ist durch die Art des Ziegeln (Naßziegeln) gegeben: wir brauchen für 200,000 Faß Jahresproduktion genau 8 Einzelkanäle.

Nun zum Ofen: Das Brennjahr umfaßt im Gegensatz zu den 300 Arbeitstagen in der Mühle etc. etwa 330 Brenntage, so daß täglich 600 Faß Klinker gebrannt werden müssen. Da ein Schneider-Ofen bei Beschickung mit getrockneten Ziegeln im Durchschnitt zu 75 Faß Tagesproduktion zu rechnen ist, so benötigen wir 8 Einzelöfen, die wir je zu vier und vier zu zwei Systemen vereinigen und in zwei 50 m hohe Schornsteine von 2 m oberem, lichtem Durchmesser ableiten.

Die Zementmühle ist rasch erledigt; ein Steinbrecher und zwei Systeme Kugelmühle und Rohrmühle werden mit 668 Faß Klinker täglich bequem fertig.

\* \* \*

Wir haben soweit ermittelt, wie und mit welchen Einzeleinrichtungen wir einen normalen Portlandzement aus unseren Rohmaterialien fabrizieren können. Nun aber entstehen uns die beiden anderen Fragen: Haben wir genügenden Absatz? Und was kostet uns der Zement selbst?

Die erste Frage ist rasch beantwortet: Da wir in einem Industriebezirke liegen, so haben wir zunächst ein gutes lokales Absatzgebiet. Da freilich dieser Industriebezirk etwas abseits liegt, so können wir nur unter größeren Frachtespesen exportieren, sind dagegen andererseits auch wieder anderen importierenden Firmen gegenüber entsprechend im Vorteil. Wir müssen dazu jedenfalls noch erst die zweite Frage erledigen und eine ganz exakte Kalkulation der einzelnen Gesteungskosten aufstellen.

Zunächst Grund und Boden, soweit dessen Material für die Fabrikation von Zement ausgebeutet wird! Wir haben ein Gelände von 75 Morgen Fläche und 12 m abbauwürdiger Teufe zur Verfügung, die wir per Morgen mit 2,000 M. im ganzen also mit 150,000 M. bezahlt haben.

Das Gelände gibt uns insgesamt  $75 \times 2,500 \times 12 = 2,250,000$  cbm Material, also genug für 14 Millionen Faß Zement her. Das bedeutet, daß wir damit, bei 200,000 Faß Jahresproduktion, 70 Jahre ausreichen.

Nun aber muß die Kaufsumme für dieses Gelände, 150,000 M., jährlich (mit 4 %) verzinst werden. Es sind also jährlich 6,000 M. Zinsen aufzubringen, die, auf 200,000 Faß verteilt, jedes Faß mit 3 Pf. Bodenzins belasten.

Ferner muß die Kaufsumme innerhalb der 70 Jahre Ausbeutungsfrist abgeschrieben werden. Das sind jährlich etwas über 2,000 M., also eine Amortisationsquote für das Faß von 1 Pf.

Hierzu kommt noch der Lohn für die Arbeiten im Bruch. Auch dieser muß auf das Rohmaterial aufgeschlagen werden, da doch manche Fabriken ihr Material z. T. fertig gebrochen kaufen und anderenfalls ein Vergleich der Gesteungskosten unmöglich wäre.

Unser Rohmaterial besteht trocken aus 225 kg Kalkstein und 45 kg Ton (geschlämmt). Das Brechen des harten Kalksteins ist pro Zentner (= 50 kg) mit 3 Pf. anzusetzen, kostet also pro Faß  $13\frac{1}{2}$  Pf. Die 45 kg sandfreier Ton sind zunächst durch 25 % Zuschlag für den Sand auf 56 kg zu bringen. Das Graben dieser 56 kg sandigen Tones, unter gleichzeitiger Aussonderung der gröberer Steine, Geröll etc., soll mit  $1\frac{1}{2}$  Pf. gerechnet werden. —

Für die Kraftanlage des Werkes brauchen wir eine Dampfmaschine von 500 effekt. Pferdestärken und drei Kessel zu je 100 qm Heizfläche. Nun braucht eine gute Dreifachverbundmaschine mit Kondensation pro indizierte Stundenpferdestärke 5.5 kg, pro effektive 6.6 kg trocknen Dampf. Im 22 Stunden-Betriebe werden also für 500 effekt. P.S.  $22 \times 500 \times 6.6 = 72,600$  kg

Dampf benötigt. Das kostet bei gut 7-facher Verdampfungsfähigkeit der uns zu Gebote stehenden Kohle etwas über 10,000 kg Kohle resp. 154 M. Letztere verteilen sich wieder auf 668 Faß Zement und belasten jedes Faß für Kesselkohle mit 23 Pf.

Auch die Trockentrommel für Kalkstein verlangt ihren Kohlenanteil. Rechnen wir die Grubenfeuchtigkeit des Steines zu 6—7 %, so sind für 668 Faß Zement à 225 kg Kalkstein (= 150,000 kg) rund 10,000 kg Wasser zu verdampfen. Nehmen wir die Verdampfungsziffer der Trommel zu 7—7½ fach, so brauchen wir täglich 1,400 kg Kohle (= 28 Ztr. à 75 Pf.) bzw. 21 M. Das gibt pro Faß Zement etwa 3 Pf. an Trockenkohle für Kalkstein.

Ebenso erfordert das Trocknen der nassen Rohziegel einen entsprechenden Kohlenaufwand. Da wir mit 20 % Ziegelwasser arbeiten, = rund 70 kg Wasser pro Faß Zement, so sind hierfür, bei 5—5½ facher Verdampfung im Trockenkanal, 13—14 kg Kohle nötig, die uns etwa 20 Pf. kosten.

Schließlich der Brennofen. Hier müssen wir für das sehr schwer sinternde Material selbst im Schneider-Ofen für das Faß Zement 28—30 kg Koks rechnen, à 1·20 M. pro Zentner. Es kostet uns also jedes Faß an Brennmaterial 70 Pf.

Sodann kommen die Arbeitslöhne. Wir brauchen für unser Werk 150 bis 160 Arbeiter, die einen Durchschnittstageslohn von 3 M. verdienen. Die 450 bis 480 M. Arbeitslohn verteilen sich wieder auf 668 Faß in der Weise, daß pro Faß ein Betrag von 70 Pf. herauskommt.

Endlich sind noch für kleine Materialien (Schmieröl, Gips, Kiesabbrand etc.) sowie für Reparaturen pro Faß etwa 30 Pf. zu rechnen, ebenso für Fastage 100 Pf., für Handlungs-Unkosten 30 Pf. und für Abschreibungen auf das Werk (Maschinen, Oefen und Trocknereien 10 %, Gebäude 2 %) 35 Pf. —

Daraus ergibt sich folgende Aufstellung der Gestehungskosten:

Rohmaterial,	
Bodenzins	3 Pf.
Amortisation	1 „
Bruchlohn	15 „ . . . 19 Pf.,
Kesselkohle	23 „ ,
Trockenkohle	
Kalkstein	3 „
Ziegel	20 „ . . . 23 „ ,
Brennkohle	70 „ ,
Arbeitslohn	70 „ ,
Kleine Materialien und Reparaturen	30 „ ,
<hr/>	
Fabrikationskosten	235 Pf.,
Fastage	100 „ ,
Handlungs-Unkosten	30 „ ,
Abschreibungen	35 „ ,
<hr/>	
Demnach kostet 1 Faß Zement	400 Pf.

Wir sind also konkurrenzfähig; denn 4 M. Selbstkosten für 1 Faß Portlandzement sind ziemlich normal. Auch wird der Zement bei guter Feinmahlung, besonders des Kalksteines, leidlich ausfallen: ein Langsambinder von anfänglich mittlerer, mit der Zeit aber energisch und stetig wachsender Festigkeit.

Es kann also nunmehr die Projektierung der Einzelheiten vorgenommen und dann der Generalplan etc. der Behörde zur Genehmigung eingereicht werden.

Die Genehmigung ist laut § 16 der Gewerbeordnung für Deutschland zur Anlage von Zementfabriken, Kalkwerken, Gipsbrennereien etc. unbedingt notwendig. Ebenso auch später nach § 25 der D. R. G. O. die Vornahme von Umbauten, Vergrößerungen u. s. w.! Der Antrag auf Genehmigung des Projektes ist je nachdem den zuständigen Behörden, also etwa dem Landrat bezw. der Polizeibehörde des betreffenden Bezirkes zu unterbreiten.

Aus dem *Antrage* muß der *vollständige Name*, der *Stand* und der *Wohnort* des *Gewerbe-Unternehmers* (Bauherrn) ersichtlich sein. Dem *Antrage* sind in *drei Exemplaren* eine *Beschreibung*, eine *Situationszeichnung* und der *Bauplan* der Anlage beizufügen.

Aus diesen Vorlagen muß hervorgehen:

- 1) die *Größe des Grundstücks* (nach Hektar und Ar), auf welchem die Betriebsstätte errichtet werden soll, die *Bezeichnung*, welche dasselbe im Grundbuche oder im Kataster führt und der etwaige besondere Name;
- 2) die *gleichartige Bezeichnung* der Grundstücke, welche es *umgeben*, und die Namen ihrer Eigentümer;
- 3) die *Entfernung*, in welcher die zum Betriebe bestimmten Gebäude *von den Grenzen der benachbarten Grundstücke* und den darauf befindlichen *Gebäuden*, sowie von den nächsten öffentlichen *Wegen* liegen sollen;
- 4) die *Höhe und Bauart der benachbarten Gebäude*, sofern zu der Betriebsstätte Feuerungsanlagen gehören;
- 5) die *Lage, Ausdehnung* und *Bauart* der Betriebsstätte, die *Bestimmung* der einzelnen Räume und deren *Einrichtung* im allgemeinen;
- 6) der *Gegenstand* des Betriebes, die *Grundzüge* des Verfahrens und der anzuwendenden Apparate, die ungefähre Ausdehnung des Betriebes (Jahresleistung), die Arten der bei demselben entwickelten Gase und die Vorkehrungen, durch welche deren Entweichen verhindert werden soll, die Beschaffenheit der festen und flüssigen Abfallprodukte, sowie die Art ihrer Beseitigung, insbesondere wenn diese durch Ableitung in Wasserläufe erfolgen soll.

Für die erforderlichen *Zeichnungen* ist ein Maßstab zu wählen, welcher eine deutliche Anschauung gewährt; der Maßstab ist stets auf den Zeichnungen einzutragen, ebenso sind die Himmelsrichtungen anzugeben. Für die Zeich-



nungen ist haltbares Zeichenpapier, das auf Leinwand aufgezogen ist, oder durchsichtige Zeichenleinwand zu verwenden.

*Nivellements* und die dazu gehörigen *Situationspläne* sind von *vereideten Feldmessern* oder von *Baubeamten* zu fertigen.

Alle sonstigen Aufmessungen und Zeichnungen können von den mit der Ausführung des Werkes beauftragten Technikern ausgeführt werden.

Beschreibungen, Zeichnungen und *Nivellements* sind von dem Verfertiger (Techniker) und von dem Gewerbeunternehmer (Bauherrn) zu unterschreiben.

### Typische Anlagen.

Nachdem im Vorstehenden die Art und Weise klar gelegt ist, wie wir die Projektierung eines Werkes anzufassen haben, mögen im Nachfolgenden noch einige typische Beispiele von Zementfabriks-Anlagen näher besprochen werden.

Für die Reihenfolge dieser Pläne ist die Entwicklung des Ofensystems, als des wichtigsten Apparates im ganzen Werke, maßgebend gewesen. Wir gehen also vom ältesten Ofensystem, dem Ringofen aus, nehmen dann den Etagenofen, weiter den Schneiderofen und schließlich den Drehofen.

#### a. *Betrieb mit Ringöfen* (Tafel I).

Bei dieser Fabrik bilden Roh- und Zement-Mühle, da das Werk mit ca. 1 Million Faß Jahresproduktion eine sehr große Anlage bedeutet, für diese große Leistung sozusagen jede einen eigenen Betrieb für sich und sind daher räumlich und mit ihren Kraftstationen getrennt.

Zwischen den beiden Mühlenanlagen liegen die Schuppen für die Rohsteine (Sonntagsreserve), die Brennöfen und das Klinkerlager, sodaß die Materialien einen geraden Weg zurücklegen, ohne sich gegenseitig irgendwo zu begegnen und dadurch zu behindern. Die Fabrik gibt übrigens, wie auch Projekt c, in gewissen Einzelheiten die Besonderheit der Einrichtungen von Amme, Giesecke & Konegen (Braunschweig) wieder.

Die *Aufbereitung der Rohmaterialien* erfolgt in der Weise, daß das Material auf der schrägen Anfuhrbühne aus dem Bruche gleich bis zu 4 m über Terrain befördert und direkt in die hochgestellten Steinbrecher F ausgekippt wird. Von den Steinbrechern über Schurren auf Kollergänge G geführt, gelangt das nunmehr auf etwa Erbsengröße vorzerkleinerte Material durch schräggestellte Elevatoren in die Trockentrommeln H.

Das trockene Material wird durch Elevatoren gehoben und fällt in eiserne Rümpfe, welche über den Mahlstühlen (mit 1 m langen Walzen) angebracht sind. Die Anordnung ist durch das Einfügen einer Verbindungsschnecke so getroffen, daß von jeder Trockentrommel nach jedem Mahlstuhl hin gearbeitet werden kann. Man ist also nicht gezwungen, wenn z. B. bei den Trommeln Störungen eintreten, auch gleich die daran hängenden Feinhahllapparate ausrücken zu müssen.

Aus den Rümpfen den Mahlstühlen zugeführt, fällt der hier erzeugte

Gries direkt in die unter den Mahlstühlen I befindlichen Rohrmühlen, worin der Gries zu Rohmehl von der nötigen Feinheit vermahlen wird.

Der beim Mahlen und Trocknen entstandene Staub wird in Schlauchfiltern und Staubkammern aufgefangen und automatisch wieder in den Betrieb eingeführt.

Das Rohmehl wird durch Elevatoren in hochgelegene Silos gehoben, die einerseits zur Aufbewahrung, andererseits zum Mischen dienen, fällt von diesen in die Netzmischschnecken und von hier aus, mit ca. 8–10% Wasser angefeuchtet, über Schurren auf Dorstener Trockenpressen K. Die fertig gepreßten Steine gelangen entweder gleich in die Oefen O oder erst zur Stapelung in die Vorratsschuppen L.

Der Betrieb der ganzen Rohaufbereitung bis zu den Pressen ist durchaus automatisch. Die Materialien gehen in ununterbrochenem Strome vom

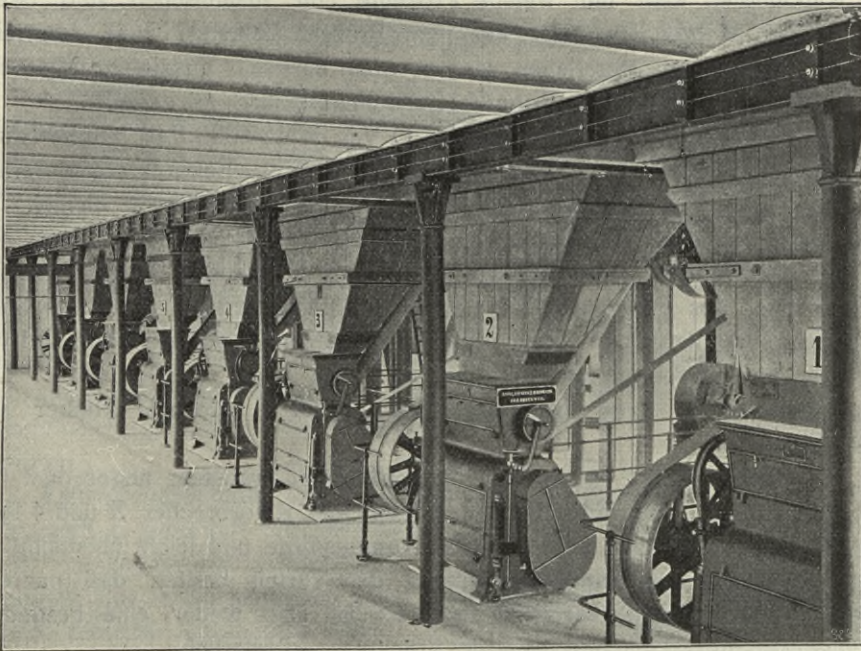


Fig. 179.

Steinbrecher bis zu den Trockenpressen, ohne daß auch nur die geringste Handarbeit darauf verwendet wird. Abgesehen von den Heizern an den Trockentrommeln sind nur einige wenige Aufsichtsleute (Schmierer etc.) erforderlich.

Die Aufbereitung erfolgt nach der schon wiederholt skizzierten Methode: Vorbrechen, Trocknen, Feinmahlen, Mischen, Pressen. Dabei ist scharf das Prinzip der Systemarbeit zur Geltung gebracht. Zu einem System gehören 1 Steinbrecher, 1 Kollergang, 1 Trockentrommel, 2 Mahlstühle, 2 Rohrmühlen, 1 Netzmischschnecke und 1 Vierstempelpresse. Die vorhandenen 6 Systeme

verarbeiten jährlich je für 160,000 Faß an Rohmaterial. Bei dieser System-Durchführung sind doch aber auch wiederum alle gleichartigen Apparate auf gemeinsamen Arbeitsbühnen vereinigt, so z. B. die Mahlstühle, wie aus Fig. 179 ersichtlich ist.

Das Zusammenarbeiten von ton- und kalkhaltigem Material gleich vom Steinbrecher aus bedingt naturgemäß zunächst eine gute Gleichmäßigkeit in der chemischen Zusammensetzung der Rohstoffe. Weiter aber wird man auf diese Weise vorteilhaft nur solche Materialien verarbeiten, von welchen entweder nahezu gleiche Mengen zusammenumischen sind, oder aber solche, von denen eines nur in ganz geringem Maße zum Ausgleich des anderen dient. Wir werden also in dieser Weise vorzüglich mergelige Materialien aufbereiten, also etwa zwei Mergel, von denen der eine um nahezu ebensoviele Prozente kalkiger ist als der andere mehr Ton enthält, oder aber einen Kalkmergel, dem nur wenige Prozente Ton zuzumischen sind bzw. einen tonigen Mergel, der nur ein paar Prozent Kalkstein zum Ausgleich braucht. Mit anderen Materialien wird es ohne eine sehr ausgiebige Mischerei nicht leicht sein, die richtige Rohmehl-Zusammensetzung zu erzielen. —

Als *Brennöfen* sind also Ringöfen O von je 125,000 Faß Jahresleistung vorgesehen, und zwar in der Ausführung nach Wilh. Eckardt (Köln-Berlin). Zum Aufbringen des Brennmaterials (Kohle mit event. einem kleinen Teil Koks) sowie zum Heraufschaffen von Leichtbrand und Rohsteinen, um von oben her nachzufüllen, sind Aufzüge M und N vorhanden. Der Transport der Rohsteine, des Brennmaterials und der Klinker erfolgt auf Rollbahnen. Der fertig gebrannte Klinker wird mittels Fahrstühlen P hochgehoben und von oben her im Klinkerschuppen V bis zu 4 m hoch aufgeschüttet. Der Klinkerraum ist so groß bemessen, daß er für 3 Monate Klinker aufnehmen kann. —

Die *Zementmühle* ist ebenfalls in getrennten Systemen angeordnet und weist deren 5 auf. Ein jedes System besteht aus 1 Vorbrecher X und 4 Roulettes W, bildet also eine sehr einfache, kompendiöse und leicht übersichtliche Anlage, welche in den Feinmahlapparaten den Vorteil besitzt, daß nur eine einzige Maschine hierfür verwendet ist. Es ist also weder eine besondere Sichtung noch irgendwelcher längerer Transport erforderlich.

Das bewirkt, was von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist, daß die Gebäude niedrig gehalten werden können und dadurch billig zu stehen kommen.

Bei etwa nötig werdenden Reparaturen kann jede Roulette unabhängig von dem übrigen Betriebe ausgeschaltet werden, sodaß Störungen gänzlich vermieden werden. —

Der fertig gemahlene Zement, in Sammelschnecken unter den Roulettes gesammelt, gelangt zunächst in Kammersilos T und von da zu den Misch- und Verpacksilos S. Der Rauminhalt sämtlicher Silos ist für 250,000 Faß bemessen. Ferner ist noch ein großer Raum zum Unterbringen fertig gepackter Fässer und Säcke vorgesehen.

Die Verladung erfolgt von der Verladerampe Q aus, welche direkt am Schienenstrang liegt. —

Zum Antriebe der Rohmühle und der Zementmühle dienen die beiden Dampfmaschinen C und Y mit ihren Kesselanlagen A und Z, zum Antriebe der Silos ein Elektromotor U. Letzterer erhält seine Kraft von der Rohmühlen-Maschine und zwar derart, daß im allgemeinen die Primärmaschine von der Haupttransmission angetrieben wird. Zu Reparaturzeiten oder bei Stillstand der Rohmühle kann die Primärmaschine auch durch eine besondere Dampfmaschine E bedient werden, die zugleich die Beleuchtung versorgt. Auf diese Weise ist es demnach möglich, auch bei Stillstand des ganzen Werkes die Anlage vollständig zu beleuchten.

\* \* \*

### b. Betrieb mit Etagenöfen (Tafel II).

Während die Anlage a speziell für Mergelmaterialien geeignet resp. eingerichtet ist, arbeitet das nachstehende Projekt b mit mehr oder weniger reinem Kalkstein von event. wechselnder chemischer Zusammensetzung der einzelnen Schichten und mit Ton, der hierzu möglichst sandfrei und ziemlich plastisch sein muß. Entsprechend diesen Materialverhältnissen ist von vornherein das Vorbrechen und Trocknen für Kalkstein und Ton gesondert gehalten. Das Zusammenarbeiten erfolgt vielmehr erst nach dem Trocknen bzw. vor dem Schroten und Feinmahlen. Im übrigen ist auch hier das Prinzip der rationellen Arbeitseinteilung genau innegehalten: Vorbrechen, Trocknen, Schroten, Feinmahlen, Mischen und Pressen. Die Anlage ist im wesentlichen im Stile der Einrichtungen von Friedr. Krupp-Grusonwerk gehalten.

Der grubenfeuchte Ton wird durch ein schräges Transportband auf ein Walzwerk C befördert und hier zu flachen Kuchen zerquetscht. Er fällt dann direkt in die darunter befindliche Trommel des Trockensystems D, verläßt dieselbe am anderen Ende in trocknen, nußgroßen Stücken und wird mittels Elevators in ein kleines Vorrats- bzw. Kühlsilo gehoben, welches nach unten durch einen sogenannten Tellerverschluß (Fig. 180) abgeschlossen ist. Vergl. hierzu Schnitt 3—4.

In ähnlicher Weise wird der Kalkstein, wie er aus dem Bruche kommt, in den Steinbrecher B ausgestürzt, durch einen Elevator in die frei gelagerte Trockentrommel D gehoben und hier vollkommen ausgetrocknet. Nach dem

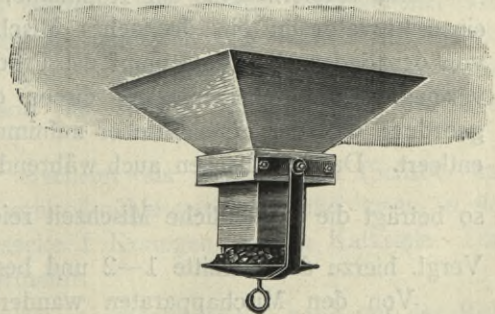


Fig. 180.

Verlassen der Trommel wird er mittels Elevators in das entsprechende andere Vorratssilo gehoben. Vergl. hierzu Schnitt 5—6.

Das Trocknen muß sehr sorgfältig und durchaus vollständig erfolgen, soll nicht anderenfalls später die Leistung der Rohmühle wesentlich leiden.

Unter den beiden Ton- und Kalksteinsilos befindet sich je eine Wage. Man wägt zunächst durch Oeffnen des Tellerverschlusses vom Kalkstein ein stets gleiches Quantum, z. B. 300 kg, in einen kleinen Muldenkipper ein, fährt diesen dann unter das Tonsilo und wägt hier noch den nötigen Anteil Ton, also etwa 100 kg, bezw. etwas mehr oder weniger hinzu.

Diese Art des Abwägens *trockner* Materialien gewährleistet von vornherein eine sehr gute Gleichmäßigkeit der chemischen Zusammensetzung des Rohmehls.

Der gefüllte Wagen wird nun zur Rohmühle gefahren und dort auskippt. Das Auskippen erfolgt, um den Elevator nicht auf einmal resp. plötzlich zu stark zu belasten, auf eine Rüttelaufgabevorrichtung, durch welche der Elevator nach und nach ganz gleichmäßig beschickt wird, bis die nächste Ladung herangefahren ist. —

Die Einrichtungen der Rohmühle G und der Zementmühle H sind in ihren Mahlapparaten etc. vollkommen übereinstimmend, sodaß man nach Belieben auch mal mit der Rohmühle Zement bezw. mit der Zementmühle Rohmaterial mahlen kann. Der einzige Unterschied besteht in der Größe der Mahlapparate. Es ist also für die angenommene Jahresleistung des Werkes von 200,000 Faß Zement die Krupp-Gruson'sche Griesmühle (Rohmühle) in der Rohmühle 7 m, in der Zementmühle 5 m lang. Dem entsprechend ist die Größe der Kugelmühle zu wählen.

Das Material fällt vom Elevator zunächst in ein Vorratssilo, aus welchem die beiden Systeme Kugelmühle und Rohmühle gespeist werden, wobei die Beschickung der Kugelmühle automatisch und gleichmäßig durch eine Stoßaufgabe oder Rüttelvorrichtung erfolgt. Aus der Kugelmühle fallen die Griesse direkt in die darunter befindliche Griesmühle. —

Das Mahlerzeugnis der Rohmühle, das Rohmehl, wird dann weiter durch einen Elevator in ein dreifaches Mischsystem von Mager-Raupach gehoben, von dem jeder einzelne Rumpf die Produktion von 8 Mahlstunden zu fassen vermag. Der Arbeitsvorgang dieses dreifachen Mischapparates ist so angeordnet, daß der erste Mischer aufnimmt, der zweite mischt und der dritte entleert. Da das Mischen auch während der Aufnahme und Entleerung erfolgt, so beträgt die tatsächliche Mischzeit reichlich  $\frac{8}{2} + 8 + \frac{8}{2} = 16$  Stunden.

Vergl. hierzu die Schnitte 1—2 und besonders auch 7—8. —

Von den Mischapparaten wandert das fertige Rohmehl zum Pressenraum M. Hier wird es, da Etagenöfen vorgesehen sind, mit ca. 20 % Wasser (auf die *feuchte* Rohmasse berechnet) angefeuchtet, fällt aus dem Netztrog zunächst auf den Sumpfboden, um durch Lagern die Feuchtigkeit gleichmäßig in sich zu verteilen und kommt dann in die Strangpressen. Wollte

man den Sumpfboden vermeiden, so könnte man auch die Rohmasse nochmals durch ein Walzwerk mit Walzen von stark ungleicher Umlaufgeschwindigkeit gehen lassen. Vergl. hierzu Schnitt 7—8.

Von der Presse gelangen die Rohsteine in die Trockenkanäle N und nach dem Passieren derselben sofort in die Brennöfen (Etagenöfen) P, wo sie gleich in den Vorwärmer eingeworfen werden. Der gebrannte Klinker wird vorerst im Klinkerlager O etwas abgelagert und wandert schließlich zur Zementmühle H. Vergl. hierzu Schnitt 9—10.

Die Zementmühle ist in Einrichtung und Betrieb genau das Seitenstück zur Rohmühle, ohne jedwede Einschaltung irgendwelchen Sichtapparates. Nur steht hier an Stelle der Rüttelaufgabe ein Steinbrecher. Vergl. hierzu Schnitt 9—10.

Wir können also gleich unsern fertig gemahlten Zement auf dem Transportband I in die Lagerräume K befördern, vor welchen, ebenso wie bei Projekt a, die Packsilos direkt vorgelagert sind. Der Transport vom Lagersilo zum Verpacksilo erfolgt durch Schnecken und Elevator. Vergl. hierzu Schnitt 1—2.

Der Zement ist damit zum Versand bereit, welcher von der Verlade-rampe L aus entweder per Bahn oder zu Schiff erfolgt. —

Die Werkstatt ist im Raum F untergebracht. Q ist der Kohlenlagerplatz, E sind die Gleise vom Kohlenplatz bzw. von der Faßfabrik.

\* \* \*

### c. *Betrieb mit Schneider-Oefen* (Tafel III).

Noch einheitlicher als das Projekt b ist die Anlage c, worauf besonders bei kleinen Fabriken gehalten werden sollte und worauf vornehmlich auch bei solchen Werken Wert zu legen ist, die sehr abgeschieden liegen und bei größeren Reparaturen nicht sofort einen Ersatz der beschädigten Maschinen beschaffen können.

Die Anlage, für 100,000 Faß Jahresproduktion mit vorgesehener Verdoppelung, ist zugleich darauf berechnet, möglichst alles und jedes Material vermahlen zu können, wengleich auch unter gewisser Einschränkung der Leistungsfähigkeit. Speziell auch soll das Werk gegebenenfalls Schlacken vermahlen können.

Unter diesem Gesichtspunkte erscheint als Mahlapparat (Schrot- und Feinmahlapparat) vorzüglich die Kugelrollmühle geeignet, und zwar in der Form der Roulette von Amme, Giesecke & Konegen, welche Kalkstein, Ton, Klinker und Schlacke gleich gut vermahlt.

Da zudem die Bedingung gestellt ist, wechselseitig auch mit der Rohmühle Zement und mit der Zementmühle Rohmehl zu mahlen, so ist die gesamte Müllerei in einem Raume untergebracht, worauf die Kleinheit der Anlage sowie die Einheitlichkeit der Mahlapparate an sich schon hinweist.

Natürlich muß die Entstäubung in diesem Falle eine besonders exakte sein und sind dazu die Schlauchfilter für die Entstäubung in reichlicher Anzahl aufgestellt.

Im übrigen sind die Einzelheiten der Anlage und des Betriebes die folgenden:

Das mit einer Hängebahn A ankommende Rohmaterial wird entweder erst auf der Bühne B gelagert oder gelangt sofort in die Vorzerkleinerung C, bestehend aus Steinbrecher und Kollergang.

Von hier aus werden die Schrote durch einen Elevator in den Trockenraum D gebracht und daselbst in einer Trockentrommel vollkommen getrocknet.

Aus der Trocknerei gelangen die getrockneten Schrote zu dem Mahlsystem E, vier Roulettes, wo sie direkt zu Feinmehl vermahlen werden.

Das fertige Rohmehl wird durch eine Schnecke zu dem Vorratsraum N geführt, dessen vordere Silos als Mischkammern für das Rohmehl ausgebildet sind. Nach erfolgtem Mischen geschieht (nach gehöriger Anfeuchtung) das Ziegeln der Rohmasse im Presseraum H auf einer Strangpresse (event. aber auch auf einer Trockenpresse). Ersteres ist das unbedingt zuverlässigere bezw. für alles und jedes Material geeignete.

Die Rohsteine werden weiter in den Trockenkanälen M getrocknet und mittels Aufzuges P (der auch die Kohlen fördert) sofort auf die Brennöfen (Schneideröfen) L gebracht, deren vier Einzelöfen vorgesehen sind und die hier auch jeder mit einem besonderen Schornstein aus Blech versehen sind.

Das zwischen Oefen und Mühle gelegene Klinkerlager K vermag für drei Monate Klinker aufzunehmen.

Nach kurzem Ablagern werden die Klinker zur Zementmühle F gebracht, hier durch einen Vorbrecher I vorzerkleinert und auf vier Roulettes fertig gemahlen. Die Lagerung des Zementes erfolgt im hinteren Teile des Lagerhauses N, während Verpacken und Verladen im vorgelagerten Raum O geschieht.

Der Antrieb G des Werkes ist elektrisch, die Kraftmaschine ein System von Wasserturbinen der Firma Amme, Giesecke & Konegen.

Die Einzelheiten der leicht übersichtlichen Anlage sind durch die vier Schnitte ohne weiteres klar ersichtlich gemacht.

\* \* \*

#### d. *Betrieb mit dem Drehofen* (Tafel IV und V).

Bei der Bedeutung, welche der Drehofen besonders auch für die Naßaufbereitung von Portlandzement hat, möge nachstehend das Projekt einer Fabrik mit Schlammverfahren vorgeführt werden. Und zwar soll hierbei unter der Voraussetzung ziemlich sandfreien Tones und mittelharter Kreide (Belgien, Schleswig-Holstein, Rügen etc.) die Dickschlammerei mit nachfolgender Naßmahlung eingerichtet werden (Tafel IV).

Kreide und Ton kommen auf einer Hängebahn oder Rollbahn entweder erst in den Lagerschuppen A oder werden gleich in die 4 Schlämbottiche (Harkenschlämten) B ausgestürzt. Von hier aus fließt der ca. 36—40 % Wasser haltende Schlamm zu zwei Naßrohmühlen, in denen die noch nicht genügend fein zerteilten Teilchen, speziell der Kreide (Kreidesand) vollkommen fein vermahlen werden. Vergl. Schnitt 7—8.

Neben den Naßrohmühlen ist noch ein dreifaches System von Homogenisierungsapparaten angelegt, in welchen, wie auch bei den Trockenmischern, eine innige Mischung des Schlammes erfolgt. Auch hier nimmt ein Apparat auf, der zweite mischt und der dritte gibt aus. Andernfalls wäre eine richtige Zusammensetzung des Schlammes gegenüber den verschiedenen spezifischen Gewichten von Kreide und Ton nicht einzuhalten. Vergl. Schnitt 9—10.

Von den Homogenisierungsapparaten gelangt der Schlamm in die 6 Drehöfen, welch' letztere die fertig gebrannten (erbsengroßen) Klinkerchen in die Klinkerhalle C abliefern. Vergl. Schnitt 9—10.

Die Kohlenmüllerei für den Ofenbetrieb (nebst Kohlenlager I) besteht in 2 Trockentrommeln K zum Trocknen der Kohlen und 6 Polysius'schen Unterläufermahlgängen H, welche für Kohlemahlen ganz besonders geeignet bzw. leistungsfähig sind. Vergl. Schnitt 3—4 und 9—10.

Der fertig gemahlene Kohlenstaub wird durch Schnecken und Elevatoren auf die verschiedenen Oefen verteilt und durch Düsen am Kopfe des Brennröhres in die Sinterzone eingeblasen. Vergl. Schnitt 1—2 und 9—10.

Vom Klinkerlager C gelangt der abgelagerte Klinker zur Zementmühle D, die mit 4 Systemen Kugelmühle und Rohrmühle, ebenfalls ohne jegliche Sondersichtung, ausgerüstet ist. Vergl. Schnitt 1—2 und 7—8.

Durch Schnecken und Elevatoren wird schließlich der fertige Zement in die Kammersilos R befördert. Auch hier wird das Verpacken im Packraum O von besonderen kleinen Packsilos P aus besorgt. Vergl. Schnitt 3—4 und 5—6.

An den Packraum schließt sich gleich die Verladerampe M mit der Gleisanlage N an. Vergl. Schnitt 5—6.

Als Kraftstation dienen zwei große Zweifachverbundmaschinen mit Kondensation E. Ferner ist für elektrisches Licht und Kraft noch eine kleinere Maschine vorgesehen. Den nötigen Dampf erzeugen 4 Cornwallkessel F, deren Abgase in den Schornstein G geleitet werden. Die Kohlen lagern bei L. Vergl. Schnitt 1—2, 3—4 und 7—8.

Die Leistungsfähigkeit des Werkes beträgt in 300 Maschinen- und 330 Brenntagen rund 400,000 Faß Portlandzement.

Die gesamte Anlage weist einen geraden Weg für den Gang des Materials auf und zeigt in ihrem Aufbau und Einzelheiten, ebenso wie auch das nachstehende Projekt, gewisse typische Eigenheiten und charakteristische Anordnungen von Polysius-Dessau.



Diese zweite Anlage mit Drehöfen ist wie die ersten drei Projekte (a—c) für Trockenverfahren eingerichtet. Als Material für die als Mahlapparate vorgesehenen Polysius'schen Unterläufermahlgänge sind besonders Mergel, also nicht zu hartes Material, geeignet.

Das Material kommt, event. durch den Lagerschuppen A, um daselbst entsprechend verteilt zu werden, zur Vorzerkleinerung durch Steinbrecher B und Trocknung durch die Trockentrommeln C. Aus der Trommel fällt es auf eine Förderrinne, die es zur weiteren Verschrotung auf Kollergänge bringt. Das geschrotete Material wird durch Elevatoren in die Mahrümpfe emporgehoben und fällt von diesen in zwei Systeme O von je 4 Unterläufermahlgängen. Das Mahlgut von den Gängen wandert wieder nach oben zu den Sichern auf dem Mühlenboden, wo der grobe Gries ausgesiebt wird, der dann wieder auf die Gänge zurückgeht. Vergl. Schnitt 1—2 sowie auch 3—4 und 7—8 bzw. 9—10.

Das Feinmehl wird aus den Sichern ausgetragen, kommt zunächst in kleine Vorratssilos, die event. gleich auch zum Ausgleichen dienen, und von diesen mittels Schnecken zu den Drehöfen. Die Entstäubung der Mahlgänge wird durch kräftige Exhaustoren besorgt. Vergl. Schnitt 1—2 und 3—4.

Am Eintrittsende der Brennröhre (für die Rohmasse) werden durch eine Rohrleitung die noch sehr heißen Brenngase abgesogen und zwecks weiterer Ausnützung der Wärme in die Trockentrommeln für das Rohmaterial geleitet, sodaß für letztere eine besondere Feuerungsanlage überflüssig ist.

In den Oefen erfolgt dann die Sinterung der Rohmasse durch den am anderen Ende des Rohres eingeblasenen Kohlenstaub. Dieser wird wiederum nach Trocknung in einer Trommel E (und zwar ebenfalls durch abgehende Ofenhitze) auf 4 Polysius'schen Unterläufern D erzeugt und durch Elevatoren und Schnecken auf die einzelnen Oefen verteilt. Schnitt 3—4 und 7—8.

Der in den Oefen erbrannte Klinker lagert zunächst in der Klinkerhalle G ab und wandert dann zur Zementmühle H. Deren letztere Ausrüstung ist dieselbe wie beim Projekt mit Naßverfahren: Je zwei Doppelsysteme Kugelmühle und Rohrmühle ohne Zwischensichtung. Der fertige Zement endlich gelangt wieder in die Kammersilos I, wo er abgelagert, und von denen aus er in die Packsilos K befördert wird, um schließlich vom Verladerraum L bzw. der Rampe M aus auf den Anschlußgleisen N zum Versand zu kommen. Vergl. Schnitt 5—6, 7—8 und 9—10.

Als Kraftmaschine dienen ebenfalls zwei Zweifachverbundmaschinen mit Kondensation, die zusammen mit der Maschine für elektrisches Licht und Kraft im Maschinenraum P untergebracht sind, während die 4 Cornwallkessel im Kesselhause Q mit dem Schornstein R direkt daneben stehen. Vergl. Schnitt 3—4.

Der Kohlenplatz S für die Kesselkohle ist neben dem Kesselhause, derjenige F für die Brennkohle neben der Kohlen-Trockentrommel angelegt.

Leistung dieselbe wie beim vorstehenden Projekt: 400,000 Faß Zement in 300 Maschinen- bzw. 330 Brenntagen.

Wie bereits wiederholt betont wurde, ist ganz allgemein besonders auch darauf zu achten, daß einerseits die einzelnen Materialien auf ihrem Wege durch den Fabrikationsprozeß sich nicht unnötig begegnen und damit gegenseitig behindern und daß andererseits diese Wege auf das allermindeste Maß abgekürzt werden. Das gilt sowohl von der horizontalen wie auch von der vertikalen Bewegung. Es sollen deshalb Schnecken und Elevatoren nach Möglichkeit eingeschränkt, oder doch wenigstens durch solche Fördermittel ersetzt werden, die nicht stäuben, also etwa durch Aufzüge und Transportbänder. Gegebenenfalls, also z. B. wohl meistens in der Zementmühle, wird man auch zweierlei Transporte zu einem einzigen zusammenziehen können, indem man den Auslauf der Kugelmühle direkt über dem Einlauf der Rohrmühle anbringt. Dann braucht man nur den Aufzug für den Klinkertransport zur Kugelmühle etwas zu verlängern und spart dadurch die Verbindungsschnecke zwischen Kugel- und Rohrmühle. Daß schließlich alle Transporte weitgehendst automatisch zu bewirken sind, ist wohl unbedingte Selbstverständlichkeit. —

Und dann sei nochmals dringendst darauf hingewiesen, besonders im Prozesse der Rohaufbereitung tunlichst alles und jedes Separieren zu vermeiden. Es ist dieses ja ein Widerspruch in sich selbst, zwei Stoffe, die man möglichst innig mischen will und soll, an dieser oder jener Stelle des Fabrikationsbetriebes erst wieder zu trennen.

## 11. Die Eigenschaften des Portlandzementes und ihre Prüfungs-Methoden.

Die chemische Zusammensetzung des Portlandzementes ist bereits ausführlich erörtert worden. Es wäre hier nur, soweit es sich um die Eigenschaften desselben handelt, noch nachzutragen, besonders als Charakteristikum anderen hydraulischen Bindemitteln gegenüber, daß sachgemäß aufbereiteter Portlandzement keinen freien resp. disponiblen Aetzkalk enthalten soll. In welcher Weise sonst die einzelnen Bestandteile desselben sich beim Brennen gruppieren und in Verbindung zu einander treten, ebenso wie später beim Anmachen mit Wasser und Verarbeiten zu Mörtel, ist noch nicht mit völliger Sicherheit festgestellt.<sup>1)</sup>

Für die Prüfung des Portlandzementes ist maßgebend, daß die hervortretenden, charakteristischen Eigenschaften desselben, besonders auch für den Konsumenten, der doch in seinen Anschauungen in erster Linie zu berücksichtigen ist, rein äußere, mechanische sind, nicht innere chemische.<sup>2)</sup> Und demgemäß ist denn auch bei der Bewertung des Portlandzementes als Mörtelbildner zu verfahren. Nicht analytische Befunde, obwohl die chemische Untersuchung besonders bei fehlerhaften Zementen stets nebenher gehen soll, sondern die mechanischen Leistungen als Mörtelbildner sind in Betracht zu ziehen, sobald man über die Güte resp. Klassifizierung eines Mörtelmaterials als Portlandzement zu entscheiden hat.

### Struktur und Farbe.

Der Portlandzement ist, selbst bei feinsten Mahlung, ein scharfes, griffiges Pulver, das mit Lignoïn oder absolutem Alkohol benetzt, unter dem Mikroskop sich in kleinen unregelmäßigen, scharfkantigen und splitterigen Plättchen und Körnchen darstellt, die wie zerrissen oder zerpfückt aussehen, ohne irgendwelche charakteristische Struktur zu zeigen.

<sup>1)</sup> Die verschiedenen Ansichten darüber, die aus dem Rahmen dieses Buches fallen, lese man in Feichtinger's „Chemische Technologie der Mörtel-Materialien“ nach.

<sup>2)</sup> Es kann und soll hier ganz außer acht bleiben, ob z. B. der Abbinde- und Erhärtungsvorgang ein rein chemischer oder rein physikalischer, oder ob er ein chemisch-physikalischer ist.

Die graue Steinfarbe des Produktes, die von lichtgrau bis schwärzlichgrün zieht, löst sich unter dem Mikroskop in eine Reihe verschiedener Einzel Farben und Nuancen auf: die Hauptgrundfarbe ist weiß, entsprechend der weißen Farbe der vorzugsweise entstandenen Verbindungen von Kalksilikat und Aluminat. Je nach dem Grade des Brennens und der chemischen Zusammensetzung ist deren weiße Farbe aber verdeckt durch schwarzbraunen Eisenoxydkalk, grünliche Manganate und gelbrot bis grün gefärbte Schwefelverbindungen.

Weiter bewirkt ein geringer Zusatz von Flußspat eine schmutzig graubraune Verfärbung der Klinker und des daraus ermahlenden Zementmehls. Ebenso lassen Asche sowie unverbrannte Kohlen- und Koksstückchen die ursprüngliche Farbe dunkler erscheinen. Uebrigens wird die Farbe auch wohl künstlich verändert, indem dem Zementpulver Farbstoffe, u. a. z. B. Manganperoxyd (Braunstein), zugesetzt werden.

Waren die Klinker über die Sinterung hinaus bis fast zur vollständigen Schmelze erhitzt gewesen, so zeigen sie eine dunkel olivbraune Färbung und ergeben gepulvert ein ziemlich helles, bräunlich gelbes Pulver, welches eher einem Romanzement gleichen würde, wenn es nicht dafür zu schwer wäre.

---

#### Spezifisches und Maß-Gewicht.

Das Eigengewicht des Portlandzementes ist seiner Darstellungsweise entsprechend ein überaus hohes. Es ist das ein äußerst wertvolles Moment, da gemäß der Dichte dieses Mörtelbildners auch späterhin der daraus hergestellte Mörtel ein sehr dichter und darum harter, fester und widerstandsfähiger wird. Bestimmend für die Höhe dieses Eigengewichtes ist in erster Reihe der Grad des Brennens, dem das betreffende Produkt unterworfen wurde. Während im Durchschnitt das spezifische Gewicht bei 3·1—3·2 liegt, kann es, besonders z. B. bei geschmolzenem Zement, noch über 3·2 ansteigen, andererseits aber auch wieder bis auf 2·9 heruntergehen. Vornehmlich durch längeres Lagern und dadurch bedingte stärkere Aufnahme von Wasser und Kohlensäure kann das spezifische Gewicht erheblich heruntergedrückt werden. Es ist daher bei exakten Bestimmungen durchaus erforderlich, den Zement stets vorher auszuglühen.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes erfolgt mittels besonderer kleiner Apparate, von denen das altbekannte Pyknometer, das Volumeter von Dr. Michaëlis, das Volumenometer von Dr. Schumann, von Prof. Seger, von F. M. Meyer, sowie der Apparat von Dr. Erdmenger und Dr. Mann sich besonders eingeführt haben.

Sämtliche Apparate arbeiten darin konform, daß sie die Verdrängung einer gewogenen oder gemessenen Menge Flüssigkeit durch ein bestimmtes Quantum der zu prüfenden Substanz an der Hand der entsprechenden Gewichts- resp. Volumveränderung feststellen. Als Flüssigkeiten dafür dienen

gewöhnlich Benzin, Ligroin, absoluter resp. denaturierter Alkohol und Terpentin, letzteres freilich wegen seiner Viscosität nicht ganz so gut wie die drei anderen.

1. Das Pyknometer ist ein kleiner, vor der Lampe geblasener Glaskolben von einem ganz bestimmten, bei irgend einer Temperatur, meist  $15^{\circ}$  C. austarierten Fassungsvermögen. Auf die Oeffnung des Halses ist ein Stopfen aufgesetzt, der von einer feinen Kapillarröhre durchbohrt ist und eine Teilung in Millimeter trägt. Das Ausgangsende der Kapillare kann zweckmäßig mit einem Glasplättchen bedeckt werden, um jede Verdunstung zu verhindern. Die übliche Größe eines Pyknometers faßt etwa 20 bis 30 ccm.

Der Versuch wird in folgender Weise ausgeführt. Man bestimmt zunächst das Gewicht des gut ausgetrockneten Pyknometers, füllt es dann bis zur Marke mit destilliertem Wasser, wägt zurück und ermittelt auf diese Weise den ganz genauen Fassungsraum des Apparates. Sodann erfolgt eine neue Wägung, bei welcher der Apparat nunmehr mit der Verdrängungsflüssigkeit, etwa absolutem Alkohol, gefüllt ist. Der Quotient aus dem Nettogewichte des Alkohols und dem des destillierten Wassers gibt das spezifische Gewicht des Alkohols<sup>1)</sup> an. Hat man bei zwei bis drei Vorversuchen genügend übereinstimmende Resultate erhalten, so schreitet man nunmehr zur eigentlichen Prüfung des Materials selbst.

Von der zu untersuchenden, event. also ausgeglühten Substanz werden 3—4 g in den Apparat eingewogen, derselbe bis zu etwa neun Zehntel mit Alkohol gefüllt, unter eine Luftpumpe gebracht und nun sorgfältig ausgepumpt. Diese Vorsicht ist unbedingt erforderlich, sofern man auf wissenschaftlich exakte Resultate Anspruch macht. Fast alle Substanzen halten äußerst hartnäckig Luft fest, so daß unter Umständen eine mehrstündige Behandlung im stets erneuerten Vakuum nötig ist, um wirklich eine vollkommene Entlüftung der Substanz zu erreichen. Dann füllt man bis zur Marke auf und wägt, pumpt nochmals und wägt wieder. Erst wenn die beiden letzten Wägungen sich entsprechen, kann man den Versuch als beendet ansehen.

Man notiert folgende vier Wägungen:

- a) Apparat allein,
- b) Apparat + Alkohol,
- c) Apparat + Substanz,
- d) Apparat + Substanz + Alkohol.

Diese vier Wägungen ergeben einmal das Gewicht an benutzter Substanz und zweitens, wieviel Flüssigkeit (Alkohol) dieselbe verdrängt hat. Aus deren spezifischem Gewicht gegenüber Wasser, welches man durch die Vorversuche festgestellt hat, rechnet man dieselbe auf Wasser um und bestimmt daraus dann schließlich das spezifische Gewicht der Substanz selbst.

Die Methode ergibt, besonders bei Zuhilfenahme der Luftpumpe, bis zur 3. Dezimale scharfe Resultate.

---

<sup>1)</sup> Wasser und Alkohol sind vorher genau auf die Temperatur zu bringen, für welche der Apparat tariert ist.

Zumeist ist nun aber eine derartig peinliche Genauigkeit nicht erforderlich und man begnügt sich einfach damit, das Volumen zu ermitteln, welches eine bestimmte Menge Substanz einnimmt, indem man die Volumenzunahme der Flüssigkeit, in welche die Substanz eingebracht wird, an einer graduierten Röhre abliest.

Hierzu werden gleich gut die anderen vorstehend aufgeführten Apparate benutzt.

2. Das Schumann'sche Volumenometer (Fig. 181) besteht aus einem Glasgefäß von ca. 120 ccm Inhalt und einer entsprechenden etwa 45 ccm fassenden Röhre, die genau in den Hals des ersteren eingeschliffen und mit einer Teilung in  $\frac{1}{10}$  ccm versehen ist.

Zum Gebrauch füllt man den Apparat mit Terpentinöl und liest den Inhalt an der Röhre ab, also etwa 1·2 ccm über dem Nullpunkt. Dann gibt man durch einen Trichter genau 100 g Zement vorsichtig und langsam, damit keine Verstopfung eintritt, unter leisem Anklopfen an die Röhre oder wohl auch Aufstoßen des ganzen Apparates auf die mit einem Tuch bedeckte Tischplatte, in die Röhre und die Flüssigkeit ein. Durch den einsinkenden Zement, der dadurch zugleich entluftet wird, wird das Gesamtvolumen vermehrt und die Flüssigkeit in der Röhre aufsteigen. Etwa noch anhaftende Luft gleicht sich mit der etwas verdunsteten Flüssigkeit ziemlich aus.

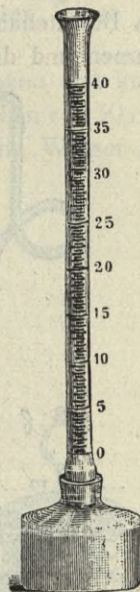


Fig. 181.

Nach Beendigung des Einfüllens bedeckt man die Oeffnung der Röhre gut mit einem Korkstopfen, läßt etwas absitzen und liest nach 3—4 Minuten das erhaltene Niveau ab, wobei man stets denselben Meniscus nehmen soll, also z. B. 32·6. Der Quotient aus dem angewendeten Gewicht, 100 g Zement, und der Differenz der beiden Ablesungen ergibt das spezifische Gewicht des Zementes:

$$\frac{100}{32\cdot6 - 1\cdot2} = 3\cdot184.$$

Die Resultate mit diesem einfachen Apparat sind bei einiger Aufmerksamkeit überraschend genau. Und die mannigfachen Abänderungen z. B. von Suchier und von P. Beck sind durchaus keine Verbesserungen.

Genau in der gleichen Weise arbeitet das Volumeter von Dr. Michaëlis.

Es ist bei diesen Versuchen streng darauf zu achten, daß während der ganzen Prüfungsdauer stets die gleiche Temperatur, etwa 15—18° C., herrscht, sowie ferner, daß auch Substanz und Flüssigkeit vor Beginn des Versuches möglichst genau auf die Lufttemperatur im Versuchsraume gebracht werden.

3. Der Seger'sche Apparat (Fig. 182) besteht im wesentlichen aus einer Flasche von ca. 3 Liter Inhalt, welche seitlich mit einem graduierten Rohr in Verbindung steht. Auf dem Deckel der Flasche ist ein Wasserstandsrohr angebracht, dessen Marke genau mit dem Nullpunkte der Bürette in einer

Ebene liegt. Zur spezifischen Gewichtsbestimmung wird der Apparat bis über den Nullpunkt gefüllt und mit Hülfe des unten angebrachten kleinen Hahnes e soviel von der Meßflüssigkeit herausgelassen, bis der Flüssigkeitsspiegel im Standrohr und der Bürette auf Null steht. Sodann saugt man an der Bürette die Flüssigkeit aus der Flasche hoch, bis die Kugel zu etwa  $\frac{3}{4}$  angefüllt ist, dreht den Bürettehahn d ab und kann dann ohne jede Beschwerde den Deckel abnehmen und die Substanz, deren Volumen bestimmt wird, in die Flasche eingeben. Nach Aufsetzen des Deckels öffnet man dann den Bürettehahn d und läßt solange ausfließen, bis der Flüssigkeitsspiegel im Standrohr die Nullmarke resp. die Marke m erreicht hat. Das Volumen wird dann an der Bürette abgelesen.

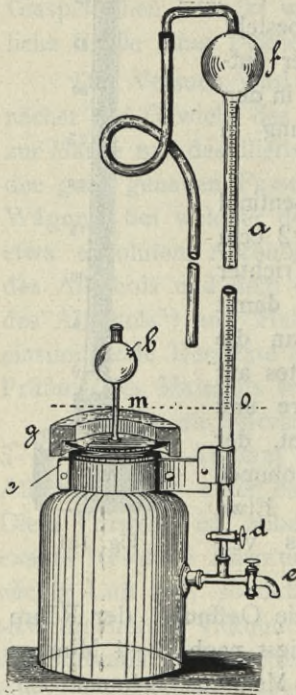


Fig. 182.

Dieser Seger-Apparat eignet sich auch vorzüglich zur Bestimmung der Dichte von Festigkeits-Probekörpern und anderem stückigen Material.

4. Ein recht gutes, zuverlässiges Resultat ergebendes Meßinstrument ist auch das von Dr. Erdmenger und Dr. Mann.

Dieser Apparat (Fig. 183) besteht nach einer Mitteilung von Dr. Mann<sup>1)</sup> aus einer in Zehntelgrade getheilten Röhre von 50 ccm Inhalt, die oben und unten in einen Mantel (Kühler) eingeschmolzen ist. Das obere offene Ende der Röhre ist zur Abhaltung von Staub mit einer Glaskappe lose bedeckt. Am unteren Ende geht die Röhre in einen senkrecht stehenden Geißler'schen Hahn über. Außerdem befindet sich kurz über dem Ausflußhahn seitlich angeschmolzen ein Zufußrohr mit Glashahn. Der Kühler hat oben zwei Oeffnungen, die eine zum Entweichen bzw. Eintreten der Luft beim Füllen oder Ablassen des Wassers desselben; durch die zweite Oeffnung kann ein kleines Thermometer eingeführt werden, um die Temperatur des Kühlwassers stetig zu beobachten. Zum Füllen bzw. Ablassen des Wassers dient ein unten am Kühler an einem seitlich angeschmolzenen Rohre angebrachter weiterer Geißler'scher Glashahn. Wegen der Füllflüssigkeit der Meßröhre sind alle Kautschukverbindungen möglichst vermieden; es befindet sich daher an dem ganzen Apparat nur eine Stelle, an welcher eine kurze Kautschukverbindung nicht gut zu umgehen war. Es schließt sich nämlich an das Zufußrohr der Meßröhre mit einer kurzen Kautschukverbindung eine rechtwinklig gebogene Glasröhre an (die beiden Enden der Glasröhren stoßen überdies dicht an einander), die mit eingeschlifftem Glasstopfen auf dem einen Hals einer Woulff'schen Flasche aufsitzt und bis auf den Boden derselben geht. Der zweite

<sup>1)</sup> Tonindustrie-Zeitung, 17. Jahrgang 1893, No. 37.

Hals der Woulff'schen Flasche wird ebenfalls mit einer kurzen, rechtwinklig gebogenen Glasröhre mit eingeschliffenem Stopfen verschlossen, woran sich ein Gummidruckball schließt. Der Inhalt der Woulff'schen Flasche beträgt ca. 1 Liter.

Der vertikal stehende Kühler wird durch eine Klammer an einem eisernem Stativ getragen; zur genaueren Ablesung befindet sich in der Röhre ein Schwimmer.

Die eigentliche Bestimmung wird in kleinen, möglichst engen und kurzhalsigen, am zweckmäßigsten aus starkem Glase gefertigten Kölbchen von 50 ccm Inhalt ausgeführt, die während des Versuches in ein Gefäß mit Wasser gestellt werden, dessen Temperatur die gleiche ist, wie die des Kühlers. Als Flüssigkeit wird gewöhnlich Terpentinöl angewendet.

Zur Ausführung der Bestimmung werden 25 oder auch 50 g der betreffenden Substanz genau (bis auf  $\frac{1}{10}$  mg) abgewogen. Bei Substanzen, die in Form von Stücken zur Bestimmung gelangen, z. B. Zementprobekörpern, sowohl aus reinem Zement wie aus 1 Zement : 3 Sand, oder Kalkstein etc., werden dieselben am besten direkt in dem Bestimmungskölbchen abgewogen. Bei pulverförmigen Substanzen jedoch hat es sich gezeigt, daß es besser ist, dieselben auf einem Uhrglas oder dergleichen abzuwägen und vor Eintragung derselben mittels Trichter in das Kölbchen ca. 20 ccm aus der Röhre ganz zentral einfließen zu lassen, damit die Substanz schneller mit der Flüssigkeit benetzt und sich so rascher die Luft zugleich unter vorsichtigem Umschwenken aus dem Kölbchen entfernen läßt.

Man läßt nun Flüssigkeit zufließen bis zur Marke. Dabei ist zu empfehlen, da die Maßgefäße bei  $15^{\circ}$  C. graduiert sind, sowohl Flüssigkeit wie Kühlwasser ein wie das andere mal auf  $15^{\circ}$  C. zu erhalten, da sonst ein Korrektionsfaktor anzubringen ist. Dies dürfte selbst im heißesten Sommer nicht schwierig sein, indem bequem und rasch der Kühler entleert und mit bereit stehendem kühleren Wasser wieder auf  $15^{\circ}$  C. zu bringen ist. Daraufhin kann man bald, aber stets innerhalb derselben Zeit (ca. 2 Minuten genügen) ablesen. Man liest an der Röhre direkt die noch in der Röhre zurückgebliebene Anzahl Kubikzentimeter ab (da die Röhre von 0—50 von unten nach oben hin geteilt ist). Diese Anzahl Kubikzentimeter, dividiert in die angewandte, abgewogene Menge, ergibt das spezifische Gewicht der betreffenden Substanz.

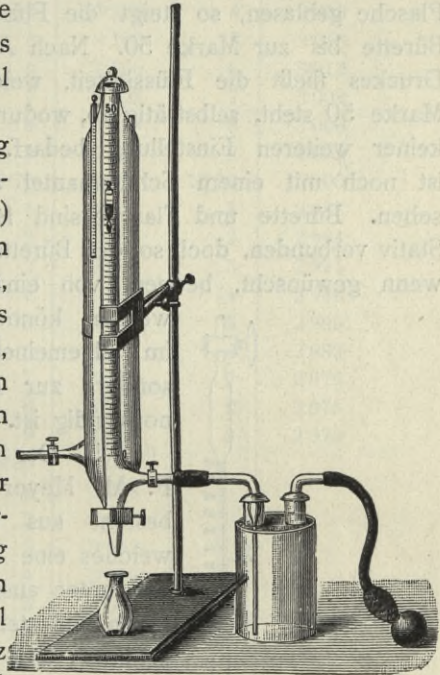


Fig. 183.



Der vorstehende Apparat wird auch in der nebenstehenden Form (Fig. 184) geliefert. — Die doppelhalsige Flasche trägt in der einen Oeffnung eine Bürette, welche oben eine Erweiterung von 30 ccm hat, unterhalb welcher die folgenden 20 ccm in  $\frac{1}{20}$  ccm geteilt sind. Im Inneren der Bürette ist nämlich ein feines Glasrohr angeordnet, welches in die Flüssigkeit der doppelhalsigen Flasche taucht. Das Ende des Rohres in der Bürette stimmt mit der Marke 50 ccm überein. Wird nun mittels des Gummiballes Luft in die zweite Oeffnung der Flasche geblasen, so steigt die Flüssigkeit in der Bürette bis zur Marke 50. Nach Aufhebung des Druckes fließt die Flüssigkeit, welche über der Marke 50 steht, selbsttätig ab, wodurch die Bürette keiner weiteren Einstellung bedarf. Die Bürette ist noch mit einem Schutzmantel aus Glas versehen. Bürette und Flasche sind fest mit einem Stativ verbunden, doch so, daß Bürette und Flasche, wenn gewünscht, bequem von einander getrennt werden können, was aber im allgemeinen und insbesondere zur Füllung nicht notwendig ist.

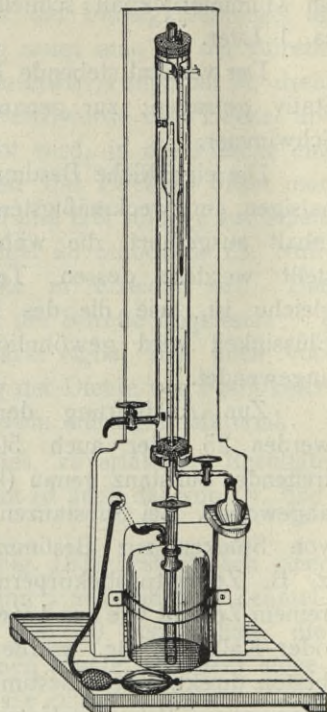


Fig. 184.

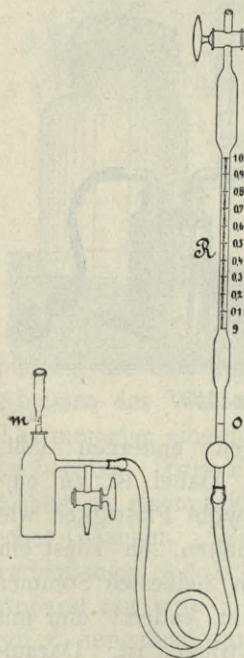


Fig. 185.

5. Der Apparat von F. M. Meyer (Fig. 185)<sup>1)</sup>

besteht aus einem dickwandigen Barometerrohr R, welches eine Teilung von 9·0 bis 10·0 trägt. Das oben und unten ausgezogene Rohr trägt an der Spitze einen Hahn und steht am anderen Ende durch einen Gummischlauch mit einem Glasgefäß in Verbindung. Das Ganze ist an einem Stativ befestigt, so daß das Glasgefäß leicht beweglich und bequem auf verschiedene Höhe einstellbar ist. — Bei der Benutzung des Apparates füllt man denselben mit denaturiertem Alkohol, der über Zement gestanden hat, genau bis zur Marke m, nachdem m und o zuvor auf gleiches Niveau eingestellt sind. Dann hebt man das Glasgefäß, bis der Alkohol dicht unter dem oberen Hahn steht und schließt diesen Hahn. Hierauf gibt man 30 g Zement in das Glasgefäß, öffnet den oberen Hahn wieder und läßt den

Alkohol in das Glasgefäß bis zur Marke m zurückfließen. Nach 1—2 Minuten liest man das Volumen des Zementes ab und berechnet daraus im Verhältnis

<sup>1)</sup> Tonindustrie-Zeitung 1894. S. 344/5.

zu den benutzten 30 g das spezifische Gewicht. Um diese Umrechnung zu erleichtern, wird dem Apparate gleich die fertig aufgestellte Tabelle beigegeben.

Spez. Gewichts-Tabelle für Zement.

Angewandte Substanz = 30 g; Alkohol verdrängt = ccm.

ccm	Spez. Gew.	ccm	Spez. Gew.	ccm	Spez. Gew.	ccm	Spez. Gew.
9·00	3·333	9·30	3·226	9·60	3·125	9·90	3·030
1	3·330	1	3·222	1	3·122	1	3·027
2	3·326	2	3·219	2	3·119	2	3·024
3	3·322	3	3·215	3	3·115	3	3·021
4	3·319	4	3·212	4	3·112	4	3·018
5	3·315	5	3·209	5	3·109	5	3·015
6	3·311	6	3·205	6	3·106	6	3·012
7	3·308	7	3·202	7	3·102	7	3·009
8	3·304	8	3·199	8	3·099	8	3·006
9	3·300	9	3·195	9	3·096	9	3·003
9·10	3·297	9·40	3·191	9·70	3·093	10·00	3·000
1	3·293	1	3·188	1	3·090	1	2·997
2	3·289	2	3·185	2	3·086	2	2·994
3	3·286	3	3·181	3	3·083	3	2·991
4	3·282	4	3·178	4	3·080	4	2·988
5	3·279	5	3·175	5	3·077	5	2·985
6	3·275	6	3·171	6	3·074	6	2·982
7	3·272	7	3·168	7	3·071	7	2·979
8	3·268	8	3·165	8	3·068	8	2·976
9	3·264	9	3·161	9	3·064	9	2·973
9·20	3·261	9·50	3·158	9·80	3·061		
1	3·257	1	3·155	1	3·058		
2	3·254	2	3·151	2	3·055		
3	3·250	3	3·148	3	3·052		
4	3·247	4	3·145	4	3·049		
5	3·243	5	3·141	5	3·046		
6	3·240	6	3·138	6	3·043		
7	3·236	7	3·135	7	3·040		
8	3·233	8	3·132	8	3·036		
9	3·229	9	3·128	9	3·033		

Der Apparat ist nur für Portlandzement eingerichtet. Dafür aber ist die Teilung des Barometerrohres sehr weitgehend und zwar bis 0·01 ccm, so daß ein sehr genaues Ablesen ermöglicht wird.

\* \* \*

In der Praxis begnügt man sich zuweilen damit, als Gewicht des Zementes dasjenige eines Einheitsmaßes, also des Liters resp. des Hektoliters zu ermitteln.

Für diese Art der Prüfung ist in Frankreich ein sehr einfaches, zweckmäßiges Verfahren eingeführt, welches ermöglicht, den Zufluß des Zementes in das Aufnahmegefäß unter ganz bestimmten, bequem einzuhaltenden Bedingungen zu regeln und damit Anspruch auf vergleichsgültige Resultate zu erzielen.

Als Einheitsmaß dient das Liter. Man setzt dasselbe auf eine feste Unterlage und bringt darüber eine Rutsche von Zinkblech an (Fig. 186), mit einem Neigungswinkel von  $45^\circ$  und einer Länge von 500 mm, deren unteres Ende nur 1 cm über der Oberkante des Litermaßes ausmündet. Nun schüttet man löffelweise den Zement über die Rutsche in das Gefäß, bis es gehäuft voll ist, streicht das Ueberstehende, ohne irgend welches Rütteln, Anklopfen oder Aufstoßen, mit einem Messer glatt ab und wägt. Nach Abzug der Tara für das

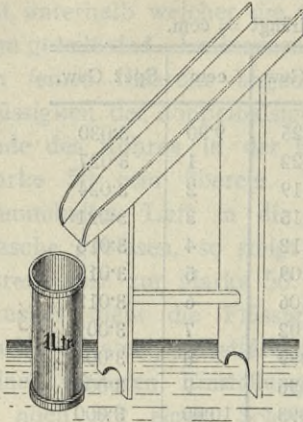


Fig. 186.

Litergefäß wird man im Durchschnitt ein Gewicht von 1,200 g für 1 Liter = 1 cdm lose eingelaufenen Zementes erhalten.

Als Gegenversuch stellt man das Gewicht des eingerüttelten Zementes fest, indem man den Zement ebenso wie oben angegeben, in das Gefäß einlaufen läßt, dabei aber dieses möglichst ununterbrochen und senkrecht, also mit voller Fläche, nicht mit einer Kante, auf die Unterlage aufstößt, bis es voll ist. Nach Abstreichen des Ueberstehenden und Wägen, unter Abzug der Tara für das Gefäß, wird man im Durchschnitt auf etwa 1,800 g für 1 Liter = 1 cdm fest eingerüttelten Zementes kommen.

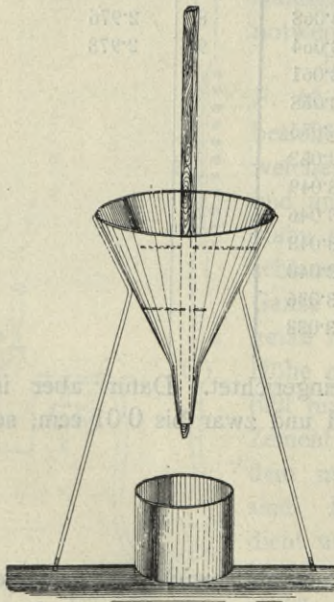


Fig. 188.

Im Großen werden diese Gewichte sich noch erhöhen, da infolge der größeren Masse der Zement sich selbst beim Einlaufen dichter zusammenlegt; man rechnet für 1 Hektoliter lose eingelaufenen Zementes etwa 140 kg.

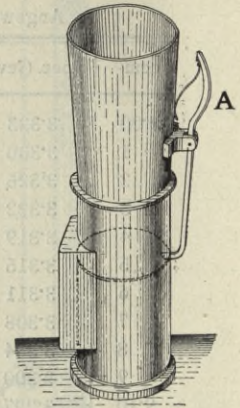


Fig. 187.

Ein anderer Apparat ist der von Böhme, mit beweglichem Boden (Fig. 187), bei welchem der Zement durch Einsieben eingegeben wird.

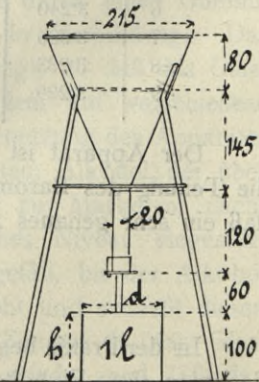


Fig. 189.

man rechnet für 1 Hektoliter lose eingelaufenen Zementes etwa 140 kg.

Ein anderer Apparat ist der von Böhme, mit beweglichem Boden (Fig. 187), bei welchem der Zement durch Einsieben eingegeben wird.

Ein dritter Apparat ist von Bernouilly konstruiert worden (Fig. 188): ein Trichter mit einem Holzstab darin von quadratischem Querschnitt und 10 mm Seitenlänge. Der Holzstab trägt zwei gekreuzte Metallstifte, welche ihn in zentrischer Lage halten. —

Dieser Trichter ist in Frankreich in etwas abgeänderter Form, nämlich mit eingelegtem Siebboden in Gebrauch (Fig. 189). Das zylindrische Litermaß hat ein Verhältnis von Höhe zum Durchmesser wie 2 : 3. —

Indessen sind doch alle diese Versuche von wesentlichen Fehlerquellen beeinflusst, unter denen besonders der Grad der Mehlfeinheit mitspricht. Ein grob gemahlener Zement wird stets ziemlich schwer sein, während der feinst gemahlene immer ein größeres Volumen einnehmen wird, entsprechend den vermehrten Oberflächen und dadurch bedingten Zwischenräumen. Ohne Angabe besonders der Mehlfeinheit sind also Mitteilungen über das Litergewicht von Zement ganz illusorisch und daher nur mit Vorsicht aufzunehmen.

### Mahlung.

Der Grad der Mehlfeinheit ist ein außerordentlich wichtiger Faktor, sowohl beim fertigen Produkt wie noch weit mehr beim Rohmehl.

Man vergegenwärtige sich den Brennprozeß: durch die Steigerung der Temperatur beim Brennen gibt der kohlen saure Kalk seine Kohlensäure ab, es bildet sich, und zwar bereits bei Rotglut, Aetzkalk; dieser wirkt dann abschließend auf den Ton. Es ist nun ganz klar, daß dieser Prozeß des Aufschließens ein umso vollkommener sein wird, je inniger die Mischung, also je feiner die Mahlung ist; denn umso mehr Berührungspunkte finden sich alsdann zwischen Aetzkalk und Ton. Die Mahlung des Rohmehls kann also gar nicht fein genug getrieben werden. Besonders ist das einzuhalten, wenn man sehr reinen Kalkstein und etwas sandigen Ton hat. Reiner Kalkstein erfordert allerdings, weil gewöhnlich von dichtem Gefüge, auch einen bedeutenden Kraftaufwand zur Vermahlung. Aber die Nachteile, die er bei grobem Mehl und damit bedingter schlechter Mischung im Gefolge hat, sind zu schwerwiegend, als daß man gerade bei ihm auf eine besonders feine Mahlung verzichten könnte. Die größeren Kalksteinpartikelchen werden nämlich beim Brennen nur in scharf gebrannten Aetzkalk übergeführt, ohne, eben ihrer Korngröße wegen, völlig in die erstrebte Wechselwirkung mit dem Ton treten zu können. Sie bleiben also auch später im Zement wesentlich als freier Aetzkalk und geben als solcher Grund zu dem bedenklichen Uebelstand des Treibens, indem sie sich erst nach bereits erfolgtem Abbinden des Zementes hydratisieren, aufquellen und somit die zuerst gewonnene Festigkeit wieder lockern und zerstören.

Ebenso ist die feine Mahlung eine unumgängliche Notwendigkeit für sandige Tone. Wenn auch durch den Sand nicht gerade eine direkte Schädigung hervorgerufen wird, so wirkt er zum mindesten als Ballast und Magermittel und dadurch herabmindernd auf die Festigkeit des Zementmörtels.

Andererseits freilich, d. h. feinst gemahlen, schließt er sich im Feuer vollkommen auf. Die quarzige Modifikation der Kieselsäure geht in die lösliche über und es findet auf diese Weise eine Anreicherung an verbindungs-fähiger Kieselsäure überhaupt statt, was späterhin insofern günstig auf die Qualität der erbrannten Ware wirkt, als eben kieselsäurereiche Zemente vorzüglich für Meeresbauten geeignet sind.

Von gleich günstigem Einfluß ist auch die Mehlfeinheit des Zementes selbst, sofern sie künstlich durch Mahlen eines sonst harten Klinkers von gutem Stehvermögen erzielt ist. Man darf nämlich nicht vergessen, daß mürbe, weiche Klinker sich viel leichter fein mahlen lassen, ohne trotzdem an Güte die festen Klinker zu erreichen. Ferner gibt ein Klinker, welcher ohne jedes Stehvermögen ist, der also beim Entleeren des Ofens freiwillig und oft sichtbar vor den Augen des Beschauers zu feinem Pulver zerfällt, auch ein sehr feines Mehl; aber das Selbstzerfallen desselben deutet stets auf üble Eigenschaften hin. Entweder kann die Rohmischung eine fehlerhafte gewesen sein, z. B. zu hoch im Tongehalt, weshalb auch vorzugsweise, wenn auch nicht immer, Raschbinder die Eigenschaft des „Abmüllens“ zeigen. Oder aber der Klinker ist zu lange der Brenntemperatur ausgesetzt gewesen oder nicht rasch genug abgekühlt worden. Beide Mängel haben eine geringere Qualität des Zementes im Gefolge.

Auch beim Lagern, selbst noch im Faß zerfällt der bereits gemahlene Zement unter dem Einfluß der Atmosphärien noch weiter zu immer feinerem Pulver, indem er durch Aufnahme von Feuchtigkeit und Kohlensäure sich ablöscht, ein Moment, durch welches die noch vorhandenen inneren Spannungen in den einzelnen Körnchen zum Ausdruck und zugleich zur Auslösung gelangen.

Wir schließen alle diese einzelnen Momente aus und wollen nur die Wirkung des mehr oder weniger fein gemahlene harten Klinkers als Zementmehl bei der Mörtelmischung ins Auge fassen. Da erscheint es von vornherein klar, daß je feiner die einzelnen Körnchen im Zementmehl sind, umso leichter, rascher und energischer Wasser auf sie einwirken kann. Weiter findet dann eine viel innigere, also dichtere Anlagerung der einzelnen Zementkörnchen an die Sandkörner statt, wodurch eine wesentlich bessere, weil vollkommenerere Verkittung derselben und somit eine höhere Festigkeit des erhärtenden Mörtels erreicht wird.

Wertvoll scheint in diesem Punkt von dem Zement nur derjenige Teil zu sein, der ein Sieb von 5,000 Maschen pro Quadratcentimeter zu passieren vermag, dessen Korngröße also unter 0.1 mm beträgt. —

In Deutschland, Oesterreich und Rußland etc. bestimmt man noch immer die Feinheit der Mahlung durch zwei Siebe von 4,900 und 900 Maschen pro Quadratcentimeter und spricht von dem Rückstand, der darauf verbleibt. Nur die Franzosen haben einzig und allein das 5,000-Maschensieb in Gebrauch. Und mit Recht; denn der Rückstand auf dem 900-Maschensiebe ist überhaupt gänzlich, der auf dem 4,900-Maschensiebe wenigstens zum größten Teil inaktiv

und indifferent, tritt also gar nicht in Wirksamkeit. Ein Beweis dafür ist, daß man Zement, der bereits einmal erhärtet war, ruhig wieder pulvern und von neuem anmachen kann. Dann werden bei dem zweiten Abbinden wesentlich jene Teilchen in Frage kommen, die, weil zu grobkörnig gewesen, inaktiv geblieben waren und erst nunmehr in Reaktion treten. Verf. hat bei solchen Versuchen — es handelte sich um Zement, der mit einem Schiffe untergegangen war — bei der zweiten Erhärtung als Normalmörtel (1 : 3 Sand) bei Wasserlagerung noch eine Festigkeit von 7 resp. 12 kg nach 7 und 28 Tagen konstatiert.

Wird also der Zement so fein gemahlen, daß alle Teilchen in Wirksamkeit treten können, so werden dieselben auch alle zur Erhärtung beitragen und demgemäß die Festigkeit nicht unwesentlich erhöhen.

Wie weit freilich die Feinmahlung getrieben werden soll, ist noch nicht festgestellt. Erst in neuerer Zeit haben sich gewichtige Stimmen gegen eine allzu große Mehlfeinheit des Zementes ausgesprochen. Verf. hatte selbst wiederholt Gelegenheit, das Mißliche daran zu beobachten. Es entmischt sich nämlich der Mörtel zu leicht, besonders beim Betonieren in etwas bewegtes Wasser hinein: der Sand sinkt unter, der feine Zement schwimmt als Schlamm oben auf und gewinnt dabei eine kaum nennenswerte Festigkeit. Dabei kann ein solcher Zement ein sonst hervorragend vorzüglicher sein, wie z. B. derselbe in einem Fall die Normenforderung um 50 % überragte.

Sicher aber ist, daß eine Feinheit angestrebt werden soll, bei welcher zum wenigsten 90 % des Zementes durch 5,000 Maschen gehen. Wohlverstanden! Es ist absichtlich nicht von dem Rückstand die Rede! Denn da das wirksame Moment im Zement das Feinmehl ist, so sollte logischer Weise bei der Prüfung auf Mehlfeinheit auch nur von diesem und nicht von dem unwirksamen Rückstand die Rede sein. Verf. prüft also auch die Mehlfeinheit allein nur mittels des 5,000-Maschensiebes und gibt dann stets nur den Gehalt an Feinmehl an. Des 900-Maschensiebes sollte man sich, weil veraltet, überhaupt nicht mehr bedienen.

Die Prüfung auf die Mahlung selbst ist überaus einfach. Man benutzt dazu eine dreiteilige Messingdose (Fig. 190), die mit zwei Sieben bespannt ist, oben mit einem solchen von 900 Maschen pro Quadratcentimeter, darunter mit einem von 4,900 Maschen pro Quadratcentimeter und einer Drahtstärke von 0·10 mm resp. 0·05 mm, wobei letztere stets die Hälfte der Maschenweite betragen soll.

Man wägt 100 g Zement genau ab, gibt dieselben auf das obere Sieb und dreht den Deckel dicht auf. Dann schüttelt man das Sieb, indem man es mit der rechten Hand erfaßt erhält und in kurzen Schlägen gegen den Ballen der linken Hand klopft. Dabei wird es zuweilen vorkommen, daß das feinere Sieb sich verschmiert. Um dann die Maschen wieder rein und frei

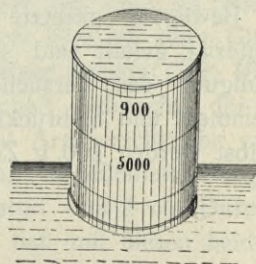


Fig. 190.

zu bekommen, setzt man das Sieb ein paar Mal hart auf den Boden auf. Schütteln und Aufstoßen wird abwechselnd fortgesetzt, bis die Siebe nichts mehr durchlassen.

Die Siebung ergibt drei Teile des geprüften Zementes:

- a) Feinmehl — durch 4,900 Maschen,
- b) Grobmehl — Rückstand auf 4,900 Maschen,
- c) Gries — Rückstand auf 900 Maschen.

Nach Beendigung noch eines Parallelversuches reinigt man die Siebe mittels einer feinen, weichen Bürste. Auch prüfe man von Zeit zu Zeit, ob auch die Maschenweite noch dieselbe ist und die einzelnen Drähte sich nicht verschoben haben oder wohl gar gerissen sind. Eventuell ist das Sieb auszuflicken (durch etwas gummiertes Papier) oder durch ein neues zu ersetzen, sobald die freie Siebfläche dadurch zu sehr eingeengt wird.

Als maschinell arbeitenden Apparat kann man auch denjenigen benutzen, der von Prof. Tetmajer zur ebenfalls maschinellen Ermittlung des Litergewichts konstruiert ist (Fig. 191).<sup>1)</sup> Ein zylindrisches Litergefäß mit starkem

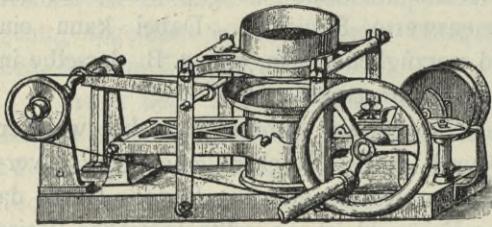


Fig. 191.

Boden ist in eine Gabel gehängt, deren freie Enden auf Exzentern der Antriebswelle schleifend allmählich gehoben und plötzlich fallen gelassen werden. Mit der Gabel wird auch das Litergefäß bei jedem Umlaufe der Maschine gehoben und aus einer Höhe von ca. 1 cm auf die eiserne, der Aufschlagefläche des Litergefäßes

entsprechend erhöhte Bodenplatte des Apparates fallen gelassen. Ein Tourenzähler gestattet, die Anzahl der Hube des Litergefäßes zu kontrollieren. Das in Bewegung gesetzte Litergefäß wird löffelweise mit dem zu prüfenden Material gefüllt und so gut wie möglich gehäuft voll gehalten. Nach Beendigung des Versuches wird das Gefäß aus dem Apparat gehoben und Feinmehl und Siebrückstand gewogen. — Für die Ausführung des Versuches selbst werden 100 g Zement abgewogen.

#### Abbinden.

Wenn man Portlandzement mit Wasser zusammen zu einem steifen Brei anrührt, so wird derselbe nach kürzerer oder längerer Zeit erstarren: er „bindet ab“. Dieser Vorgang ist die erste Reaktionsstufe des Portlandzementes als Mörtelbildner; die zweite ist dann der dem Abbinden folgende Erhärtungsprozeß. Dieser sowohl wie auch das Abbinden ist in seiner Qualität abhängig von der Art und Weise, wie man den Zement „anmacht“.

<sup>1)</sup> Hydraul. Bindemittel, 1893 S. 79.

Das Anmachen erfolgt, obwohl der Zement nach C. Prüssing-Hemmoor im Anfang außerordentlich wenig Wasser chemisch bindet, gewöhnlich mit einem großen Ueberschuß daran. Das ist an und für sich kein allein stehender Vorgang; man findet etwas Aehnliches auch auf anderen Gebieten, daß einer Substanz, selbst bei geringerer Aufnahme-Fähigkeit, man möchte fast sagen „Verdauungsvermögen“, ein Stoff in reichlicherem Maße als unbedingt erforderlich zugeführt wird, damit letzterer sich zur vollen Wirkung entfalten kann. Wollte man den Zement wirklich nur mit soviel Wasser anmachen, wie er sofort zu binden vermag, so würde er überhaupt nicht binden.

Gewöhnlich macht man den Zement mit 25—34 % Wasser an. Da indessen die Wasseraufsaugefähigkeit sehr verschieden ist, z. B. leichtgebrannte, kalkärmere Raschbinder mehr Wasser aufnehmen, um einen Brei von ganz bestimmter Steifigkeit zu bilden, da ferner das Quantum des Anmachewassers von wesentlichem Einfluß auf die Bindezeit selbst ist, so muß man zunächst feststellen, wieviel Wasser ein Zement bedarf, um einen Brei von bestimmter „Normal-Konsistenz“ zu bilden.

Zu diesem Zwecke rührt man 300 g reinen Portlandzement mit einer gewissen Menge Wasser, etwa 30 %, in einer Schüssel mit einem Pistill oder auf einer (nichtabsaugenden) Unterlage, z. B. Marmortafel oder Glasplatte, mit einer Kelle tüchtig durch und zwar bei normalbindenden Zementen etwa 3 Minuten, bei schnellbindenden 1 Minute, bis ein vollkommen homogener Brei entstanden ist. Man vermeide ein zu langes Durcharbeiten, ein „Ueber-rühren“ oder „Verrühren“ des Zementes, um den Zement recht geschmeidig zu machen. Sehr oft rührt man dann, besonders bei Schnellbindern, über den Beginn der Abbindezeit hinaus: solche überrührten Zemente binden dann wohl noch ein zweites Mal ab, aber viel schwächer, und jedenfalls hat man die wirkliche Bindezeit durchaus verfehlt.

Den plastischen Brei füllt man in eine konische Hartgummidose a, von 65 resp. 75 mm Durchmesser und 40 mm Höhe, streicht ihn, ohne zu rütteln oder aufzustoßen, glatt ab und bringt die Dose mit dem Brei auf einer Glasplatte b unter den Konsistenzmesser. Es ist das ein kleiner Apparat (Fig. 192) dessen Hauptbestandteil ein länglicher, zylindrischer Schaft ausmacht, der in einer Führung senkrecht auf und ab beweglich und mit Arretierschraube und Zeiger versehen ist. An der Führung ist eine Teilung in Millimetern angebracht, von 0 bis 40. Der Schaft trägt unten ein Piston von 1 cm Durchmesser, oben zur Austarierung noch einen Teller und hat mit diesen beiden zusammen ein Gewicht von 300 g.

Hat man die Glasplatte mit der Dose und dem Brei unter den Konsistenzmesser gebracht, so läßt man letzteren vorsichtig und langsam in den Brei frei hinabgleiten. Dringt er dabei soweit in denselben ein, daß der Zeiger zwischen den Teilstrichen 5 und 7 stehen bleibt, so hat der Zementbrei die zur Bestimmung der Abbindezeit erforderliche Steifigkeit, die sogenannte „Normalkonsistenz“. Anderenfalls muß man den Versuch nochmals mit einem entsprechend größeren oder geringeren Wasserquantum wieder-



holen, bis obige Forderung erfüllt ist. — Dabei wird übrigens stets etwas Wasser unten am Rande der Dose austreten. Das bleibt unberücksichtigt und wird nicht von der Normalmenge Wasser abgerechnet, obwohl es theoretisch geschehen müßte.

Ist auf diese Weise die Normalkonsistenz ermittelt, so ersetzt man das Piston am unteren Ende des Schaftes durch eine Nadel *c* von 1 qmm Querschnitt (Vicatnadel, Fig. 192) und tariert das geringere Gewicht derselben durch einen entsprechend schweren Teller oder Zusatzgewichte bis auf 300 g Gesamtgewicht wieder aus.

Sodann rührt man wieder 300 g reinen Zement mit der gefundenen Normalmenge Wasser an, bringt den Brei in derselben Dose *a* auf der Glas-

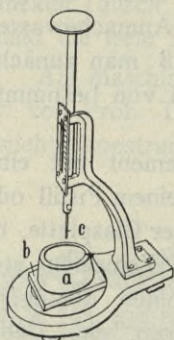


Fig. 192.

platte *b* unter den Apparat und beobachtet nun, indem man die Nadel zu wiederholten Malen und zwar stets an verschiedenen Stellen in den Brei einsinken läßt, das Verhalten des letzteren. Sobald die Nadel den Brei nicht mehr völlig zu durchdringen vermag, der Zeiger also etwa auf dem zweiten Teilstrich stehen bleibt, beginnt der Zement abzubinden. Dringt sie überhaupt gar nicht mehr ein, so hat der Zement abgebunden. Man dreht dann die Dose um und prüft nochmals auf der unteren Seite des Zementkuchens, ob die Nadel bei vorsichtigem Aufsetzen noch irgend welchen sichtbaren Eindruck hinterläßt. Diese Kontrolprüfung ist unbedingt erforderlich; denn auf der oberen Seite des Kuchens setzt sich oft ein feiner Schlamm

in Form einer festen Kruste nieder, der zuletzt für die Nadel undurchdringlich wird und demgemäß das Prüfungsergebnis empfindlich verändert.

Statt regelrecht mit der Dose und Nadel prüft man die Bindezeit auch einfacher an kleinen Kuchen von 10 cm Durchmesser und 1 cm Dicke (in der Mitte), die nach dem Rande hin nur wenig dünner auslaufen. Man wendet hierzu dieselbe Menge Wasser an, wie beim Versuch mit der Hartgummidose, und prüft mittels schwachen Druckes des Fingernagels. Nimmt der Kuchen den Druck nicht mehr sichtbar auf, so gilt der Zement für abgebunden.

Während des Abbindens tritt bei allen Zementen eine gewisse Erwärmung ein, als sichtbarer Ausdruck chemischer Reaktionen, die beim Normal- und Langsambinder nur gering ist, etwa bis 3° C., beim Schnellbinder und Gießzement aber bis zu 12° C. steigen kann.

Merkwürdig ist eine zweite Temperaturerhöhung, wie sie von Dr. Michaëlis und vom Verf. an einigen Zementen lange nach bereits erfolgtem Abgebundensein des Zementes beobachtet wurde, und welche ziemlich beträchtlich war — bis zu 7—9° C. Inwieweit und ob überhaupt diese Erscheinung mit dem Abbinden in Zusammenhang steht, konnte nicht festgestellt werden.

Auf welche Weise man nun auch die Abbindezeit ermitteln mag, stets hat man dabei die beiden Phasen des Beginnes und des Endes dieses Vorganges zu beobachten. Namentlich ist der Beginn insofern sehr wichtig, als später

bei der Aufbereitung des Zementes zu Mörtel die ganze Arbeit möglichst vor Einsetzen der Reaktion des Bindens beendet sein soll, um nicht den Zement resp. Mörtel durch Mischen, Stampfen etc. in diesem Prozesse zu stören und damit seine Festigkeit herabzumindern.

Beginn und Ende des Bindens sind sehr mannigfaltig. Manche Zemente beginnen sehr bald nach dem Anmachen, ziehen aber den Bindeprozeß sehr lange hin, andere Zemente bleiben längere Zeit anscheinend ganz indifferent, bis sie endlich in den Abbindeprozeß eintreten, ihn dann aber auch umso rascher und energischer zu Ende führen. Letztere sind besonders für den Konsumenten vorteilhaft, weil ihm für die Verarbeitung ein längerer Spielraum gewährt ist. Dagegen weisen Zemente mit langer, stetiger Bindezeit oft eine höhere Festigkeit auf, was wohl darauf zurückzuführen ist, daß — wie überhaupt bei Langsambindern — die feinen Zementteilchen reichlich Zeit haben, sich dicht und gleichmäßig aneinander und an den Sand anzuschmiegen.

Uebrigens hat man zur automatischen Ermittlung der Bindezeit kleine Apparate konstruiert (z. B. Goodman, Tetmajer und Martens), welche Beginn und Ende, sowie überhaupt die ganze Kurve des Verlaufes des Abbindens selbsttätig und genau graphisch registrieren.

So hat z. B. Prof. Martens drei Vicat'sche Nadelapparate mit einer mechanischen Einrichtung zum elektrischen Antrieb verbunden und zu selbsttätiger Aufzeichnung des Abbinde-Verlaufes eingerichtet.

Der Goodman'sche Apparat (Fig. 193) ersetzt dagegen wieder die Nadel durch ein Rädchen, welches mit dem fortschreitenden Prozesse des Abbindens immer weniger tief in den Zementbrei eindringt.

Der Apparat besteht in der Hauptsache aus einer auf Rollen laufenden Messingwanne, die durch ein Uhrwerk und ein angehängtes Gewicht gleichmäßig bewegt wird. Um dieser Wanne nach Wunsch verschiedene Geschwindigkeiten zu geben, um schnell und langsam bindenden Zement prüfen zu können, sind auf der Achse des Uhrwerks verschiebbare Schnurscheiben verschiedener Größe angeordnet.

Zur Anstellung des Versuches wird die Wanne möglichst nahe an das Gehäuse des Uhrwerks herangerückt und die Schnur auf einer der drei Trommeln aufgewickelt; dann füllt man die Wanne mit etwa 300 g Zementmörtel von Normalkonsistenz. Nach dem Anlegen eines Papierstreifens an das Schild der Wanne wird das senkrecht geführte Rädchen in den Zementbrei

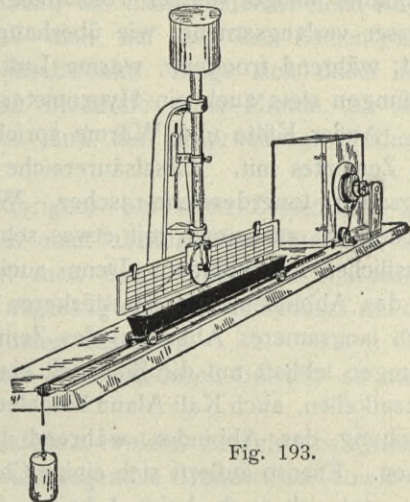


Fig. 193.

bis auf den Boden der Wanne eingetaucht. Durch die Achse des Rädchens wird ein Graphitstift gesteckt, welcher die Abbindekurve auf dem Papierstreifen anzeichnet. Die Wanne rückt allmählich weiter, während das Rädchen bezw. der Graphitstift, je nachdem der Zement abbindet, hoch gehoben wird.

Beide Phasen des Abbindens, Beginn wie Ende, werden mannigfach beeinflusst.

Zunächst kommt die Menge des Anmachewassers sowie Temperatur desselben und der Zimmerluft in Betracht, welch' letztere man zwischen 15 bis 18° C. wählen soll. Durch Zusatz von unnötig viel Wasser wird die Abbindezeit verlangsamt und später die Festigkeit verringert: man soll also den Zement nicht zwingen, etwa durch eine unten geschlossene Dose, eine bestimmte Menge Wasser vollständig zu verarbeiten. Ebenso wirkt kaltes Wasser verlangsamernd, wie überhaupt schon ein Arbeiten in kalter, feuchter Luft, während trockene, warme Luft beschleunigt. Es ist daher bei Abbindeprüfungen stets auch ein Hygrometer als Kontrollapparat hinzuzuziehen.

Außer Kälte und Wärme spricht auch die chemische Zusammensetzung des Zementes mit. Kieselsäurereiche Zemente binden, wie bereits besprochen, langsamer, tonerdereiche rascher. Weiter binden überhaupt tonreiche Zemente rascher ab: zusammen mit etwas schwächerem Brande ergibt das dann die künstlichen Raschbinder. Denn auch der Grad des Brennens ist wesentlich für das Abbinden, und ein stärkeres Sintern des Klinkers bewirkt in der Regel auch langsames Abbinden des Zementes. Ferner wirken verschiedene Salzlösungen lebhaft auf die Bindezeit ein. Alkalien, kohlen-saure (z. B. Soda) wie Aetzalkalien, auch Kali-Alaun beschleunigen, letzterer unter starker Temperaturerhöhung, das Abbinden, während ihre Sulfate eine Verlangsamung eintreten lassen. Ebenso äußern sich einige Chloride, z. B. Natrium- und Baryumchlorid: das zeigt sich auch beim Arbeiten im Seewasser, welches Magnesiumchlorid enthält, das dann mit dem Kalkhydrat im Zement sich in Calciumchlorid umsetzt. Auch Eisenvitriol wirkt herabstimmend auf die Bindezeit, besonders aber auch noch Gips und hartes Wasser. Diese beiden werden deshalb auch angewendet, wenn man einen zu schnell bindenden Zement langsamer bindend machen will. Man benetzt zunächst den Klinker, wie er eben aus dem Ofen kommt, mit etwas Wasser, etwa 1 %, und kann weiter noch dem gemahlene Zement bis 2 % Gips zusetzen. Die Wirkung des letzteren äußert sich wohl in der Weise, daß sich beim Anmachen des Zementes ein feines Gips-hütchen um die einzelnen Zementteilchen legt und so zunächst die Energie der Umsetzung mit Wasser abschwächt. Weiter setzt sich dann die Schwefelsäure des Gipses mit dem Alkali im Zement um. Hieraus erklärt sich auch der Umstand, daß Gips auf rapidbindenden Zement ohne Einfluß ist, eben weil ihm Zeit mangelt, mit dem Alkali in Reaktion zu treten.

Auch die Mehlfeinheit des fertigen Produktes ist nicht ohne Einfluß: feinst gemahlener Zement wird schneller abbinden als grob gemahlener, da die Energie der Umsetzung mit Wasser erheblich wachsen wird, je mehr Angriffspunkte der Zement dem Wasser bietet, d. h. je mehr Ober-

fläche er zur Verfügung hat, also je feiner er gemahlen ist. Sind es doch überhaupt nur, wie bereits erwähnt, die feinsten Teilchen im Zement, die beim Abbinden in Reaktion treten, während die gröberen nur ganz oberflächlich davon berührt werden.

Bei der Laboratoriumsprüfung darf man hierbei nicht vergessen, daß in der Praxis stets viel nasser gearbeitet wird, als normengemäß ist, um einen geschmeidigen, mörtelgerechten Brei zu erhalten. Dadurch wird also in der Praxis die Bindezeit erheblich verlängert, abgesehen davon, daß überhaupt schon niemals reiner Zement verarbeitet wird, der stets schneller trocknet als der daraus hergestellte Mörtel.

Hat man einen fremden Zement zu untersuchen, dessen Bindezeit man auch nicht annähernd kennt, so prüft man ihn, um nicht vielleicht einen Rapidbinder zu überrühren, in der Weise, daß man auf das lose Zementpulver etwas Wasser tröpfelt und nun rasch umschwenkt. Zeigt sich dabei keine plötzliche Krustenbildung resp. ein Binden innerhalb einer Minute, so kann man nunmehr erst vorsichtig weiter gehen und die besprochenen Methoden anwenden.

Eine weitere Vorsicht soll man — übrigens bei allen Zementen — beachten, daß man den Zementbrei nicht auf einer absaugenden Unterlage, z. B. Gipsplatte, anmacht. Zweckmäßig nimmt man dazu eine dicke Glasscheibe oder Marmorplatte; denn der Verlust an abgesaugtem Wasser bedingt mit dem Austrocknen des Breies ein schnelleres Binden desselben.

Was die Einteilung der Zemente nach ihrer Bindezeit betrifft, so unterscheidet man:

- a) Gießzemente, bis zu 5 Minuten Bindezeit, welche zunächst bei Quellenstopfung und Abdichten gegen aufdrängendes Grundwasser sowie zur Herstellung von Formstücken Verwendung finden,
- b) Schnellbinder von 15—20 Minuten Bindezeit, die hauptsächlich für Façaden- und Putzarbeiten benutzt werden,
- c) Normalbinder oder Mittelbinder von 1—3 Stunden Bindezeit, die für Beton- und die meisten anderen Bau- und Maurerzwecke sich eignen, und schließlich
- d) Langsambinder, über 3 Stunden, bis zu 12 Stunden Bindezeit, die wesentlich zu der Herstellung von Zementwaren, Röhren, Stufen, Schwellen etc. etc. dienen.

Zum Schluß möchte Verf. eine interessante, wenn auch wenig angenehme Beobachtung erwähnen, daß nämlich bei einigen Zementen nach einer gewissen Zeit des Ablagerns statt der dadurch gewöhnlich eintretenden Verlangsamung der Bindezeit im Gegenteil eine Beschleunigung, und zwar eine höchst intensive, eintritt. Dr. Tomëi machte zuerst auf diese Erscheinung aufmerksam, die dann auch von anderen bestätigt wurde. Bei einem solchen schneller bindend gewordenen Zement fand Verf. zugleich auch noch eine Herabsetzung der Festigkeit, die sich auch später nicht wieder hob, als der betreffende Zement bereits wieder langsambindend geworden war. An einer sicheren

Erklärung dieser besonders, wie es scheint, bei künstlich langsambindend gemachten Zementen hervortretenden Eigenschaft fehlt es zur Zeit noch.

Vielleicht kann man diese Erscheinung auf den Umstand zurückführen, daß manche (z. B. kieselsäurereiche) Zemente noch im Faß selbst nachfeinen, wodurch sogar ein Sprengen der Böden bewirkt werden kann. Zunächst ist dann für die vermehrte Oberfläche keine genügende Deckschicht von Gips vorhanden. Und andererseits binden Zemente von feinerem Mehl an sich schon schneller.

Eine interessante Studie über derartige „katalytische Umschläge“ hat Dr. Paul Rohland in der Tonindustrie-Zeitung veröffentlicht (1892. S. 605—608, 1617—1622 und 1966—1971). —

### Volumbeständigkeit.

Portlandzement soll in erster Linie volumbeständig sein, d. h. beim Abbinden die einmal angenommene Form auch weiterhin beim Erhärtungsprozeß bewahren. Ohne diese Eigenschaft würde der Erhärtungsprozeß empfindlich gestört und damit die Festigkeit des Mörtels zum Teil oder gar wohl auch vollständig aufgehoben werden. Umgekehrt wird mit zunehmender Volumbeständigkeit auch die Festigkeit eine höhere sein.

Zur Prüfung auf die Volumbeständigkeit des Portlandzementes bedient man sich derselben kleinen Kuchen von 10 cm Durchmesser und 1 cm Dicke mit flach verlaufenden Rändern, wie solche bereits zur vereinfachten Bestimmung der Bindezeit hergestellt und benutzt wurden. Dabei ist auf deren Anfertigung noch insofern besondere Sorgfalt zu verwenden, als man die Kuchen vor Zugluft und strahlender Wärme zu schützen hat. Man bringt sie deshalb sofort nach dem Anmachen in einen verschließbaren Zinkkasten, in welchen man auch noch einen kleinen Behälter mit Wasser einsetzt, so daß das Abbinden in gleichmäßig mit Feuchtigkeit gesättigter Atmosphäre erfolgt. Würde man dies unterlassen und der Kuchen während des Abbindens von strahlender Wärme oder Zugluft getroffen werden, so würde naturgemäß die Oberfläche desselben schneller austrocknen als der Kern. Die dadurch bedingten physikalischen Spannungen lösen sich in Form von Rissen aus, die meist zentral und spiralförmig, oft in sich zurücklaufend, auftreten. Die durch ungleiches Schwinden der Kuchen hervorgerufenen Risse, die „Schwindrisse“, haben indessen mit einer direkt schädlich wirkenden Volumveränderung nichts zu tun. Etwas Derartiges kann nur mittelbar eintreten, wenn beim Verarbeiten im Großen der Mörtel solche Risse erhält, in welchen sich dann Wasser festsetzt, das später im Winter unter der ausdehnenden Wirkung des Frostes den sonst festen Mörtel auseinandersprengt. Vorzugsweise findet das leicht bei langsam bindenden Zementen statt und bei sehr dünnen und fetten Schichten des Mörtels, also bei Façaden- und Putzarbeiten. Man beugt dem vor, indem man zu solchen Arbeiten zunächst rasch bindende Zemente wählt, wodurch zugleich ein schnelleres Arbeiten ermöglicht wird, dann aber

weiter noch durch reichlichere Magerung des Zementes mit Sand. Selbst für den „*Feinstrich*“ soll man den Mörtel mindestens zu gleichen Teilen Zement und Sand anmachen, um ein allzustarkes Schwinden an warmer, trockener Zugluft zu verhindern. Schließlich soll man bei sehr diffizilen resp. exponierten Arbeiten dieselben auch in der Praxis durch Bedecken und Anfeuchten vor ungleichmäßiger Austrocknung schützen.

Abgesehen von der besonderen Erscheinung des Schwindens in Form von Rissen weisen aber alle Portlandzemente eine Ausdehnung oder Schrumpfung auf, wie sie auch allen natürlichen Bausteinen, zum Teil sogar

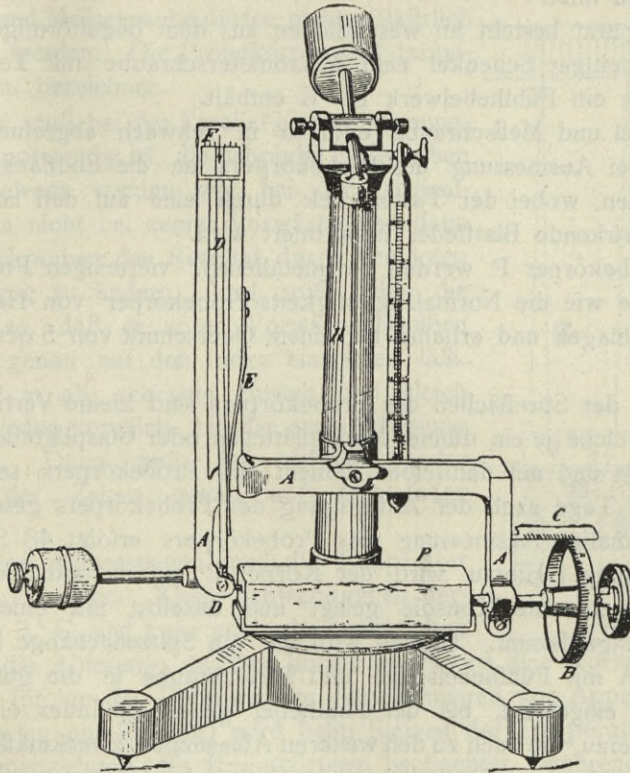


Fig. 194.

in höherem Maße, eigen ist. Insoweit ist eben kein Körper volumbeständig: Wärme, Kälte, Nässe und Trockenheit lassen ihn jeweilig sich dehnen oder schrumpfen.

Dieses natürliche Dehnungsvermögen der Zemente hält sich in sehr engen Grenzen und ist durchaus unschädlich, also keinesfalls mit dem wirklichen Treiben zu verwechseln. Ein treibender Zement, der dies bei der Erhärtung äußert, verliert zugleich durch das einmalige Abbinden und Erhärten diese Eigenschaft. Dagegen wird jeder Zement, der nach einmaligem Abbinden gepulvert und von neuem angemacht wird, immer wieder sich dehnen oder schrumpfen und z. B., in ein Reagenrohr eingegossen, unter Umständen

dieses zersprengen können. Diese Probe ist also durchaus kein gültiger Beweis, daß ein Zement treibt.

Da es immerhin von Interesse ist, schon zur Kontrolle der anderen Reaktionen, das Schwinden und Dehnen des Portlandzementes genau zu verfolgen, so hat man Apparate konstruiert, welche es ermöglichen, Probekörper von bestimmter Länge absolut genau messen und auch die kleinste Veränderung sicher feststellen zu können.

In Deutschland bedient man sich dazu des „*Bauschinger'schen Tasterapparates*“ (Fig. 194), der Probekörper von ca. 100 mm Länge bis auf  $\frac{1}{200}$  mm genau mißt.

Der Apparat besteht im wesentlichen aus dem bügelförmigen Taster A, dessen rechtsseitiger Schenkel eine Mikrometerschraube mit Teiltrommel B, der linksseitige ein Fühlhebelwerk D—E enthält.

Fühlhebel und Meßschraube endigen in schwach abgestumpfte Taster Spitzen, die bei Ausmessung des Probekörpers an die Endflächen desselben angelegt werden, wobei der Tasterdruck durch eine auf den längeren Fühlhebelarm D wirkende Blattfeder E normiert wird.

Die Probekörper P werden in metallenen, vierteiligen Formrahmen in gleicher Weise wie die Normalzugfestigkeits-Probekörper von Hand mit dem Spatel eingeschlagen und erhalten bei einem Querschnitt von 5 qcm eine Länge von 95 mm.

Inmitten der Stirnflächen des Probekörpers sind kleine Vertiefungen vorgesehen, in welche je ein dünnes Metallplättchen oder Glasplättchen als Tasterpunkt eingelegt und mit demselben Zement des Probekörpers selbst verkittet wird, was am Tage nach der Anfertigung des Probekörpers geschieht.

Die erstmalige Ausmessung des Probekörpers erfolgt 48 Stunden nach seiner Herstellung. Hierzu wird der Körper P auf die am Säulenstativ des Apparates angebrachte Konsole gelegt und daselbst mit einer schwachen Bogenfeder festgeklemmt. Hierauf wird der am Spitzengehänge leicht bewegliche Taster A mit Fühlhebelspitze und Meßschraube in die gut gereinigten Stirnplättchen eingeführt, bis der Fühlhebel genau am Index einspielt. Man bedient sich hierzu, wie auch zu den weiteren Ablesungen, zweckmäßig einer Lupe.

Bei einspielendem Fühlhebel ist der Stand der Mikrometerschraube abzulesen, wobei jedesmal vom Nullpunkt der tangential zur Teiltrommel laufenden Skala ausgegangen wird. Die ganzen Umdrehungen der Meßschraube werden auf der Skala bis zum vorderen Trommelrande abgezählt (1 Umdrehung = 1 Skalenteil) und die Bruchteile des Umganges nach Zehntel und Hundertstel auf der Trommel selbst abgelesen. Für letztere Ablesung dient die Skalakante als Index.

Der Nullpunkt der Skala entspricht bei genau einspielendem Fühlhebel einer Tasteröffnung von 95·00 mm.

1 Umgang der Meßschraube = 1 Skalenteil = 0·50 mm.

1 Trommelteil =  $\frac{0\cdot50}{100} = 0\cdot005$  mm.

Für 100 mm absolute Länge ergibt sich eine Ablesung von 10·00 Skalateilen, aus welcher Ablesung die Länge des ausgemessenen Stabes mit Hinzurechnung der vorstehend angegebenen Tasterweite bei Null (95·00 mm)  $= \frac{10\cdot00}{2} + 95\cdot00 = 100\cdot00$  mm folgt.

Die Tasterweite wird mittels eines in Holz gefaßten Stahlstäbchens von 100·00 mm Länge kontrolliert, welches ganz so wie die Probekörper auf der Konsole des Apparates zu lagern ist.

Bei allen Abmessungen müssen die Probekörper stets genau wie bei der erstmaligen Lagerung eingeführt werden, und die Tasterpunkte für Fühlhebelspitze und Meßschraube dürfen nicht willkürlich verwechselt werden. Die Probekörper sind daraufhin genau zu bezeichnen.

Ferner muß bei der Parallel-Kontrollmessung, die absolut notwendig ist, die Schraube in derselben Richtung bewegt werden wie bei der Originalmessung, um nicht bei zuerst Vorwärts- und dann Rückwärtsschrauben das Resultat durch den toten Schraubengang zu ändern. Verf. mißt daher die Stäbe stets so, daß er unter Vorwärtsschrauben den Zeiger genau auf den Index einspielen läßt. Darauf liest er ab, schraubt zurück und gleich nochmals wieder vorwärts, bis die erste Ablesung erreicht ist. Dann muß, bei richtiger erster Ablesung, der Zeiger genau auf dem Index einstehen.

Bei allen Abmessungen muß die Temperatur berücksichtigt werden. Kleine Schwankungen derselben bis zu 3 ° C. sind zwar noch ohne merklichen Einfluß auf die Ablesung; darüber hinaus aber wird eine Korrektur derselben notwendig. Infolge der Differenz der Ausdehnungen von Apparat und Probekörper (Messing und Zement) wird beim Steigen der Temperatur eine scheinbare Zusammenziehung des Probekörpers beobachtet, während beim Sinken der Temperatur der Probekörper ein scheinbares Wachsen aufweist. Die Korrektur, die für jeden Apparat durch direkte Versuche leicht ermittelt werden kann, ist im Mittel für Aenderungen von  $\pm 1\cdot0^{\circ}$  C. =  $\pm 0\cdot002$  Skalateile, unter der Voraussetzung, daß Apparat und Probekörper ein und dieselbe Temperatur besitzen.

Dieser Korrektur wegen wird jedem Apparat eine besondere Anweisung beigegeben. —

Prof. Martens hat zur Messung der Raumveränderung der Zemente einen Apparat konstruiert, der ebenso genaue Resultate wie der Bauschinger-sche Apparat ergibt, sich aber von diesem Apparat dadurch unterscheidet, daß die einzelnen Stäbe während der ganzen Dauer der Untersuchungsperiode

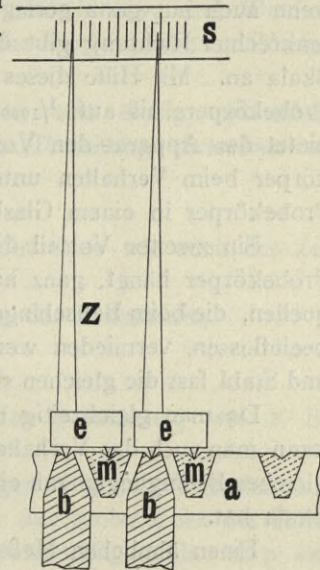


Fig. 195.



an ihrer Stelle verbleiben können. Der Apparat (Fig. 195) besteht im wesentlichen aus einem Gestell, in welchem eine Reihe von Probekörpern senkrecht nebeneinander stehen. Am unteren Ende tragen dieselben die gleichen Achatplättchen wie beim Bauschinger-Apparat, welche auf einer regulierbaren Schraubenspitze ruhen. Das obere Ende der Probekörper *b* ist zugespitzt und mit einer Kimme versehen, in welcher die Schneide eines Messingklötzchens *e* aufsitzt, welches mit einer zweiten Schneide versehen ist, die auf dem festen Querbalken *m* ruht. Ferner ist das Klötzchen *e* mit einem langen und dünnen Zeiger *z* versehen, welcher auf einer am oberen Teil des Gestelles befestigten Skala *s* einspielt, wenn die Länge des Probekörpers *b* sich verändert. Eine, wenn auch nur ganz geringfügige Verschiebung der Schneiden zu einander in senkrechter Richtung gibt diese Differenz in bedeutender Vergrößerung auf der Skala an. Mit Hilfe dieses Apparates kann man die Längenänderungen des Probekörpers bis auf  $\frac{1}{1000}$  mm genau mit Sicherheit schätzen. Außerdem bietet der Apparat den Vorteil, daß man auch die Verlängerung der Probekörper beim Verhalten unter Wasser prüfen kann, indem die eingespannten Probekörper in einem Glasbehälter stehen, den man mit Wasser füllt.

Ein zweiter Vorteil des Apparates ist der, daß der Rahmen, in dem der Probekörper hängt, ganz aus Stahl hergestellt ist und infolgedessen die Fehlerquellen, die beim Bauschinger-Apparat das Resultat durch Temperaturdifferenzen beeinflussen, vermieden werden, weil die Wärmedehnungszahlen von Zement und Stahl fast die gleichen sind. Alle Gestellteile des Apparates sind vernickelt.

Da man gleichzeitig mehrere Probekörper nebeneinander prüfen kann, kann man auch das Verhalten verschiedener Zemente gleichzeitig und unter sonst gleichen Bedingungen mit einander vergleichen, da jeder Zeiger seine besondere Skala hat.

Einen ähnlichen Meßapparat hat Prof. Debray konstruiert. Derselbe ist für Stäbe von 800 mm Länge und 2,3 qcm Querschnitt eingerichtet. Die Stäbe werden senkrecht eingesetzt und gleichfalls mittels Fühlhebels genau austariert. —

Die Untersuchungen mit diesen Apparaten haben für normale Portlandzemente zu dem Ergebnis geführt, daß dieselben im Wasser eine kleine Dehnung, an der Luft eine kleine Schwindung erfahren, daß weiter diese beiden Reaktionen im Anfang der Erhärtung stärker auftreten, um schließlich im Laufe der Zeit fast gänzlich zu verschwinden. Ferner halten sich Dehnung und Schwindung innerhalb engster Grenzen, so daß von schädlicher Wirkung derselben keine Rede sein kann. Ja, man kann sogar sagen, daß eine schwache Dehnung im Zementmörtel nur günstig wirkt, indem durch dieselbe die Hohlräume besser und vollständiger ausgefüllt werden.

Anders dagegen das „*Treiben*“! — Während die Schwindrisse bei den Probekuchen oder dem frisch bereiteten Mörtel während des Abbindens auftreten, und sich durch entsprechende Vorsichtsmaßregeln fernhalten lassen, tritt die als „*Treiben*“ bezeichnete Volumveränderung beim Zement erst nach erfolgtem Abgebundensein desselben, also während des Erhärtungsprozesses ein.

Das Treiben erfolgt sowohl an der Luft wie auch im Wasser und ist vornehmlich bei ganz frischen Zementen zu befürchten. Man läßt daher zweckmäßig den Zement erst ein paar Wochen im Silo ablagern, bevor man ihn zum Versand bringt. Während des Ablagerns findet unter dem Einfluß der Atmosphärenteilchen eine Ablöschung des Zementes unter Aufnahme von Wasser und Kohlensäure statt, die gewöhnlich zugleich von einem weiteren Zerfall der Zementpartikelchen begleitet ist. Ein solches Zerfallen kann sich, bei zu frischer Ware, dann auch noch im Faß fortsetzen und event. dasselbe zersprengen.

Das Ablagern kann man mit vorzüglichem Erfolge durch öfteres Umschaukeln des Zementes oder sonstiges „Lüften“ desselben merklich beschleunigen. Selbst ausgesprochene Treiber kann man in etwa drei Wochen vollkommen soweit bringen, daß sie die gewöhnliche Kuchenprobe im Wasser tadellos bestehen.

Im übrigen ist das Treiben eines Zementes stets einzig und allein auf eine in irgend einem Punkte mangelhafte Aufbereitung desselben zu schieben.

Diese Mängel bestehen im wesentlichen aus

- a) einer allzugroben Mahlung sowohl des Rohmehles wie auch des Zementes,
- b) einer nicht durchweg homogenen Mischung des Rohmehles,
- c) einem zu hohen Kalkgehalt,
- d) fehlerhaftem Brennen,
- e) einem hohen Gehalt an volumverändernden Substanzen, wie z. B. Schwefelverbindungen etc.

Mahlung und Mischung des Rohmehles hängen eng mit einander zusammen. Bei schlechter Mahlung ist eben durch das grobe Korn der Rohmaterialien eine innige Mischung und damit ein gleichmäßiges Einwirken auf einander durchaus ausgeschlossen. Die einzelnen größeren Kalkpartikelchen, die auch bei zu hohem Kalkgehalt auftreten, rufen durch nachträgliche Bildung von Hydratkrystallen innere Molekularspannungen hervor, die das bereits gewonnene feste Gefüge vollkommen zu zerstören vermögen. Dasselbe findet bei fehlerhaftem Brande statt, indem der Kalk durch zu scharfes Brennen in einen zunächst indifferenten Zustand übergeführt ist und erst nach und nach reaktionsfähig wird. Die verspätete Ablöschung des Kalkes, verbunden mit entsprechendem Aufquellen desselben, bewirkt dann auch die Zerstörung der schon gewonnenen Festigkeit.

Des weiteren erfolgt Treiben bei Anwesenheit von solchen Substanzen, welche durch Zersetzung, Oxydation oder Wasseraufnahme nachträglich eine molekulare Volumvergrößerung erfahren. Zu solchen Substanzen gehören in erster Reihe die Schwefelverbindungen. Dieselben können entweder bereits im Ton vorhanden sein (Schwefelkies) oder beim Brennen aus stark schwefelhaltigem Brennmaterial aufgenommen werden. Ebenso vermag anhaltend reduzierendes Feuer im Ofen infolge schlechten Zuges oder sonst mangelhafter Luftzuführung bereits vorhandene Sulfate wieder auf eine niedrigere Oxydations-

stufe zurückzuführen. — Im wesentlichen kommen auch hier wieder die Kalkverbindungen in Betracht. Bedenkt man, welch' eine Molekülvergrößerung vor sich geht, wenn Calciumsulfid,  $\text{CaS}$ , nach und nach in Sulfat,  $\text{CaSO}_4$ , und schließlich in das wasserhaltige Salz,  $\text{CaSO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ , übergeht, so kann man sich leicht ein Bild von der Unwiderstehlichkeit solcher Molekularspannungen machen. Auch dieses „Gipstreiben“ kann unter Umständen ziemlich spät eintreten, wie denn überhaupt derartige Untersuchungen auf wenigstens drei Monate auszudehnen sind.

Besonders ist auf die vorstehende Umsetzung auch die Zerstörung von Zementbauten im Seewasser zurückzuführen. Durch Einwirkung des im Seewasser enthaltenen Magnesiumsulfates auf den Zement bildet sich ein Doppelsalz aus Kalk, Tonerde und Schwefelsäure, der „Zementbazillus“, wie Dr. Michaëlis, der diese Verbindung künstlich darstellte, sie treffend bezeichnete. Dieses Doppelsalz absorbiert äußerst energisch Wasser und krystallisiert unter Addition einer großen Menge von Konstitutionswasser im Zement mit unwiderstehlicher Gewalt aus, wodurch es die verheerendsten Zerstörungen anzurichten vermag.

Das Treiben wird zuweilen noch, besonders bei Luftmörteln, wo es sich zunächst als einfaches Absanden äußert, von Verfärbungen begleitet, die von schmutzig gelb bis schokoladenbraun ziehen und besonders für Zementwarenfabrikanten sehr unangenehm sein können. —

Die Prüfungen auf Treiben sind nach verschiedenen Richtungen hin ausgiebig bearbeitet worden. Hauptsächlich sind gewöhnlich die folgenden in Anwendung:

1. die gewöhnliche Glasplatten-Kuchenprobe unter Wasser und an der Luft,
2. die Darrprobe,
3. die verschärfte (Dampf-) Darrprobe,
4. die Heintzel'sche Kugelglühprobe,
5. die Michaëlis'sche Kochprobe,
6. die Maclay'schen Heißwasserproben,
7. die Prüssing'schen Preßkuchenproben,
8. die Hochdruckdampfproben nach Dr. Michaëlis und Dr. Erdmenger.

Für die meisten Prüfungen kann man direkt die Kuchen benutzen, wie sie zur Bestimmung der Abbindezeit angefertigt und vor Schwindrissen durch Lagerung während des Abbindens in einem feuchten Raume geschützt werden. Dr. Heintzel wählte für seine Glühprobe dagegen die Kugelgestalt, mit sehr wenig Anmachewasser. Ebenso kocht Tetmajer Kugeln und nicht Kuchen, wie Dr. Michaëlis. Prüssing hat nur eine schärfer begrenzte Kuchenform, ebenfalls mit nur sehr wenig Anmachewasser.

1. Die gewöhnliche Glasplatten-Kuchenprobe, die deutsche Normenprobe, besteht darin, daß man die Kuchen 24 Stunden nach ihrer Anfertigung unter Wasser bringt und während 27 Tagen darin beläßt, um sie dann auf Verkrümmung und Kanten- oder Netzrisse zu untersuchen. — Während Schwin-

dungsrisse meist zirkulär verlaufen, treten die eigentlichen Treibrisse in Form radialer Kantenrisse auf, die nach außen hin auseinanderklaffen. Ferner werden die Kuchen auch oft von einem ganzen Netzwerk von Rissen überzogen und erleiden Verkrümmungen — „*werfen sich*“. Das Treiben kann schließlich bis zu einer vollständigen Zerstörung der Kuchen führen.

Bei den an der Luft aufbewahrten Kuchen tritt zunächst das „*Ab-sanden*“ ein, das aber auch schließlich in Risse und Verkrümmungen übergehen kann.

Diese Prüfungen nehmen zum mindesten vier Wochen in Anspruch; man hat deshalb nach beschleunigten Prüfungen gesucht und dafür die folgenden aufgestellt.

2. Zunächst unterwirft man bei der *einfachen Darrprobe* die gewöhnlichen Kuchen einem dreistündigen Erhitzen in einem Trockenschrank auf 120° C. oder auf einer eisernen Platte bis auf ca. 200° C. Dabei dürfen die Kuchen weder Verkrümmungen, noch Kanten- oder Netzrisse erhalten.

3. Diese einfache Darrprobe verschärft man, indem man in den geschlossenen Darrapparat etwas Wasser zur Verdampfung bringt, *Dampfdarrprobe*. Der den ganzen Raum füllende Dampf schlägt sich zunächst als Wasser auf den Kuchen nieder, umgibt dann aber dieselben mit einer gleichmäßig feucht-heißen Atmosphäre.

Einfacher kann man die Kuchen auch auf der heißen Eisenplatte mit einem Uhrglase bedecken, wodurch der gleiche Zweck der Einwirkung von zugleich heißer wie feuchter Luft auf die Kuchen erreicht wird. — Die Dauer der Prüfung soll 4—5 resp. 3—4 Stunden betragen.

4. Die Heintzel'sche *Kugelglühprobe* besteht darin, daß man den Zement (100 g) sehr trocken mit 21—24 % Wasser zu einer Kugel anmacht. Diese Kugel setzt man sofort nach dem Anmachen, ohne also erst das Abbinden des Zementes abzuwarten, auf eine Eisenplatte oder ein Drahtnetz und erhitzt sie allmählich direkt über der Flamme. Dauer der Prüfung etwa drei Stunden.

5. Eine sehr scharfe und zuverlässige, dabei aber auch überaus einfache Prüfung ist diejenige mittels der *Kochprobe* von Dr. Michaëlis. Die gewöhnlichen Kuchen oder Kugeln werden nach erfolgtem Abbinden in einen gewöhnlichen Kochtopf aus Blech, Eisen oder sonst etwas gebracht und mit kaltem Wasser übergossen, so daß sie vollständig von demselben bedeckt sind; dieses Wasser wird dann langsam zum Sieden gebracht. Das Kochen, mit übergelegtem Uhrglas oder Deckel, findet also unter Druck von einer Atmosphäre statt und soll normal etwa drei Stunden dauern. Gute Portlandzemente halten das nicht nur aus, sondern werden dabei sogar klingend hart, mittelmäßige weisen mehr oder weniger Verkrümmungen, Netz- und Kantenrisse auf, schlechte zerbrechen vollständig zu einem losen Brei.

Von allen beschleunigten Treibproben ist die Kochprobe entschieden diejenige, die bei aller Schärfe selbst von einem Nichtfachmann bequem und sicher jederzeit und allerorten angestellt werden kann.

Hält der Zement die Siedetemperatur nicht aus, so kann man damit her-

untergehen und mittels Heiß- und Warmwasserbäder von 80° C., 60° C. und 40° C. prüfen. Der Grad der Temperatur ist konform der Volumbeständigkeit des Zementes.

6. Maclay stellt seine Volumbeständigkeitsprüfungen neben einander gleichzeitig an 6 verschiedenen Kuchen an.

Der erste kommt gleich nach seiner Herstellung 3 Stunden lang in eine Dampfdarre von 90—93° C. Beim zweiten erfolgt dieses Darren erst nach beendigtem Abbinden, beim dritten nach der doppelten Zeit wie beim zweiten, und beim vierten schließlich 24 Stunden nach dem Abgebundensein. Alle vier

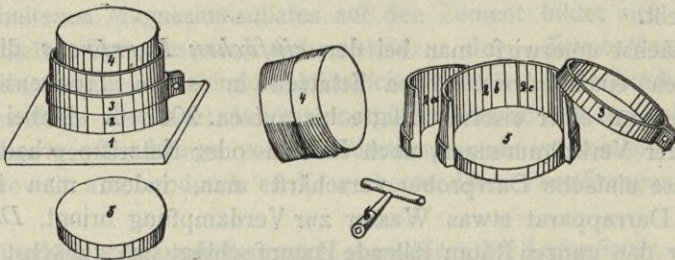


Fig. 196.

Kuchen werden gleich nach der Entnahme aus dem Dampfbade nochmals einer weiteren Prüfung in heißem Wasser unterzogen, die 21 Stunden andauert.

Der fünfte und sechste Kuchen kommen, sobald sie abgebunden, der eine in Wasser von 15—18° C., der andere in einen Schrank mit gesättigt feuchter Luft von derselben Temperatur.

7. Prüssing fertigt für seine Proben besondere Kuchen mit wenig Wasser durch starke Pressung an. Die Prüssing'sche Kuchenform (Fig. 196) besteht

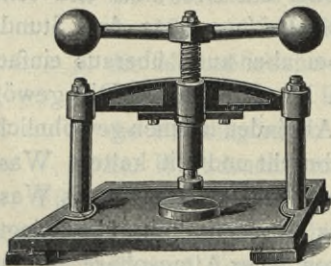


Fig. 197.

aus einem zylindrisch ausgebohrten, an der Außenfläche etwas konisch abgedrehten, starkwandigen Metallring von ca. 8 cm Bohrung und etwa 5 cm Höhe (2), der dreiteilig radial aufgeschnitten ist, sodaß er in drei genau zusammenpassende kongruente Teile (2a, 2b, 2c) zerlegt werden kann, die durch eine federnde, um die Außenseite gelegte und mit einer Klemmschraube versehene Schelle (3) zusammengehalten werden.

Man setzt diese zusammengestellte und mit der Schelle umschlossene Form beim Gebrauch auf eine starke vier-eckige, gehobelte Eisenplatte (1) und füllt 100 g Zement, den man vorher mit ca. 5—7% Wasser angemacht und gut durchgerührt hat, ein, nachdem man die Form innen etwas geölt hat. Hierauf streicht man die obere Fläche glatt und setzt dann den zur Form gehörigen Stahlstempel (4), der den Hohlraum des Ringes genau ausfüllt, auf. Nun bringt man das Ganze unter

eine kräftige Presse (Fig. 197) und preßt den Stempel soweit als möglich in die Form hinein.

Man erhält auf diese Weise scheibenähnliche, zylindrische und scharfkantige Kuchen (s. No. 5 Fig. 196), die leicht durch Lösen der Schelle und Zerlegen des Preßringes aus der Form zu entfernen sind. Sie bleiben zunächst zur Erhärtung 24 Stunden, gegen Ausdünstung geschützt, in einem Kasten liegen und werden dann unter Wasser gelegt. Ein Zement, der auf diese Weise geprüft, keine Kantenrisse oder Verbiegungen zeigt, soll sich bei jeglicher Verwendung in kaltem Wasser als raumbeständig erweisen. Ein zweiter solcher Kuchen wird nach 24stündiger Erhärtung an der Luft einige Stunden unter kaltes Wasser und dann in ein Bad, welches durch Dampf ständig auf  $90^{\circ}$  C. erhalten wird, gelegt. Er wird nach 24stündigem Aufenthalte in letzterem besichtigt und, wenn er gut geblieben ist, einen Monat lang in demselben gelassen.

Für schleunige Prüfungen, z. B. bei frischer Mahlung, wird ein ganz frischer Kuchen direkt auf einer Eisenplatte auf etwa  $180^{\circ}$  C. erhitzt, dann vorsichtig mit Wasser begossen, bis er durch und durch feucht ist, und dann nochmals auf  $180^{\circ}$  C. erhitzt. Diese Probe erfordert allerdings geübte Hände, wenn sie genaue Resultate ergeben soll, ist aber dann, wie auch die vorstehende, nach Versuchen des Verf. recht scharf.

8. Die weitaus schärfsten Proben sind diejenigen, welche nach Dr. Erdmenger unter Anwendung von Hochdruck vorgenommen werden. Hiernach werden die Zementkuchen dem hochgespannten Wasserdampf ausgesetzt, wozu Erdmenger einen besonderen Apparat konstruiert hat (Fig. 198).

Ein Kesselblech von 12 mm Dicke ist zu einem Zylinder zusammengerollt und genietet. Dieser Zylinder ist oben und unten durch aufgenietete Bleche geschlossen. Der obere Deckel hat einen vorstehenden Rand und bildet so einen Flansch, auf den der Kessel in einem Dreifuß, der oben in einem starken, eisernen Ring ausläuft, eingehängt wird.

Auf der gewölbten oberen Platte trägt der Apparat Ventil und Manometer. An der Seite befindet sich eine größere Oeffnung, die durch einen Mannlochdeckel geschlossen wird. Derselbe wird mit Gummidichtung versehen, in die Oeffnung hineingesteckt und dann vermittlems Bügel und Schraube von außen angezogen, so daß er von innen fest an der Kesselwandung anliegt. Der Kessel ragt mit seinem unteren Teile in einen Blechofen hinein. Der offene Ring des Blechofens schließt dicht an den Kessel an, wird aber gleichwohl noch dicht verschmiert. Der Apparat wird mit den Proben beschickt, darauf der Verschluss durch den Mannlochdeckel bewirkt und von oben durch das Loch für das noch nicht aufgesetzte Ventil Wasser eingefüllt.

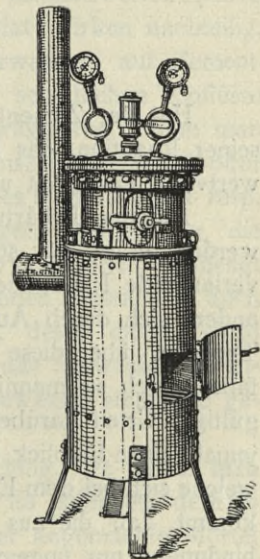


Fig. 198.

Darauf wird das Ventil dicht eingesetzt, entsprechend belastet und nunmehr mit dem Heizen begonnen.

In den Apparat, welcher auf 40 Atm. Druck geprüft ist und meist auch bis zu dieser Höhe beansprucht wird, kann man mehr als 100 Kuchen oder Zugproben auf einmal einlegen. Da viele Körper bei hohem Druck zerstört werden, so ist nach einer ganz bestimmten Methode zu verfahren, um sie beim Herausnehmen wieder zu erkennen. —

Wiewohl gern zugestanden werden soll, daß exakte Versuche mit obigem Apparate recht interessante Resultate ergeben haben, so ist derselbe doch nirgends in die Normen zur Prüfung von Portlandzement aufgenommen worden. Es ist klar, daß ein Zement, welcher nicht einmal die einfache Kochprobe bei nur einer Atmosphäre Druck ausgehalten hat, noch viel weniger einem Druck von 30 Atmosphären widerstehen wird. Und schließlich sollen doch selbst die schärferen Proben sich immerhin wenigstens einigermaßen den Verhältnissen anpassen, unter denen Portlandzement überhaupt zur Verwendung gelangen kann und wird.

---

### Erhärtung und Festigkeit.

Hat der Zement mit Wasser abgebunden, so beginnt die zweite Phase seiner Reaktion, das Erhärten, welches dem Portlandzement die so überaus wertvolle Festigkeit und Widerstandsfähigkeit verleiht.

Auf den Erhärtungsvorgang selbst soll hier nicht weiter eingegangen werden; es sei nur soviel bemerkt, daß derselbe durch zwei neben einander verlaufende Reaktionen erfolgt, deren eine rein hydraulisch ist, während die andere sich durch Aufnahme von Kohlensäure vollzieht. Im übrigen sind die Theorien über diese Vorgänge, die zudem aus dem Rahmen dieses Buches fallen, noch so mannigfaltig und wenig geklärt, daß ein maßgebendes, endgültiges Urteil darüber noch aussteht und es fraglich ist, ob wir überhaupt jemals einen Einblick in die jedenfalls komplizierten Vorgänge gewinnen werden, welche sich bei dem Erhärtungsprozeß des Portlandzementes abspielen. Hierzu kommt, daß die aus den einzelnen Komponenten sich event. bildenden Verbindungen nur ungemein schwierig, meist sogar überhaupt nicht sich in Reinkultur darstellen lassen. Man soll jedenfalls auch bei Untersuchungen und Betrachtungen über diese Vorgänge, wie Prof. Knapp durchaus mit Recht bemerkt, nicht einseitig vorgehen und z. B. über den chemischen Prozessen nicht die mechanischen Vorgänge vergessen und umgekehrt.

Die Festigkeit, die der Portlandzement erreicht, ist eine ganz bedeutende und entspricht seinem hohen Eigengewicht. Vor allem ist es die hervorragende Selbstfestigkeit, welche ihn in schärfster Weise vor allen anderen Mörtelbildnern kennzeichnet. Aber selbst in bedeutendem Maße mit Sand gemagert übertrifft der Portlandzement die sämtlichen anderen Mörtelsubstanzen. Wohl gibt es manche Romanzemente, die unter gewissen Bedingungen eine höhere Zugfestigkeit aufweisen als der Portlandzement. Maßgebend aber ist,

wie jetzt allgemein anerkannt, die Druckfestigkeit, auf welche ein Mörtel doch fast ausschließlich beansprucht wird. Und da gibt es kein anderes Mörtelmaterial, welches auch nur annähernd an den Portlandzement heranreicht. Natürlich: Jedes auf seinem Gebiete! Denn an unzähligen Stellen würde die Verwendung von Portlandzement eine Verschwendung sein, da unter normalen Verhältnissen die Festigkeit eines guten Portlandzementes in keiner Weise entsprechend ausgenützt wird. — Man braucht daraufhin nur die russischen Normen<sup>1)</sup> mit ihren scheinbar geringen Anforderungen anzusehen: „aber warum soll die Fuge mehr halten als der Stein?“

Für die Festigkeit, welche der Portlandzement erlangen kann, kommt eine ganze Reihe von Momenten in Betracht.

Zunächst das Wasser!<sup>2)</sup> Weiches Wasser, ebenso brakiges, gibt geringere Festigkeiten als hartes. Ferner spielen die im Wasser gelösten Salze und chemischen Verbindungen eine große Rolle. Kohlensaures Wasser gibt höhere Festigkeiten, desgleichen solches, in welchem kohlensaure Alkalien gelöst sind, während reine Alkalien wie auch Chloride ohne nennenswerten Einfluß sind. Nur Magnesiumchlorid und ebenso Magnesiumsulfat wirken nachteilig, woraus sich auch die zerstörende Einwirkung des Meerwassers auf Zementbauten erklärt. Will man Meeresbauten gegen diese schädlichen Einflüsse schützen, so muß man sie von vornherein entsprechend imprägnieren, indem man die Mörtel mit etwas kohlensaurem Salz (z. B. Ammoniums Sesquikarbonat) oder etwas Fluorsilikat zusammen anmacht, wodurch unlösliches Kalkkarbonat resp. Fluorcalcium und Kalksilikat gebildet werden. Uebrigens bedarf nur die äußere Hülle eines solchen Schutzes, ist also mit Präservativstoffen vermengt anzufertigen. Dabei kann man statt solcher rasch härtenden Substanzen, auch einfach eine fettere Schicht wählen: je fetter die Hülle, desto dichter, also weniger porös ist sie, desto weniger also auch für das Seewasser durchdringlich. Trotz alledem ist aber die Festigkeit im Seewasser stets eine geringere.

Weiter ist die Menge des Anmachewassers von Belang. Je nasser man den Mörtel anmacht, desto lockerer wird das Gefüge. Es stimmen deshalb auch die Zahlen, welche, wie stets in der Praxis, nasser angemachte Mörtel ergeben haben, nicht ganz mit den Normenprüfungen überein. Allerdings sollen die letzteren ja auch nur ein überall ganz konformes Arbeiten ermöglichen, um vergleichsfähige Resultate zu gewinnen. In Wirklichkeit aber überragen sie die Zahlen aus der Praxis oft um das Doppelte, wengleich auch diese mit der Zeit etwas nachholen.

Ferner wird die Festigkeit durch feine Mahlung gehoben, da eben nur die feinsten Teilchen in Aktion treten.

Ebenso wirkt ein recht tüchtiges und gleichmäßiges Durcharbeiten, be-

<sup>1)</sup> Vergl. hierzu die russischen Normen im Anhang.

<sup>2)</sup> Uebrigens wird Portlandzement durch Wasser zersetzt, und schützt ihn davor nur die Bildung von unlöslichem kohlensauren Kalk auf seiner Oberfläche.



sonders unter Anwendung von Druck, sehr günstig auf die Festigkeit. Man bereitet deshalb auch die Mörtel in der Praxis heutzutage gern maschinell mit Kollergängen und sonstigen besonderen Mörtelmaschinen auf.

Schließlich weisen langsam bindende Zemente höhere Festigkeit als Raschbinder auf, bei welch' letzteren die einzelnen Teilchen nicht genügend Zeit haben, sich innig und dicht an einander und an den Sand anzulagern. Nur darf das langsame Abbinden nicht künstlich durch einen Ueberschuß an Anmachewasser bewirkt sein.

Die Zunahme der Festigkeit ist am energischsten in den ersten Tagen, wird dann nach und nach schwächer und hat meist nach etwa drei Jahren ihr Maximum erreicht, um dann stehen zu bleiben oder auch wohl um einen geringen Bruchteil herunterzugehen. Beschleunigt wird die Zunahme der Festigkeit durch Wärme, während Kälte sie sehr herabzustimmen vermag. — Wollte man dagegen heißes Wasser zum Anmachen verwenden, so würde das, weil das Abbinden beschleunigend, nur herabmindernd auf die Festigkeit wirken.

Bei Luftmörteln ist die Festigkeit gewöhnlich etwas höher als bei den Wasserproben. Sie geben aber weit ungleichmäßigere Resultate, da der Grad der Austrocknung selbst bei Probekörpern ein und derselben Mörtel- und Altersklasse recht verschieden sein kann und demgemäß stark varriierende Spannungen in den Körpern hervorruft.<sup>1)</sup> Die Luftproben sind denn auch nirgends als irgendwie maßgebend anerkannt. Als maßgebend gelten vielmehr nur die Wasserproben, bei denen ein vollkommener Gleichgewichtszustand der einzelnen Körper jeder Mörtel- und Altersklasse vorhanden ist — und zwar von ihnen wieder nur diejenigen Mörtelproben, welche aus 1 Zement zu 3 Sand angefertigt sind.

Reine Proben haben weniger Interesse, weil einmal aus der Eigenfestigkeit eines Zementes noch lange kein Schluß auf seine Sandkapazität berechtigt ist, und weil zweitens reiner Zement nur äußerst selten in der Praxis zur Verwendung gelangt. Von Wert sind solche reinen Proben nur beim Vergleich von Portlandzement gegenüber anderen Mörtelbildnern, eben, wie bereits bemerkt, der hohen Eigenfestigkeit wegen.

Beim Normalsandmörtel (1 : 3) spielt naturgemäß die Beschaffenheit des dazu verwendeten Sandes eine große Rolle. Der Sand — reiner Quarzsand — soll vollständig rein sein und besonders keine Tonpartikelchen enthalten. Seine Korngröße hat man (in Deutschland) durch Absieben auf zwei Sieben von 60 und 120 Maschen pro Quadratcentimeter und 0·38 mm resp. 0·32 mm Drahtstärke genau festgelegt. Das ganz Grobe wie das ganz Feine werden entfernt und nur das, was zwischen den beiden Sieben als Rückstand verbleibt, bildet den Normalsand. Damit ist ein Sand gewonnen, der hinreichend

---

<sup>1)</sup> In der Praxis verarbeitet man Zement an der Luft vielfach zusammen mit Kalk. Die starke Sandmagerung wird dadurch vollkommen ausgeglichen und ein plastischer Mörtel erzielt, der bei aller Güte verhältnismäßig billig ist.

scharfe Vergleichsproben ermöglicht, obwohl auch hierbei noch zu bemerken ist, daß z. B. ein scharfkantiger Sand bessere Resultate ergibt als ein runder, glatter. Man hat deshalb den Sand einer besonderen Fundgrube aus der Tertiärformation (Hammerthal bei Freienwalde a. O.) als speziellen Normal-sand bezeichnet, der denn auch von der Königl. Prüfungsstation in Berlin bei allen Prüfungen angewendet wird und als solcher von dem Laboratorium für Tonindustrie in Berlin NW. 5, Kruppstrasse 6, bezogen werden kann. Nur die Proben mit Mörteln, die mit diesem Sande hergestellt sind, sollen als ausschlaggebend angesehen werden, während es natürlich freisteht, für die gewöhnliche Fabrikkontrolle auch einen anderen annähernd gleichwertigen Sand zu benutzen.

Der Sand soll mindestens 99 % Kieselsäure und nicht mehr als 0.1 % abschlämmbare Teile enthalten. Insbesondere darf er keine Kohlenreste, z. B. wesentlich von Braunkohlen, enthalten.

Seine Körner sollen durch Siebe mit kreisrunden Löchern von 1.35 mm fallen und auf Sieben mit kreisrunden Löchern von 0.775 mm liegen bleiben. Die Bleche der Prüfungssiebe sollen 0.25 mm stark sein. Bei der Prüfung mit diesen Sieben dürfen nicht mehr als 2 % zu grobe und 10 % zu feine Körner zugelassen werden. Die Nachprüfung geschieht durch die Königliche mech.-tech. Versuchsanstalt zu Charlottenburg.

Zur Herstellung des Mörtelbreies wägt man (für Normalbinder) 150 g Zement und 50 g Sand ab, mischt beides trocken gut durcheinander, bringt dann die nötige Menge Wasser (bei Tastversuchen ca. 10 %, also 20 g) hinzu und arbeitet den Brei in einer Schale mit einem Pistill, Löffel oder Spatel tüchtig durch, und zwar bei Normal- und Langsambindern etwa 3 Minuten, bei Raschbindern 1 Minute. Der Wasserzusatz schwankt nicht unerheblich, zwischen 7—12 %; raschbindende und feingemahlene Zemente bedürfen stets eines reichlicheren Wasserquantums. — Die Zahl der Probekörper, für welche zusammen man den Mörtel anmacht, hängt allein von der Bindezeit desselben ab. Gewöhnlich rechnet man bei Normalbindern 5 Proben für Zugfestigkeit oder 2 Proben für Druckfestigkeit auf einen gemeinsam angemachten Mörtelbrei. Bei raschbindenden Zementen sinkt die Anzahl Probekörper, für welche gleichzeitig ein Brei anzumachen ist, je nach dem schnelleren Eintreten des Abbindebegines unter Umständen bis auf einen einzigen herab. Es ist eben unbedingt erforderlich, daß der Probekörper fertig gemischt und eingeschlagen ist, bevor der betreffende Zement abzubinden anfängt, da er anderenfalls in diesem Prozesse empfindlich gestört wird.

Verf. prüft überhaupt jeden Zement nur in Einzelproben. Denn da über die Vorgänge des Abbindens nichts Sicheres bekannt ist, so ist naturgemäß der letzte Probekörper aus ein und demselben Mörtelbrei in einem anderen Stadium der Vorbereitung zum Abbinden als der erste. Darunter leidet unbedingt die Einheitlichkeit und Gleichmäßigkeit der Prüfung. Und nur so wird es möglich sein, wirklich übereinstimmende Resultate, z. B. auch der einzelnen Körper aus einer Prüfungsreihe unter einander, zu erhalten.

Während es gemeinhin üblich ist, den Mörtel für die Probekörper mit der Hand anzumachen, empfehlen jetzt die Normen, die Herstellung mit dem Mörtelmischer, Bauart Steinbrück-Schmelzer (Fig. 199 u. 200), vorzunehmen. Derselbe besteht aus einer Mischschale s (Fig. 199), in welcher der Mörtel

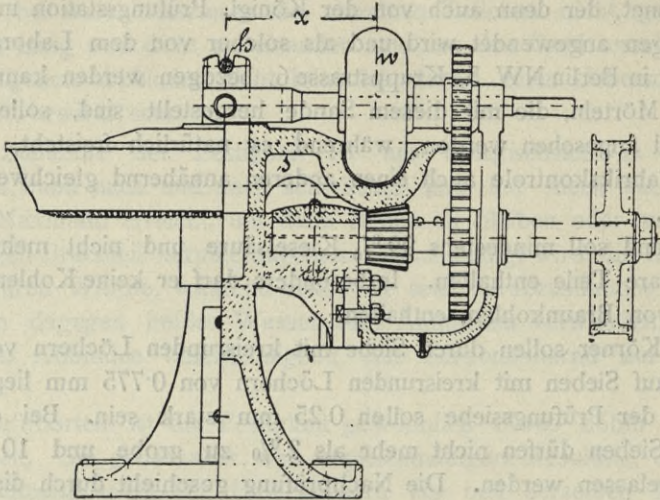


Fig. 199.

unter dem Gewichte der in gleicher Richtung wie die Schale, aber mit anderer Geschwindigkeit laufenden Walze w niedergedrückt und ausgestrichen wird,

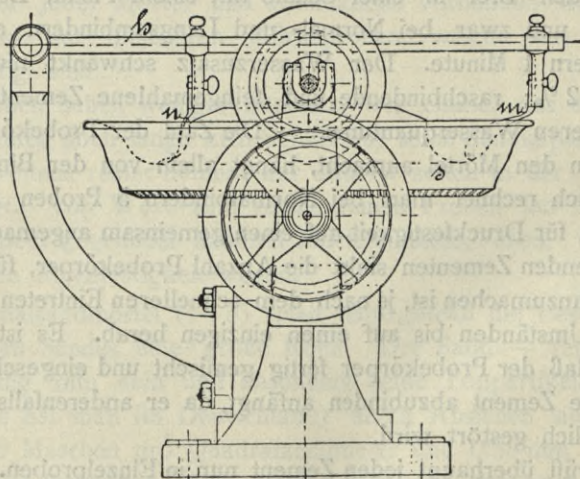


Fig. 200.

um darauf an den beiden Abstreichern m und n (Fig. 200) wieder aufgelockert und gewendet zu werden.

Die Abstreicher können mit dem Hebel h zusammen zurückgeschlagen werden und auch die Achse der Walze m kann ausgehoben und zurückgelegt

werden; alsdann läßt sich der Apparat bequem entleeren und von anhaftendem Mörtel reinigen.

Der Antrieb der Schale *s* und der Walze *w* erfolgt durch Zahnräder, die ihrerseits von Hand mittels einer Kurbel oder mit Riemen und Riemenscheibe mechanisch bewegt werden. Im letzteren Falle wird der Riemen an die Riemenscheibe durch eine Spannrolle angedrückt, die mittels eines Hebels leicht ausgerückt werden kann, sodaß der Apparat nach der vorgeschriebenen Umdrehungszahl augenblicklich zum Stillstand kommt. Die Schale soll im Vollgange 8 Umdrehungen in der Minute machen. In diese Schale kommen 500 g Zement und 1,500 g Normalsand.

Nach Einwägen von Zement und Sand in eine flache Schale, mischt man beide zunächst trocken und setzt dann erst die nötige Menge Wasser hinzu. Die so angefeuchtete Masse mischt man nochmals erst von Hand mit einem runden Löffel (etwa  $\frac{1}{2}$  Minute) und verteilt sie dann in die Schale *s* des Apparates. Nach 20 Schalen-Umdrehungen, also ca.  $2\frac{1}{2}$  Minuten, wird der Arm *h* mit den beiden Abstreichern *m* und *n* und der Hebel, welcher die Walze *w* trägt, aufgeklappt und die Mischschale mit einer eigens hierfür konstruierten Schaufel geleert. Zu beachten ist, daß beim Mischen der unter der Walze vorkommende Mörtel zuerst dem Abstreicher *m* und dann erst dem Abstreicher *n* zugeführt wird. —

Die fertig eingeschlagenen Proben sind durchaus vor Zugluft und strahlender Wärme, also vor allzu schneller Austrocknung zu schützen. Man bringt sie deshalb am besten sofort nach

ihrer Anfertigung in einen Zinkkasten, der, mit einem Deckel verschlossen, die Proben mit einer stets gleichmäßig feuchten Atmosphäre umgibt.

In der Praxis ist es oftmals ungemein schwierig, das ruhige Erhärten derartig peinlich zu sichern. Besonders schwierig sind einerseits Betonierungen direkt in Wasser hinein, vornehmlich in fließendes, quellendes oder aufdrängendes. Nach Möglichkeit sucht man diesem Uebelstande dadurch abzu- helfen, daß man bei den Schüttungen des fertigen Betonmörtels besondere Schütttrichter anwendet. Andererseits benutzt man für Façaden- und Putzmörtel, die, an und für sich schon sehr dünn aufgetragen, einer starken Austrocknung ausgesetzt sind, stets schnellbindende Zemente, die man zudem noch recht reichlich mit Sand magert.

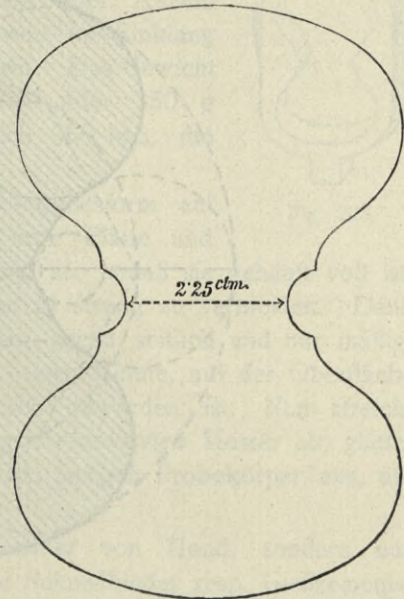


Fig. 201.

Für die Laboratoriumsprüfungen sind indessen die obigen Forderungen genau zu erfüllen und unter Umständen die Proben, wenn ein Zinkkasten nicht vorhanden ist, mit einem feuchten Tuche zu bedecken.

Die Formen, in welche der Mörtelbrei eingeschlagen werden soll, haben für Zugfestigkeitsprobekörper die Form einer 8, daher auch wohl deutsche 8'er Formen geheißen (Fig. 201). Der Querschnitt an der eingeschnürten Stelle, da wo der Bruch erfolgen soll, beträgt 22·5 mm (Breite) × 22·2 mm (Höhe) = 499·5 qmm, abgerundet 5 qcm.

Diese Form ist in der Weise zu stande gekommen, daß in einem Kreise von 3 Zoll Durchmesser 6 kleinere Kreise von je 1 Zoll Durchmesser eingelagert sind. An der engsten Stelle der schraffierten Figur sind noch

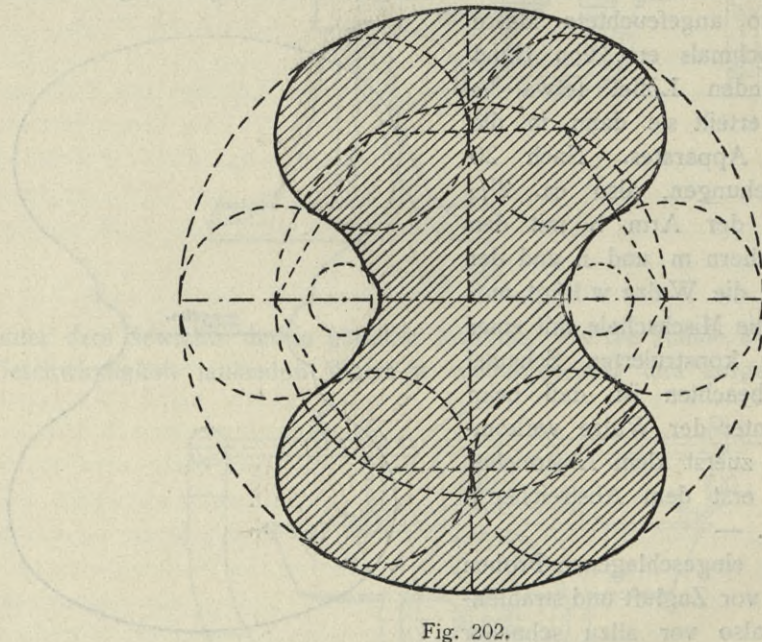


Fig. 202.

2 Kreise von 10 mm Durchmesser und einem Abstände von 22·5 mm von einander angeordnet (Fig. 202).

Die Formen waren früher gewöhnlich in der Längsmittellinie geteilt, und die beiden Hälften wurden durch Schrauben oder Bügelfedern (Fig. 203) zusammengehalten. Das bedingt leicht Fehlerquellen, da beim Nachlassen vornehmlich der Federn der Querschnitt und damit die scheinbare Festigkeit größer wird.

Für Proben aus reinem Zement, welche erst nach erfolgtem Abbinden entformt werden, ist diese Zweiteilung der Formen leider nicht gut zu entbehren. Für Mörtelproben aber, welche meist sofort nach dem Einschlagen aus der Form genommen werden, ist es zu empfehlen, ungeteilte Formen zu wählen und die Probekörper mittels besonderer Entformer auszuschalen.

Doch auch für reine Proben werden neuerdings die ungeteilte Form und das Ausschalen des Probekörpers mittels Entformers bevorzugt.

Die Druckfestigkeitsprobeformen sind dagegen meist geteilt, und zwar in der Diagonale des Würfels. Da indessen die Druckprobekörper, infolge der Schwierigkeit einer exakt-gleichmäßigen Ausschalung, laut Vereinbarung stets erst nach erfolgtem Abbinden aus den Formen genommen werden, so hat hier die Teilung der Form weniger Bedenken.

Das Einschlagen der Proben kann mit der Hand wie auch maschinell erfolgen; letzteres ist natürlich immer vorzuziehen, da die menschliche Kraft resp. Arbeitsleistung eine sehr verschiedene ist. Zum wenigsten soll man der jeweiligen Kraft auch das Schlaginstrument, Schlägel oder eisernen Spatel, anpassen. Die Höhe des Schlages wird ja nur wenig differieren; aber Anzahl der Schläge und Gewicht des Spatels müssen im Einklang mit der zu Gebote stehenden Arbeitskraft sein. Das Gewicht des Spatels wird man danach zu 250, 300 oder 350 g nehmen; die Gesamtlänge beträgt einheitlich 350 mm, die Aufschlagfläche  $40 \times 80$  mm.

Bei Handarbeit setzt man die Zugfestigkeitsform auf eine eiserne oder sonst nicht absaugende feste Platte und füllt sie mit dem fertigen Mörtelbrei auf einmal an, sodaß sie gehäuft voll ist. Ein nachträgliches Aufgeben von Mörtelmasse ist streng zu vermeiden. Dann schlägt man die Masse mit dem Spatel ein, zuerst seitlich und nur mäßig, dann immer stärker, bis sich, etwa nach einer Minute, auf der Oberfläche blankes Wasser zeigt, der Mörtel also plastisch geworden ist. Nun streicht man das Ueberstehende mit einem graden, *unelastischen* Messer ab, glättet die Oberfläche (sehr vorsichtig) und schalt den fertigen Probekörper aus, um ihn sofort in einen Zinkkasten einzusetzen.

Druckprobekörper dagegen werden *nicht* von Hand, sondern nur maschinell eingeschlagen, sofern nicht gerade Schnellbinder resp. Gießzemente vorliegen.

Die beiden bekanntesten und eingeführtsten Apparate hierzu sind der Böhme'sche Hammerapparat und die Klebe'sche Fallramme.

Die Aufbereitung des Mörtels selbst ist dieselbe wie bei der Handarbeit; auch werden die Probekörper meist sofort entformt. Als Zeichen der richtigen Mörtelkonsistenz gilt bei der Maschinenarbeit, daß sich nach dem 100. Schläge etwas Wasser unten am Rande der Form absondert, was man durch einen Tastversuch leicht feststellen kann.

Das Prinzip des *Böhme'schen Hammerapparates* (Fig. 204) beruht wesentlich auf einem Fallhammer, der an einem Ende axial beweglich eingelagert ist und um diese Axe schwingt. Der Stiel aus Hickoryholz trägt am schwingenden Teile den eigentlichen Stahlhammer von 2 kg netto, am anderen Teile einen schmiedeeisernen Schwanz. Hammerstiel und Schwanz

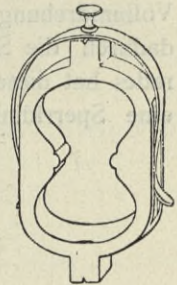


Fig. 203.

sind vollkommen ausbalanciert, um das absolute Hammergewicht genau zur Geltung kommen lassen zu können.

Am Schwanzende des Hammers greift ein Hubrad ein, dessen zehn weitgestellte Zähne bei jedesmaliger Umdrehung dieses Hubrades den Schwanz herunterdrücken und damit den Hammer zehnmal heben und wieder fallen lassen. In Bewegung gesetzt wird das Hubrad mittels einer Kurbel, deren Drehung durch ein kleines Vorgelege auf das Rad selbst übertragen wird.

An dem Apparat ist weiter noch eine kleine Scheibe angebracht, welche am Rande einen kleinen Ausschnitt hat und außerdem noch eine Anzahl von Stiften trägt, gewöhnlich deren 15. In diese Stifte greift bei jedesmaliger Vollumdrehung des Hubrades eine einzelne Nase desselben ein und bewegt dadurch die Scheibe je um einen Stift vorwärts. Nach 15 Touren des Hubrades hat diese Nase dann alle 15 Stifte passiert. In diesem Augenblick wird eine Sperrklinke (durch eigenes Uebergewicht oder Federdruck) ausgelöst:

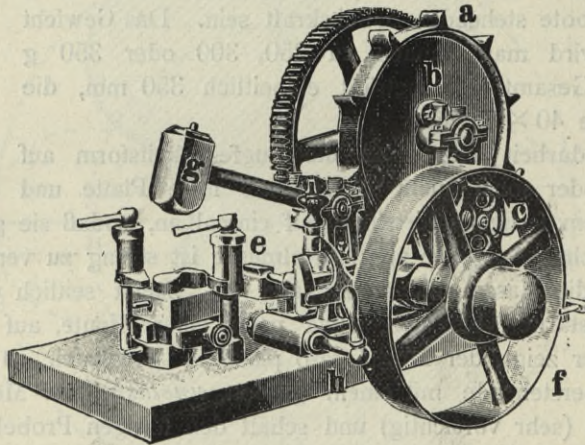


Fig. 204.

dieselbe faßt einerseits in den Ausschnitt der Scheibe, andererseits in einen Zahn des Hubrades und stellt damit den Apparat sofort still.

Dann sind also entsprechend den 10 Zähnen und 15 Stiften  $10 \times 15 = 150$  Schläge mit dem Hammer gemacht, dessen Fallhöhe im übrigen auf 25 cm bemessen ist.

Nach Beendigung des Einschlagens hebt man die Sperrklinke etwas an und dreht die Scheibe mit den Stiften auf ihre Anfangsstellung zurück.

Die Abbildung (Fig. 204) zeigt den Apparat, für maschinellen Antrieb, in Tätigkeit. Die am Daumenrad resp. Hubrad a befestigte Knagge b faßt in die (wenig sichtbare) Scheibe des Zählrades, welches mit dem Handrad c verbunden ist. Nach 150 Schlägen steht dann der Ausschnitt am Rande des Zählrades über der Knagge des Sperrhebels e. Indem dieser herniederfällt, kuppelt er die Antriebscheibe f los, sodaß diese leer läuft und der Apparat im gleichen Augenblicke zum Stillstand kommt.

Um den Apparat wieder in Tätigkeit zu setzen, wird der Hammer g senkrecht gestellt und der Hebel h nach links gedreht, bis derselbe eine wagerechte Lage annimmt. Hierdurch wird der Sperrhebel e gehoben und die Bewegung des Handrades bezw. des Zählrades freigegeben. Nun dreht

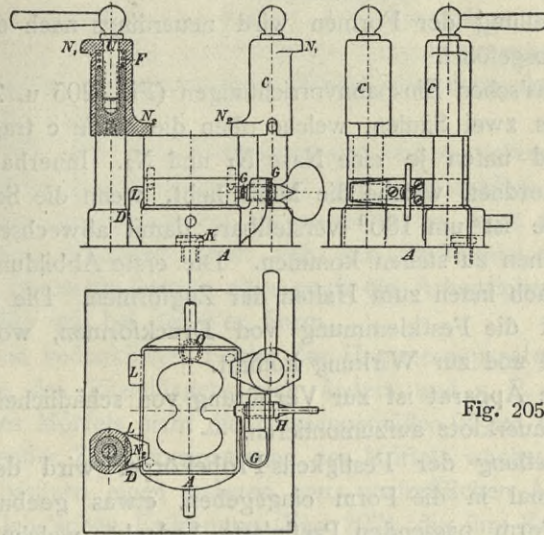


Fig. 205.

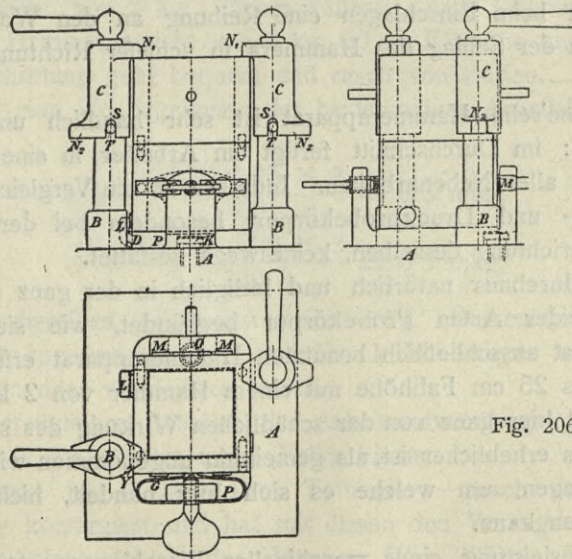


Fig. 206.

man das Handrad c so weit nach rechts, bis der auf der Rückseite befindliche Stift einem gleichen Stift, welcher am Lagerbock befestigt ist, gegenübersteht. Jetzt wird der Hebel h in seine senkrechte Lage zurückgedreht und der Hammer niedergelegt. Die Inbetriebsetzung erfolgt durch Niederdrücken des Knopfes i, bis der mit diesem verbundene Hebel einklinkt, wo-



durch die Kuppelung eingerückt wird. Der Hammer beginnt sofort zu arbeiten, bis nach dem 150. Schläge die Antriebscheibe *f* durch Niederfallen des Hebels *e* losgekuppelt wird.

Bei maschinellem Antrieb soll die Riemenscheibe, anderenfalls die Kurbel in 2 Sekunden eine Umdrehung machen.

Die Feststellung der Formen wird neuerdings nach den Angaben von Prof. Martens ausgeführt.

Die Martens'schen Einspannvorrichtungen (Fig. 205 u. 206) bestehen im wesentlichen aus zwei Säulen, welche oben die Muffe *c* tragen. Die Muffen haben oben und unten je eine Nase  $N_1$  und  $N_2$ . Innerhalb der Muffen ist eine Feder angeordnet, welche die Muffe hebt, wenn die Schraube gelockert wird. Die Muffe ist um  $180^\circ$  verstellbar, damit abwechselnd die Nasen  $N_1$  oder  $N_2$  nach innen zu stehen kommen. Die erste Abbildung (Fig. 205) zeigt die Nasen  $N_2$  nach innen zum Halten der Zugformen. Die zweite Abbildung (Fig. 206) zeigt die Festklemmung von Druckformen, wobei die Nase  $N_1$  nach innen steht und zur Wirkung kommt.

Der ganze Apparat ist zur Verhütung von schädlichen Vibrationen auf einen soliden Mauerklotz aufzumontieren. —

Zur Herstellung der Festigkeits-Probekörper wird der gut gemischte Mörtel auf einmal in die Form eingegeben, etwas geebnet und mit einer genau in die Form passenden Preßplatte bedeckt, welche die Schläge des Hammers auf die unter ihr befindliche Mörtelmasse überträgt.

Leider ist beim Einschlagen eine Reibung an den Wandungen unvermeidlich, da ja der Schlag des Hammers in schiefer Richtung auf die Preßplatte auftrifft. —

Der Böhme'sche Hammerapparat ist sehr handlich und arbeitet auch ziemlich schnell: im Durchschnitt fertigt ein Arbeiter in einer Stunde 12 bis 15 Proben inkl. aller Nebenarbeiten. Indessen ist ein Vergleich der damit angefertigten Zug- und Druckprobekörper, besonders bei der vorstehend beschriebenen Einrichtung desselben, keineswegs gestattet.

Das ist durchaus natürlich und lediglich in der ganz ungleichmäßigen Anfertigung beider Arten Probekörper begründet, wie sie durch den in Deutschland fast ausschließlich benutzten Hammerapparat erfolgt: beiderseits 150 Schläge aus 25 cm Fallhöhe mit einem Hammer von 2 kg Gewicht.

Verf. sieht hier ganz von der schädlichen Wirkung des schiefen Schläges ab, die übrigens erheblicher ist, als gemeinhin angenommen wird, die aber für Vergleichsprüfungen, um welche es sich hier handelt, nicht sonderlich in Betracht kommen kann.

Die Arbeitsleistung eines maschinellen Einschlagapparates setzt sich zusammen aus dem Produkte von dem Gewichte des Hammers, Fallhöhe desselben und Anzahl der Schläge, dividiert durch die Anzahl der Kubikeinheiten der dabei in Betracht kommenden Materialmengen (in trockenem Zustande).

Nun werden in Deutschland Zug- und Druckprobekörper meistens mit

ein und demselben Apparat und unter ein und denselben Verhältnissen eingeschlagen. In diesem einfacheren Falle verhalten sich also die beiderseits aufgewendeten Arbeitsleistungen umgekehrt wie die Summen der Kubikeinheiten der zur Verarbeitung kommenden trockenen Materialien. Nimmt man als solche für den Würfel 750 g, für die 8'er Form 200 g, so kommt man damit auf ein Verhältnis von etwa 1 : 3·5. Gegenüber dieser dreieinhalbfachen Arbeitsleistung für die gewöhnlichen Zugproben erhellt sofort deren höhere Druckfestigkeit gegenüber dem Würfel, die nach den Ermittlungen des Verf. fast 50 % beträgt.

Man hat denn auch den Hammerapparat etwas verbessert, indem man für die Druckproben das Hammergewicht auf 3 kg erhöhte und die Anzahl der Schläge bei den Zugproben auf 100 verminderte; auch soll die Fallhöhe abgeändert werden. Dadurch stellt sich das Verhältnis schon wesentlich besser auf 5 : 3. Immerhin beträgt aber noch die Arbeitsleistung beim Würfel nur etwa die Hälfte wie bei der 8'er Form.

Weiter ist ein bedenklicher Fehler des Hammerapparates, daß die Hubhöhe im Verlaufe des Einschlagens sich ändert und z. B. im Beginn des Komprimierens des Mörtels nicht die normengemäßen 25 cm erreicht, andererseits mit zunehmender Zusammenpressung des Mörtels wächst. —

Aber wir besitzen einen anderen ganz vortrefflichen Apparat für diese Zwecke in der Klebe'schen Fallramme (Fig. 207), die ihre Konstruktion einer Idee des Prof. Tetmajer verdankt. Dieser Apparat erlaubt für Zugproben ein Hammergewicht von 2 kg, 25 cm Fallhöhe und 120 Schläge, dagegen für Würfel ein Hammergewicht von 3 kg, 50 cm Fallhöhe und 150 Schläge.<sup>1)</sup> — Die Auswechselung geht bequem und rasch von statten.

Betrachtet man die Ergebnisse der beiderseitigen Arbeitsleistungen dieses Apparates :

$$z = \frac{120 \times 0.25 \times 2}{200} = 0.3 \text{ mkg,}$$

$$d = \frac{150 \times 0.50 \times 3}{750} = 0.3 \text{ mkg,}$$

so ergeben sich dieselben als absolut gleichwertig. Dementsprechend werden auch die damit angefertigten Zug- und Druck-Probekörper sich nahezu einwandfrei mit einander vergleichen lassen.

Diesem vorzüglichen Resultat der Arbeitsaufwendung gesellt sich noch der andere Vorteil des absolut freien Falles hinzu.

Der Apparat ist — nach Prof. Tetmajer — nach dem Prinzip der Friktionshämmer konstruiert und hat mit diesen den Vorzug eines konstanten Hubes für jede Anfangsstellung des Hammers (Fig. 207).

Der Hammer D wird durch zwei parallel gespannte Drähte geführt und an einer mit ihm festverschraubten, steifen Holzleiste mittels zweier Friktionsrollen aufgehoben. Zur Erzeugung der Friktion dienen zwei kräftige Schrauben-

<sup>1)</sup> Vergleiche hierzu die Normen in Oesterreich und der Schweiz.

federn, welche beiderseits zwischen die Lager der Friktionsrollen eingeschaltet sind. Die Spannung der Federn sowie der Abstand der Friktionsrollen wird mittels zweier Stellschrauben, von denen die einen auf der Abbildung sichtbar ist, am drehbaren Lager der kleineren Rolle reguliert.

Die Hubhöhe ist auf dem Umfang der größeren Rolle aufgetragen, indem ein Teil derselben, deren Länge gleich dem Aufhub ist, geraucht wurde, während dem übrigen Teil ein kleinerer Durchmesser und glatte Oberfläche gegeben ist. Bei Umdrehung der größeren Rolle wird durch den gerauchten

Teil die Hubleiste gegen die kleinere Rolle gepreßt und mit dem Hammer aufgehoben. Beim Vorübergang des glatten, zurückstehenden Teiles der größeren Rolle fällt der Hammer auf den Stempel der untergesetzten Form frei herab.

Die Anzahl der vollführten Schläge wird durch das Zahngetriebe *o* gezählt und durch ebendasselbe die Friktion aufgehoben, sobald die vorher am Zählrädchen eingestellte Schlagzahl erreicht ist.

Die Endbewegung des Getriebes führt einen am Zählrädchen sitzenden Hubstift unter den Hebel, wodurch derselbe aufgehoben und die kleinere Rolle von der Hubleiste abgedrückt wird. Der Hammer bleibt solange ausgelöst, bis durch Zurückdrehen des Zählrädchens der Hubstift unter dem Hebel wieder entfernt ist.

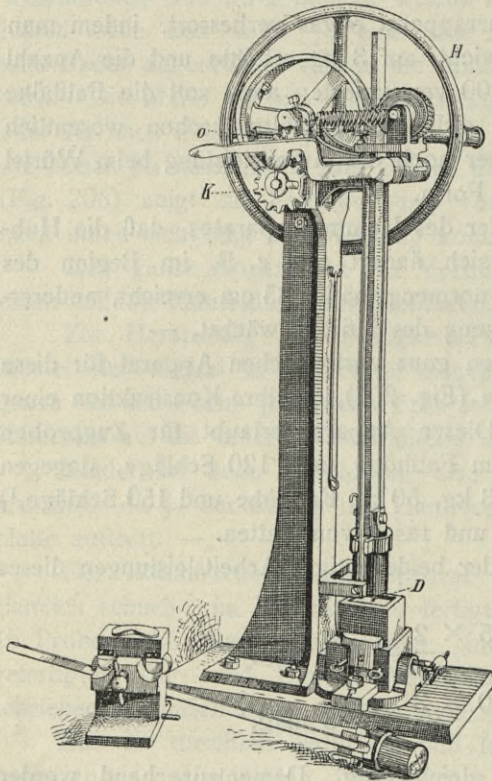


Fig. 207.

Die Klebe'sche Fallramme wird für Zugproben oder Druckproben allein, sowie als Universalapparat für beide Proben geliefert, ebenso für Handarbeit wie für Maschinenarbeit. —

Als Probekörper für Druckfestigkeiten hat man den Würfel bevorzugt und prüft diesen stets an den Seitenflächen, um hinsichtlich der Parallelität der beiden Flächen, welche den Druck aufnehmen, sicher zu gehen. Die Größe der Würfel beträgt meist 70·7 mm Kantenlänge = 50 qcm Fläche, seltener 50·0 mm Kantenlänge = 25 qcm Fläche. Für Betonstücke nimmt man gewöhnlich größere Würfel von 141·4 mm Kantenlänge = 200 qcm Fläche. —

Aber auch die Klebe'sche Ramme genügt nicht allen und jeden Ansprüchen. Und zwar ist die Gleichmäßigkeit in der Arbeitsleistung für Zug- und Druckfestigkeitsprobekörper insofern nicht vollständig gewahrt, als die Einheitlichkeit der Zeit fehlt: 120 Schläge gegenüber 150 Schlägen.

Verf. ist deshalb, einer ähnlichen Idee Prüssings (Hemmoor) folgend, dazu übergegangen, die Zug- und Druckfestigkeitsprobekörper von gleichem kubischen Inhalt zu machen, ausgehend von dem kubischen Inhalt der Zugform. Die Würfelform der Druckkörper wurde dadurch auf 41·2 mm Kantenlänge resp. 17 qcm Querschnitt bemessen.

Beiderseits erfolgt nunmehr die Arbeitsleistung mit 120 Schlägen des 2 kg Hammers von 25 cm Fallhöhe, also unter absolut identischen Verhältnissen.

Die kleineren Druckkörper haben weiterhin noch den Vorteil, sich gleichmäßiger durch die ganze Masse herstellen zu lassen und zu ihrer Prüfung nur geringeren Druckes, d. h. leichter Pressen zu bedürfen.

Die kleinen Würfelformen sind überdies ungeteilt; sie ermöglichen dadurch genauestes Einhalten des Querschnittes, die Benutzung eines Entformers und leichtes Reinigen.

Arbeitet man dann schließlich noch, wie Verf., derart, daß immer nur ein einziger Probekörper angefertigt wird, so erzielt man überraschend gleichmäßige Resultate der einzelnen Prüfungsreihen. —

Hat man nur den Böhmischen Hammer zur Verfügung, und will man trotzdem auch auf Druck prüfen, so ist es am besten, nach einer Anregung von Dr. Michaëlis, die Zugkörper nach dem Zerreißen noch weiter auch gleich zu drücken, wie es Verf. seit Jahren mit allen seinen Proben ebenfalls tut.

Allerdings bedarf das Resultat der gedrückten Zugform einer gewissen Korrektur; denn der Druck resp. die Druckfestigkeit wächst mit abnehmender Höhe des Probekörpers. Verf. hat diesen Reduktions-Koeffizienten an mehreren tausend Einzelversuchen festgestellt und zwar für das Verhältnis des großen Druckwürfels  $W_1$  von 50 qcm Querschnitt zur Zugprobe  $Z$  wie auch für das seiner kleinen Druckwürfel von nur 17 qcm Querschnitt einerseits zum großen Würfel  $W_1$  und andererseits ebenfalls zur Zugform  $Z$ . Danach verhalten sich die Druckfestigkeitsergebnisse

$$W_1 : W_2 : Z = 7 : 9 : 10.$$

Drückt man also einen Zugkörper, so hat man das gefundene Resultat nur mit  $\frac{7}{10}$ , drückt man den kleinen Würfel des Verf., so hat man das Resultat nur mit  $\frac{9}{10}$  zu multiplizieren, um jedenfalls der Wirklichkeit außerordentlich angenäherte Zahlen zu erhalten, Zahlen, die bei weitem exakter sind, als diejenigen aus der falschen Arbeitsleistung des Hammer-Apparates. —

Bei Einhaltung der Arbeitsweise des Verf. verwendet man ausschließlich ungeteilte Formen und schalt die Probekörper mittels Entformers aus. Das ist für Zugprobekörper sogar unerläßliche Bedingung, für den Fall, daß man sie auch auf Druck prüfen will. Anderenfalls wäre es unmöglich, eine absolut

ebene Oberfläche zu erhalten, die also den Druck auf allen Punkten der Oberfläche durchaus gleichmäßig aufzunehmen vermag.

Der Apparat von Dr. Michaëlis (Fig. 208) ist eine Preßplatte vom gleichen Querschnitt wie die Form des Probekörpers. Der sie tragende Stab gleitet beweglich in einer Führung, in der er auch mittels Schraube festgestellt werden kann. Die Form selbst hat zwei Einkerbungen, durch welche ein genaues Anpassen an die richtige Stelle unter der Stempelplatte erzielt wird.

Die Handhabung ist überaus einfach. Man bringt die Form mit dem fertig eingeschlagenen Probekörper auf einer Glasplatte in die richtige Lage unter die Preßplatte, setzt die letztere mit einem kräftigen Schlag auf den Probekörper fest auf und stellt den Führungsstab der Preßplatte mittels der Schraube fest. Hier-nach zieht man die Form vorsichtig nach oben ab, löst die Stellschraube und hebt die Preßplatte vom Probekörper ab.

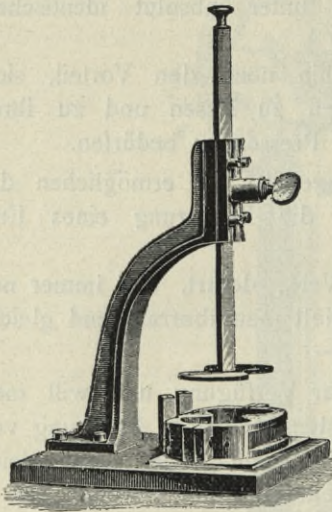


Fig. 208.

Um glatte Flächen des Probekörpers zu erzielen, empfiehlt es sich, außer dem Papier zwischen der unteren Glasplatte und dem Probekörper, auch zwischen diesem und der oberen Preßplatte ein dünnes Seidenpapier von dem gleichen Querschnitt wie die Form einzulegen. —

Nachdem sowohl die Zugfestigkeits- wie auch die Druckfestigkeitskörper 24 Stunden nach ihrer Anfertigung in feuchter Luft gelagert haben, werden sie in einen Zinkkasten mit Wasser von 15—18° C. eingesetzt, sodaß sie ganz bedeckt sind. Dieses Wasser ist wenigstens jeden Monat einmal zu erneuern. In diesem Wasser verbleiben die Proben (meist 27 Tage) bis unmittelbar vor ihrer Prüfung. Ein etwas längeres Verweilen an der Luft nach Entnahme aus dem Kasten hat eine nicht unwesentliche Veränderung der Festigkeit im Gefolge. —

\* \* \*

Meist werden noch die Probekörper 24 Stunden nach ihrer Anfertigung auf ihre *Dichte* geprüft.

Hierzu kann man sich u. a. der Volumenometer von Dr. Michaëlis (s. S. 133) oder von Seger (s. S. 367) bedienen. Ein besonderer Apparat ist hierfür noch der folgende.

Weniger zerbrechlich bei gleicher Genauigkeit als das Seger-Volumenometer ist das Volumenometer von Ludwig, welches in Fig. 209 dargestellt ist. Dasselbe besteht aus dem zylindrischen Glasgefäß a mit breitem, eben-

geschliffenem Rande, welches seitlich einen Tubus mit Hahn b trägt. Auf dieses Gefäß paßt der Deckel c, welcher sich konisch zu einem Rohr verjüngt, das nach oben in einen kleinen Trichter ausläuft. Auch der Deckel besitzt einen ebengeschliffenen breiten Rand, damit das Gefäß a und der Deckel c wasserdicht aufeinander schließen. Der Deckel wird, damit er stets mit dem gleichen Gewicht gegen den Rand des Gefäßes a gedrückt wird, von dem Bleiring e beschwert, wie aus der Abbildung ersichtlich. Erwähnt sei noch, daß der untere Durchmesser des Deckels c etwas größer ist als der Durchmesser des Gefäßes a, damit sich keine Luftblasen an dem Deckelrand fangen. Zwecks Feststellung des Rauminhaltes des Probekörpers wird das Volumenometer zunächst bis zur Marke 0, welche sich auf dem Rohransatz des Deckels befindet, gefüllt, sodann durch Hahn b in ein gewogenes (tariertes) Becherglas soviel Wasser abgelassen, daß der mit Wasser gesättigte Versuchskörper in das Gefäß a eingelegt werden kann, und nunmehr der Apparat wieder bis zur Marke 0 mit der ausgelaufenen Flüssigkeit angefüllt. Das Gewicht des im Becherglase verbleibenden Teiles der letzteren entspricht dem gesuchten Volumen des Probekörpers. —

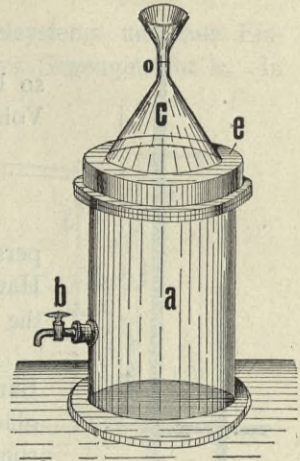


Fig. 209.

Ohne Apparate kann man, bei bekanntem Volumen der Formen resp. der Probekörper die Dichte aus ihrem Gewichte bestimmen:  $\delta = \frac{g}{v}$ . —

Prof. Tetmajer bestimmt schließlich noch die *Porosität* hydraulischer Bindemittel resp. deren Mörtel in festem Zustande mittels der sog. Paraffin-Probe.<sup>1)</sup>

Der bei ca. 110° C. bis zum konstanten Gewicht getrocknete Körper wird gewogen, durch schnelles, wiederholtes Eintauchen in flüssiges Paraffin mit einer 1—2 mm dicken Paraffinschicht umhüllt, wobei eingeschlossene Luftbläschen mittels eines warmen Eisenstiftes beseitigt werden. Der auf Lufttemperatur abgekühlte Probekörper wird nochmals gewogen und das anhaftende Paraffin aus der Gewichts-differenz ermittelt.

Aus diesem Paraffingewichte  $G_p$  und dessen spezifischem Gewicht ( $\gamma = 0.93$ ) berechnet man das Volumen des Paraffins aus

$$V_p = \frac{G_p}{0.93} \text{ in ccm.}$$

Ist nun

G in g das Körpergewicht ohne Umhüllung,

V in ccm das Gesamtvolumen des Körpers + Umhüllung,

<sup>1)</sup> Tetmajer, Hydraul. Bindemittel, 1893, S. 108/109.

$\gamma$  das spezifische Gewicht der Substanz ohne Poren, welches entsprechend an feinem, trockenem Mehl des betr. Körpers ermittelt wird,

$\delta$  das spezifische Gewicht der Substanz mit Poren, berechnet aus

$$\delta = \frac{G}{V - V_p},$$

so beträgt die Porosität der Substanz in Prozenten des Volumens :

$$n = 100 \frac{\gamma - \delta}{\gamma}.$$

Zur Bestimmung des Gesamtvolumens  $V$  des Körpers mit seiner Paraffinhüllung benutzt Tetmajer das Hauenschild'sche Volumometer, das übrigens auch für die einfache Dichtenbestimmung benutzt wird.

Dasselbe (Fig. 210) besteht aus einem Stativ, einer Bürette mit  $\frac{1}{10}$  ccm Teilung und einem dickwandigen, gläsernen Meßgefäß mit geschliffenem Rand und bestimmtem Inhalt bis zur Nadelspitze. Die Bürette wird mit destilliertem Wasser gefüllt und der Fassungsraum des mittels Libelle horizontal gestellten Meßgefäßes durch einen Vorversuch kontrolliert.

Nach Einstellung des Apparates wird der Probekörper in das Meßgefäß eingelegt und aus der Bürette so lange, schließlich tropfenweise, Wasser zufließen gelassen, bis das Wasserniveau die Nadelspitze erreicht. Beobachtet man die Lage des Spiegelbildes der Nadelspitze im Wasser, so läßt sich der Moment der Berührung von Nadelspitze und Wasserniveau recht genau bestimmen. Aus dem bekannten Volumen des Meßgefäßes und des bei der Probe verbrauchten Wassers geht als Differenz das gesuchte Körpervolumen hervor.

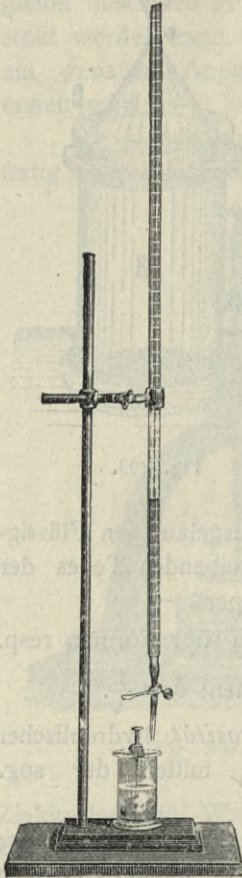


Fig. 210.

\* \* \*

Je nach ihrer Herstellung werden die Körper auf Zug oder auf Druck, oder auf Zug und Druck geprüft, welches letzteres eigentlich theoretisch das allein richtige ist. Beide Prüfungen erfolgen maschinell.

Für die Zugfestigkeitsprüfungen hat sich in erster Reihe fast international der deutsche Normal-Zugfestigkeitsapparat von Frühling, Michaëlis & Co. (Fig. 211) eingeführt.

Derselbe beruht auf einem Doppelhebelsystem, von dessen beiden übereinander angeordneten Hebeln der obere  $a$  eine zehnfache, der untere  $b$  eine fünffache Uebersetzung aufweist. Getragen werden beide von einem eisernen Stativ von ca. 360 mm Höhe.

Die obere Klammer  $d$ , in welche der zu zerreißende Probekörper  $i$  ein-

gespannt wird, hängt auf einem Dorn, die untere e ist mittels Kugelgelenks an einer Schraubenspindel mit Stellrad f befestigt. Dadurch wird ein sicheres Angreifen der Klammern und zugleich der Zugkraft in vier Punkten ermöglicht.

Zur genauen Ausbalanzierung des ganzen Hebelsystems und zur Einstellung in die Gleichgewichtslage dient ein verstellbares Gegengewicht k. In der Gleichgewichtslage sind die Ebenen, welche durch die Schneidekanten gehen, genau horizontal.

Am Zugende des oberen Hebels ist ein Bügel l aufgehängt, der zur Aufnahme des Schroteimerchens c bestimmt ist.

Zur Vornahme der Prüfung schiebt man den Probekörper vorsichtig in die Klammern ein, hängt den Schroteimer in den Bügel und stellt das Hebelsystem durch Drehen des unteren Stellrades in

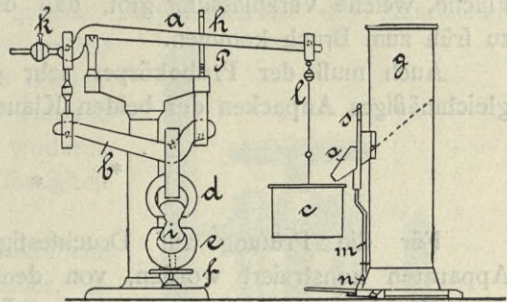


Fig. 211.

die Gleichgewichtslage ein. Dann läßt man aus einem Schrotzulaufgefäß g durch Oeffnen des automatischen Verschlusses n, m, o, s Schrot in das Eimerchen laufen, bis der Probekörper an dem eingeschnürten Querschnitt zerreißt.

Der dabei jäh herabfallende Eimer schließt zugleich selbsttätig die Oeffnung des Schrotauslaufgefäßes.

Dann wägt man Eimer und Schrot auf einer Federwage <sup>1)</sup> und erhält durch Multiplikation mit 10 das absolute Zugfestigkeitsgewicht für 1 qcm (50fache Uebertragung dividiert durch die 5 qcm des Querschnittes).

Das Schrotauslaufgefäß soll so beschaffen sein, daß es das Schrot möglichst senkrecht ausfließen läßt, und die Menge des ausfließenden Schrotes (also die Korngröße) soll derartig bemessen werden, daß in 1 Sekunde genau 100 g ausfließen. Ein rascheres oder langsames Ausfließen bewirkt eine Veränderung im Ergebnis der Prüfung.

Ebenso soll man für alle Prüfungen stets einunddasselbe Eimerchen benutzen, da es durchaus unlogisch wäre, wenn die Zulaufgeschwindigkeit des Schrotes genau festgesetzt ist, die Prüfung von vornherein mit einer jeweilig stärkeren oder schwächeren Belastung beginnen zu wollen.

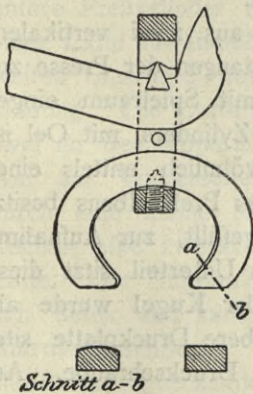


Fig. 212.

<sup>1)</sup> Statt einer Federwage kann man die Wägung auch an dem Apparat selbst vornehmen, wofür am langen Arm des oberen Hebels eine kleine Gewichtsschale, am kurzen ein Haken für das Eimerchen vorgesehen ist. Das gefundene Gewicht ist dann mit 100 zu multiplizieren.



Will man Probekörper mit sehr niedriger Festigkeit prüfen, so wird das Eimerchen zusammen mit dem Hebelsystem ausbalanciert, sodaß nur das absolut zugelaufene Schrot gewogen wird.

Die Klauen, welche die Zementproben umfassen, müssen innen abgerundet gestaltet sein, nicht eben, wie bei den älteren Apparaten.

Die Abbildung (Fig. 212) zeigt in dem Schnitt a-b die Gestaltung der Angriffsfläche und daneben die alte, zu verwerfende Form der Klaue mit ebener Fläche, welche Veranlassung gibt, daß die Proben sich leicht klemmen und zu früh zum Bruch kommen.

Auch muß der Probekörper sehr genau eingehängt werden, um ein gleichmäßiges Anpacken der beiden Klauen zu erreichen.

\* \* \*

Für die Prüfung auf Druckfestigkeit sind eine ganze Reihe von Apparaten konstruiert worden, von denen derjenige von Amsler-Laffon<sup>1)</sup> unter Benutzung einer Idee von Amagat-Lyon, in Ausführung und Exaktheit der Resultate obenan steht. Während hydraulische Apparate meist mit Manschettendichtung versehen sind, die stets einen Teil der geleisteten Druckkraft in sich aufnehmen, damit also zu hohe Resultate geben, schwimmt hier der eingeschliffene Preßkolben in dickflüssigem Glyzerin oder Rizinusöl, dessen Klebrigkeit als Dichtung dient. Dadurch ist jede Reibung aufgehoben und wird nur die effektiv angewendete Druckkraft gemessen.

Im wesentlichen besteht der Apparat (Fig. 213) aus zwei vertikalen, über einander gelagerten Zylindern, die durch die Zugstangen der Presse zusammengehalten werden. Im oberen Zylinder sitzt, mit Spielraum eingeschliffen, der Preßkolben. Behufs Füllung des oberen Zylinders mit Oel ist dieser vertikal durchbohrt, und die Bohrung ist für gewöhnlich mittels einer horizontalen Schraube geschlossen. Das obere Ende des Preßkolbens besitzt eine sphäroidale Vertiefung, eine Pfanne, die, mit Oel gefüllt, zur Aufnahme der unteren Druckplatte dient. Mit dem kugelförmigen Unterteil sitzt diese Druckplatte in der genannten Pfanne. (Das Zentrum der Kugel wurde absichtlich in die Ebene der Druckplatte gelegt.) Die obere Druckplatte sitzt unwandelbar an der mit einem Griffrad versehenen Druckschraube. Am oberen Preßzylinder befestigt sieht man die Antriebskurbel des Druckapparates. Wird diese Kurbel von unten über links nach oben gedreht, so wird eine langsam fortschreitende Bewegung und damit ein Eindringen der Preßspindel in den ölgefüllten Hohlraum des oberen Preßzylinders, also Druck erzeugt. Soll die Preßspindel zurückgezogen, d. h. in die Ausgangsstellung gebracht werden, so hat man einfach die Antriebskurbel in entgegengesetzter Richtung zu drehen.

<sup>1)</sup> Schweizer. Bauzeitung, 1889, No. 7. — Der schweizerische Normal-Druckapparat: Tetmajer, Mitteilungen der Anstalt zur Prüfung von Baumaterialien am eidgen. Polytechnikum in Zürich, Heft 6, 1893.

Der untere Zylinder enthält den großen Kolben des Differentialmanometers; der kleine Kolben dringt behufs Druckaufnahme durch den Boden in den oberen Preßzylinder ein. Die Dichtung dieser Kolben ist selbstredend ebenfalls nach Amagats Prinzip durchgeführt. Nahe am oberen Rande des unteren Zylinders befindet sich eine kleine Oeffnung, aus welcher ein mit dem Differentialmanometer fest verbundener Hebel hervorragt. Dieser Hebel dient zur Bewegung des die Kraft auf das Quecksilbermanometer übertragenden Differentialkolbens. Bei der großen Empfindlichkeit des Manometers erschien es notwendig, diesen Hebel mittels einer angemessenen Führung an die Kurbelwelle zu hängen, sodaß er sich während des Versuches in Bewegung befindet, wodurch Reibung und Klebrigkeit der Flüssigkeit eliminiert werden.

Der Hohlraum des unteren Preßkolbens ist zum kleineren Teile mit Quecksilber, im übrigen, ähnlich wie der Hohlraum des oberen Preßzylinders, mit Glycerin gefüllt, welches nach Bedarf mittels einer kleinen, seitlich am unteren Preßzylinder befestigten Handpumpe eingebracht werden kann.

Durch ein eisernes Röhrchen steht der untere Preßzylinder mit der lotrechten, auf einer Latte unwandelbar befestigten, ziemlich weiten Glasröhre des Manometers in Verbindung. Die Latte selbst ist getragen durch zwei an den Apparat angeschraubte Arme. Auf der Vorderseite dieser Latte schleift, durch eine kleine Mikrometerschraube verstellbar, eine zweite, die Teilungen tragende Latte. Der Nullpunkt der Teilung befindet sich unten und kann mittels der genannten Mikrometerschraube auf den jeweiligen Stand des Quecksilbers im Glasrohre des Manometers eingestellt werden. In diesem

Glasrohre ist ein ausbalanzierter, eiserner Stabschwimmer angebracht. Der Faden, an welchem das Gegengewicht des Schwimmers hängt, läuft über eine am oberen Ende der festen Latte ganz leicht gebremste, kleine Rolle. Der leiseste Zug am Faden der Bremsbacke genügt, um den Stabschwimmer in eine langsame Abwärtsbewegung zu versetzen. Sitzt demnach der Schwimmer auf der Quecksilbersäule auf und man steigert den Druck im Apparate, so wird vermöge der gewählten Konstruktion der Stabschwimmer nahezu widerstandslos gehoben und bleibt an der erreichten höchsten Stelle der Quecksilbersäule stehen, wenn der Druck absichtlich oder zu Folge Ueberwindung

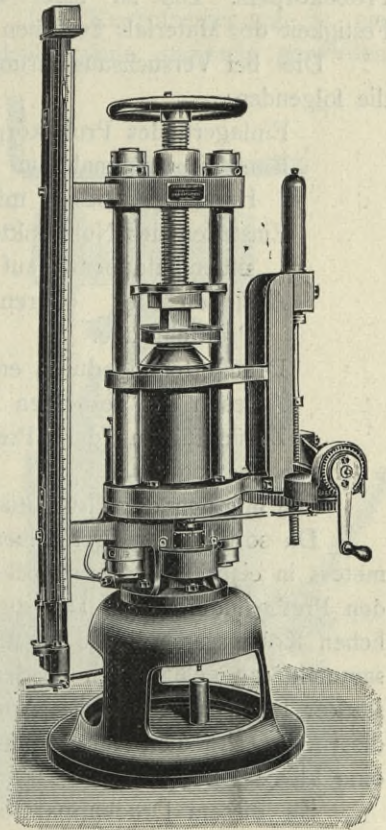


Fig. 213.

der Kohäsion des Materials eines Versuchskörpers plötzlich abnimmt und die Quecksilbersäule zu sinken beginnt.

Der Arbeitsvorgang mit dieser Maschine ist der denkbar einfachste. Der Beobachter hat den Probekörper stets vor Augen, sieht die Veränderungen der Druckverhältnisse im Apparat, braucht keine Gewichte zu heben, noch solche am Schlusse des Versuches zu addieren. Er ist der Mühe jeglicher Zwischen- und Endrechnungen enthoben, denn die Teilungen geben einerseits  $t$  absolut, andererseits Kilo pro Quadratcentimeter der Querschnittsfläche des Probekörpers. Die zu einer Probe erforderliche Zeit schwankt mit der Festigkeit des Materials zwischen 1 und  $1\frac{1}{2}$  Minuten.

Die bei Versuchsausführungen erforderlichen Manipulationen sind kurz die folgenden:

Einlagern des Probekörpers in den Apparat.

Ein- bis zweimal Hin- und Herbewegen des Differentialkolbens von Hand oder besser mittels der Antriebskurbel.

Einstellen des Nullpunktes der Teilungen auf das Niveau der Quecksilbersäule bezw. auf den unteren Rand des Schwimmers.

Anziehen der oberen Druckplatte mittels des Griffrades der Preßschraube.

Druckerteilung durch entsprechende Bewegung der Antriebskurbel.

Ablesen der gesuchten Druckfestigkeit des Materials.

Zurückführen der Preßspindel durch die entsprechende Kurbelbewegung.

Entfernen der Bruchstücke des zermalmten Probekörpers.

Da sowohl der Preßkolben, als auch die Differentialkolben des Manometers in einer Oelsphäre stecken, tritt mit der Zeit ein kleiner Oelverlust in den Preßzylindern ein. Das ausgestoßene Oel fließt in kleine, die unterschiedlichen Kolben umgebende Rinnen und wird zentral in einem Blechgefäß gesammelt, um gelegentlich wieder benutzt zu werden. Ein Nachfüllen hat bei starker Beanspruchung des Apparates etwa alle 14 Tage stattzufinden. Zu diesem Zwecke dient für den unteren wie auch für den oberen Preßzylinder eine kleine Handpumpe.

Zu diesem Druckapparate gehört ein Kontrolapparat. Der Hauptsache nach besteht dieser aus zwei entgegengesetzt angeordneten Hebeln, welche symmetrisch zur Achse gegen die Druckplatte der Druckschraube gestützt sind. Die Angriffsschneiden nehmen den Druck aus dem Preßkolben auf und übertragen ihn im Verhältnis 1 : 15 auf die Hebel, welche die Kontrolgewichte tragen. Statt letztere werden auch wohl Wageschalen angehängt und diese dann entsprechend belastet.

Die Kontrolversuche erfordern besondere Sorgfalt und Umsicht und werden folgendermaßen ausgeführt.

Nachdem der Kontrolapparat auf dem Preßkolben der zu prüfenden Maschine aufgesteckt worden ist, gibt man mittels des Griffrades einen leichten Druck auf den Kontrolapparat, bis sich die Hebel desselben von

ihren Lagern abheben. Nachdem die Differentialkolben mittels deren Hebel behutsam einige Male hin- und herbewegt worden waren, stellt man den Nullpunkt der Teilung auf das Niveau der Quecksilbersäule ein und reduziert sodann mittels der Antriebskurbel den vorhandenen Arbeitsdruck des Apparates. Sobald die Hebel des Kontrollapparates auf ihre Lager zurückgekehrt sind, darf die Belastung der angehängten Wageschalen erfolgen. Zu diesem Zwecke hat man, möglichst gleichzeitig, gleich schwere Gewichte auf die Wageschalen zu legen und den Druck mittels der Antriebskurbel zu geben. Dabei wird die Quecksilbersäule steigen und die Hebel des Kontrollapparates werden wieder gehoben werden. Die Kurbelbewegung ist einzustellen, sobald der Moment, wo die Quecksilbersäule stationär geworden, erreicht ist. Nun wird der Stand der Quecksilbersäule abgelesen, der Apparat durch Rückwärtsbewegung der Antriebskurbel bis zur Rückkehr der Hebel auf ihre Lager entlastet und das Ergebnis der Ablesung und der direkten Belastung verglichen. Diese Operation wird mit allmählich gesteigerten Belastungen innerhalb der Tragfähigkeit der Kontrollhebung ein-, zweimal wiederholt.

Die Presse ist für eine Maximalbelastung von 30,000 kg gebaut, und man vermag noch  $\frac{1}{4}$  kg pro Quadratcentimeter genau abzulesen. —

Der hohe Preis des vorstehenden Apparates hat die Firma Weber & Co.-Uster-Zürich veranlaßt, einen billigeren kleinen Druckapparat zu konstruieren, den sie neuerdings, zum Teil nach Angaben des Verf., gegen früher wesentlich verbessert hat. Der Apparat (Fig. 214) ist äußerst handlich und bequem, wiegt nur ca. 250 kg und kostet etwa ein Drittel soviel, wie die andern

großen Pressen. Die Arbeitsverrichtung ist annähernd dieselbe wie bei der Amsler-Laffon'schen Presse, und das Resultat wird an zwei Manometern mit Maximumzeigern abgelesen, von denen das kleinere, bis zu 30 Atmosphären, abstellbar ist, während das größere bis zu 200 Atmosphären weiter geht. — Der Apparat arbeitet für die Kontrollprüfungen auf den Fabriken mehr als ausreichend genau und kann bei seiner Billigkeit für solche warm empfohlen werden.

Eine hydraulische Druckpresse hat auch noch Suchier (Tiefbauamt-Frankfurt a. M.) konstruiert, die bei äußerst kompensiöser Form recht be-

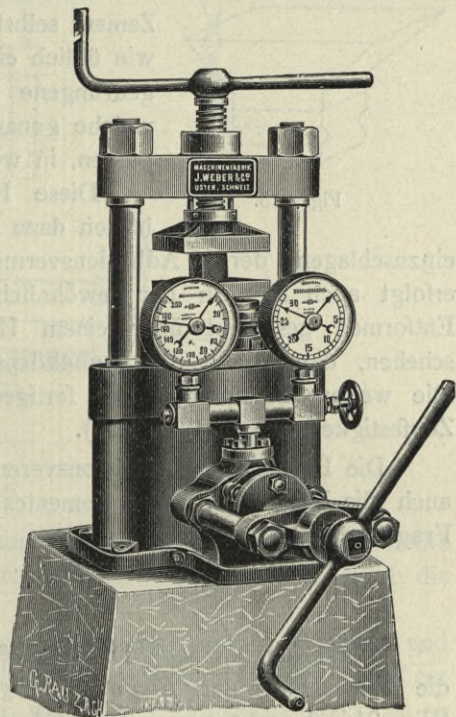


Fig. 214.

friedigende Resultate gibt. Zugleich ist diese Presse auch für Zugfestigkeitsproben eingerichtet. Die Resultate selbst werden an zwei Manometern abgelesen, deren kleineres nur für schwächere Proben bestimmt ist und bei 50 kg pro Quadratcentimeter abgestellt wird. Das größere geht bis 500 kg und gibt noch 1 kg pro Quadratcentimeter genau an. — Die Handhabung ist im wesentlichen die gleiche wie bei den anderen hydraulischen Pressen.

\* \* \*

Außer der Zug- und Druckfestigkeit prüft man ferner noch das *Adhäsionsvermögen*, wozu der Normal-Zugfestigkeitsapparat benutzt wird.

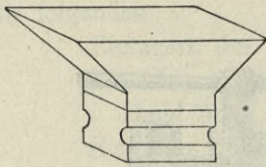


Fig. 215.

Für die Prüfung hat Dr. Michaëlis Haftkörper von Zement selbst (1 Zement : 2 Sand) empfohlen, welche wie üblich eingeschlagen werden. Dieselben, kurze, gedrungene Prismen, haben zwei rundliche Kerben, welche genau in die Wulste der Klauen am Apparate passen, in welche der Haftkörper eingespannt wird. — Diese Haftkörper werden nach längerem Erhärten dazu benutzt, auf sie diejenige Mörtelmischung einzuschlagen, deren Adhäsionsvermögen zu prüfen ist. Das Einschlagen erfolgt auch hier in der gewöhnlichen Weise mittels eines Spatels. Das Entformen geschieht über einem Holzkern und muß sehr vorsichtig geschehen, damit dabei der Probekörper sich nicht vom Haftprisma ablöst. — Die weitere Behandlung der fertigen Körper ist analog derjenigen bei den Zugfestigkeitsproben (Fig. 215).

Die Prüfung auf Adhäsionsvermögen erfolgt leider viel zu selten, wenn auch die Verwendung des Zementes nach dieser Richtung hin weniger in Frage kommt.

\* \* \*

Weiterhin hat noch Dr. Michaëlis seinen Zugfestigkeitsapparat auch für die Ermittlung der *Biegungsfestigkeit* eingerichtet.<sup>1)</sup> — Die Vorrichtung (Fig. 216) besteht aus einer stählernen Brücke A, die anstelle der unteren Zugklaue auf der mit dem Handrad versehenen Zugschraube im Kugelgelenk sitzt. Auf den beiden zylindrischen Schenkeln der Brücke sind die Sättel BB aufgesteckt, welche die Auflagepunkte des Probestabes bilden. Der Angriff der Kraft befindet sich auf der unteren Seite des Stabes in der Mitte, indem sich hier die Druckschneide des Gehänges C an den Probestab anlegt. Spannweite und Querschnittsdimensionen des Probestabes sind behufs Vereinfachung der Berechnung der Biegungsfestigkeit auf ein bestimmtes Maß gebracht. Der Probestab hat quadratischen Querschnitt mit 4 cm Seitenlänge und als Spannweite ist ein freier Abstand der Stützschnitten von 256 mm angenommen.

<sup>1)</sup> Tonindustrie-Zeitung 1898. S. 408 flg.

Für diesen Querschnitt und für die bezeichnete Spannweite ergibt sich die Biegungsspannung  $\sigma$  gleich dem 30fachen der am Hebel 1:50 aufgewandten Last.

Die Verschiebung der Sättel B ist auf der Brücke A nach außen durch zwei Stellringe begrenzt. Nach der Mitte der Brücke zu verschoben, ergibt sich für die Sättel ein Endabstand von 100 mm. Diese Stützweite kommt bei kleinen Probestäben mit  $2 \times 2$  cm quadratischem Querschnitt in Anwendung. Zum Brechen der 2 cm dicken Stäbe muß die Druckschneide des Gehänges um 2 cm gehoben werden. Dieselbe ist zu diesem Zweck mit

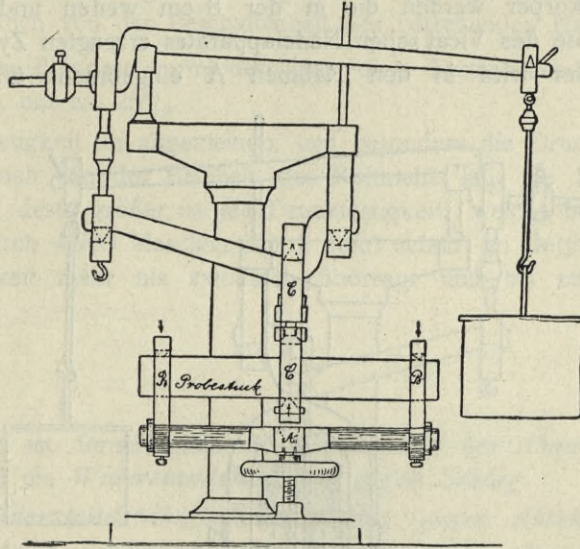


Fig. 216.

seitlichen Führungsleisten versehen und zum Verschieben im vertikalen Sinne eingerichtet. Durch Unterlage eines 2 cm dicken Stahlklötzchens wird die verlangte erhöhte Lage erhalten.

Für gewisse Zwecke verdienen auch Probestäbe mit 4 cm Breite und 2 cm Dicke den Vorzug. Für diese Stäbe ist eine Spannweite von 21.33 cm vorgesehen, unter welchen Verhältnissen sich die Biegungsspannung  $\sigma$  zu 100 P berechnet, wobei P die am Hebel 1:50 aufgewandte Last bedeutet.

$$\left( \sigma = \frac{3 \times P \times 1}{2 \times b \times h^2} \text{ also } \frac{3 \times P \times 21.33 \times 50}{2 \times 4 \times 2^2} \text{ oder } \sigma = 100 \text{ P.} \right)$$

Die großen Stäbe von 16 qcm Querschnitt bieten noch den Vorteil, daß an denselben noch 4 Druckfestigkeitsbestimmungen ausgeführt werden können.

Jede Hälfte des gebrochenen Stabes gibt zwischen zwei Stahlplatten von 4 cm Breite 2 Druckproben, welche nahezu der Würfestigkeit gleichkommen.

Denselben Apparat hat Michaëlis fernerhin umgebaut, um die sogenannte *Lochungsfestigkeit* (Dorneintreibungsfestigkeit) zu ermitteln.

Bei hydraulischen Kalken und bei Puzzolanmörteln bestimmt man meist den Erhärtungsfortgang mittels der belasteten Normalnadel; da diese Nadel von nur 1 qmm Querschnitt aber sehr schwach ist, so kann sie höchstens 5—6 kg Belastung tragen; Sandmörtel, geschweige denn Betonmischungen können nicht auf diese Weise geprüft werden, denn schon ein größeres Sandkorn macht den Versuch, wenn nicht unmöglich, so doch ganz unsicher. Deshalb hat Michaëlis als Ersatz dafür am Normalzugfestigkeitsapparat eine Vorrichtung (Fig. 217) angebracht, welche Dorne von 1 qcm oder 0.75 qcm oder 0.5 qcm oder 0.25 qcm in den zu prüfenden Mörtel eintreibt.

Als Probekörper werden die in der 8 cm weiten und 4 cm hohen zylindrischen Dose des Vicat'schen Nadelapparates erzeugten Zylinder benutzt. Der Probezylinder wird in den Rahmen A eingebracht und gegen die

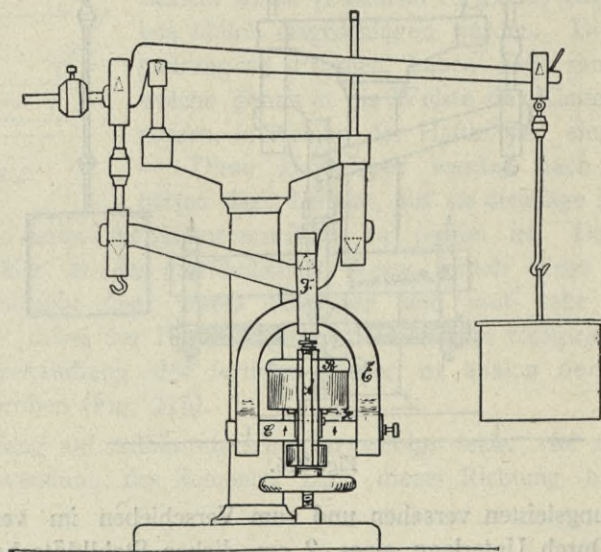


Fig. 217.

stählerne Druckplatte B gelagert, wobei er zunächst auf einer in vertikaler Richtung verstellbaren Konsole H ruht. Der Rahmen A selbst sitzt, im Kugelgelenk beweglich, auf der Stellschraube des Zugfestigkeitsapparates. Unter dem Probestück befindet sich ein Stahldorn in der Brücke C. Letztere wird von dem hufeisenförmigen Bügel E getragen, der auf der Spitze des Gehänges F ruht. Hiernach muß der Dorn, bei einer Belastung des Hebelwerkes, der aufwärts gerichteten Bewegung des Gehänges F folgen, sodaß er, während der Probezylinder im Rahmen A an der Druckplatte B fest anliegt, in den Zylinder bei entsprechend gesteigerter Last eindringt. Zur leichteren Einführung der Probezylinder ist einer der Arme des Rahmens A mit Scharnier versehen, sodaß der Rahmen nach einer Seite hin vollständig geöffnet werden kann. Der bewegliche Arm ist aus Stahl von genügender Widerstandsfähigkeit.

Die *Festigkeiten*, welche der Portlandzement erlangt, sind, wie bereits erwähnt, sehr bedeutend. Bei einem guten, normal oder langsam bindenden Zemente erreicht die Zugfestigkeit

	nach	3,	7,	28,	90	Tagen,	1,	2,	3	Jahren:
bei reinem Zement	34,	39,	45,	54,	66,	72,	75	kg	pro	qcm.
Normalmörtel (1 : 3)	12,	16,	21,	25,	30,	34,	36	„	„	„

Die Druckfestigkeit beträgt im Anfang das 9—10 fache, wächst aber im Laufe der Zeit bis auf das 12—16 fache der Zugfestigkeit.

Die Adhäsionsfestigkeit beträgt etwa  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$  der Zugfestigkeit, sie hängt wesentlich von der Beschaffenheit des betreffenden Haftkörpers ab.

Bei Schnellbindern vermindern sich diese Festigkeiten um ca. 15%, bei Gießzementen um ca. 25%.

Die Festigkeit im allgemeinen, und besonders die Druckfestigkeit, hängt wesentlich noch von der Feinheit des Rohmehls ab. Je höher der Gehalt an Feinmehl, desto größer ist die Druckfestigkeit, welche bei mehr als 90% Feinmehl (durch 4,900 Maschen pro 1 qcm) schon im Beginn der Erhärtung die Zugfestigkeit mehr als zwölfmal überragt und bis zum 15—16 fachen steigen kann.

\* \* \*

Wichtig ist ferner noch die Ermittlung der *Abnutzbarkeit durch Schleifen* und die *Widerstandsfähigkeit gegen Schlag*.

Die *Widerstandsfähigkeitsbestimmung gegen Abschleifen* wird auf einer horizontalen Scheibe bestimmt, gegen welche der zu untersuchende Körper mit einem gewissen Gewichte gedrückt wird. Die Böhme'sche Schleifmaschine ist in nachstehender Abbildung (Fig. 218) wiedergegeben. Sie besteht aus einer horizontalen eisernen Scheibe A, gegen welche das Versuchsstück B mittels Hebels C, der mit 5 kg belastet ist, gedrückt wird. Die Scheibe wird durch eine Kurbel in Umdrehungen versetzt und die Zahl der Umdrehungen durch ein Zählwerk D markiert. Um die schleifende Wirkung der Scheibe zu erhöhen, wird sie mit Schmirgel bestreut, und zwar zu Beginn

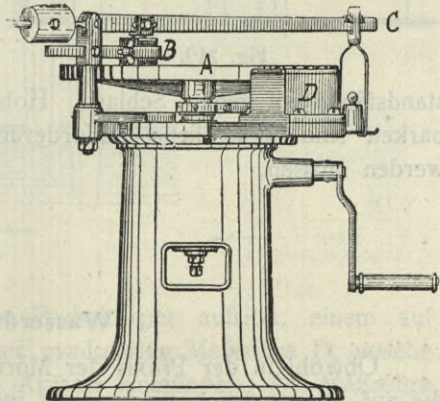


Fig. 218.

der Bewegung und nach je 22 Umgängen mit je 20 g Naxos-Schmirgel No. 3. Nach je 110 Umgängen wird das vorher gewogene Versuchsstück aufs neue gewogen und der Gewichtsverlust entsprechend festgestellt. Diese Manipulation wird viermal wiederholt, sodaß zur Prüfung eines Körpers die



Scheibe 440 Umgänge macht. Der Abnutzungswert wird in ccm angegeben. Er wird dadurch gefunden, daß der Gewichtsverlust, welchen der Körper durch das Schleifen erlitten hat, durch das Raumgewicht dividiert wird.

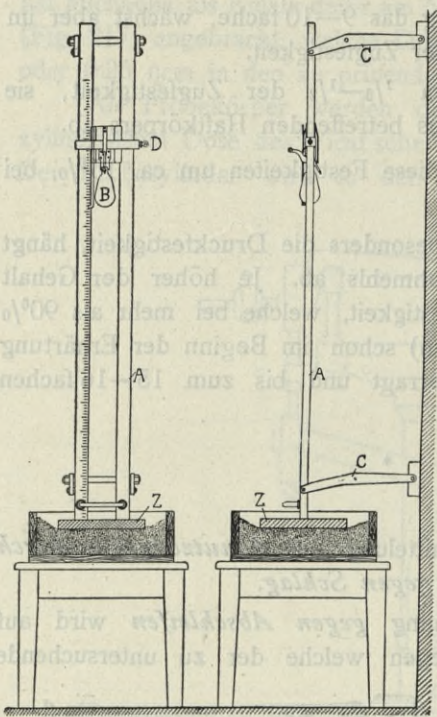


Fig. 219.

widerstandsfähigsten gegen Schlag. Hohe Schlagfestigkeit und geringe Abnutzbarkeit sind wesentliche Anforderungen, welche an gutes Material gestellt werden müssen.

### Wasserdurchlässigkeit.

Obwohl in der Praxis der Mörtel meistens, besonders auch bei Bauten, die auf Wasserdruck beansprucht werden, mehr als hinreichend fett gemacht wird, so ist es unter Umständen doch von Interesse und Wert, sich über die Wasserdurchlässigkeit eines Mörtels von einer bestimmten Magerung des näheren informieren zu können.

Von den hierzu konstruierten Apparaten geben diejenigen von Dr. Frühling und von L. P. Raasche wohl durchaus befriedigend sichere Resultate;

Der Apparat zur Ermittlung der *Widerstandsfähigkeit gegen Schlag*, z. B. bei Zementfalzziegeln etc., (Fig. 219) besteht im wesentlichen aus einem Galgen, welcher dazu dient, das Fallgewicht, von der Form einer Birne, in einer bestimmten Höhe zu halten. Der Galgen wird durch zwei Arme so gehalten, daß er beim Aufheben selbständig an der Wand stehen bleibt. Unter den Galgen wird der zu prüfende Probekörper (in Ziegelform) wagerecht auf eine Sandunterlage gelegt. Die Prüfung geschieht in der Weise, daß man durch Ziehen an der Aushakvorrichtung die Birne von bestimmtem Gewicht auf den Probekörper fallen läßt. Bei jedem neuen Fallversuch rückt man die Aufhängevorrichtung um 5 oder 10 cm höher. Derjenige Probekörper, welcher den Fall der Birne aus höchster Höhe beim größten Gewicht der Fallbirne aushält, gilt als am wider-

sie sind aber für kleine technische Prüfungen nicht einfach und handlich genug. Bequemer sind die Apparate von Prof. Tetmajer, Prof. Böhme und Dr. Michaëlis, von denen Verf. besonders den letzteren selbst ausgeprobt und bei aller Handlichkeit doch auch genügend exakt arbeitend befunden hat.

Der Apparat (Fig. 220) setzt sich zusammen aus einem halbierten Glaszylinder AB mit zwei seitlichen Bohrungen und genau abgeschliffenem Rande,

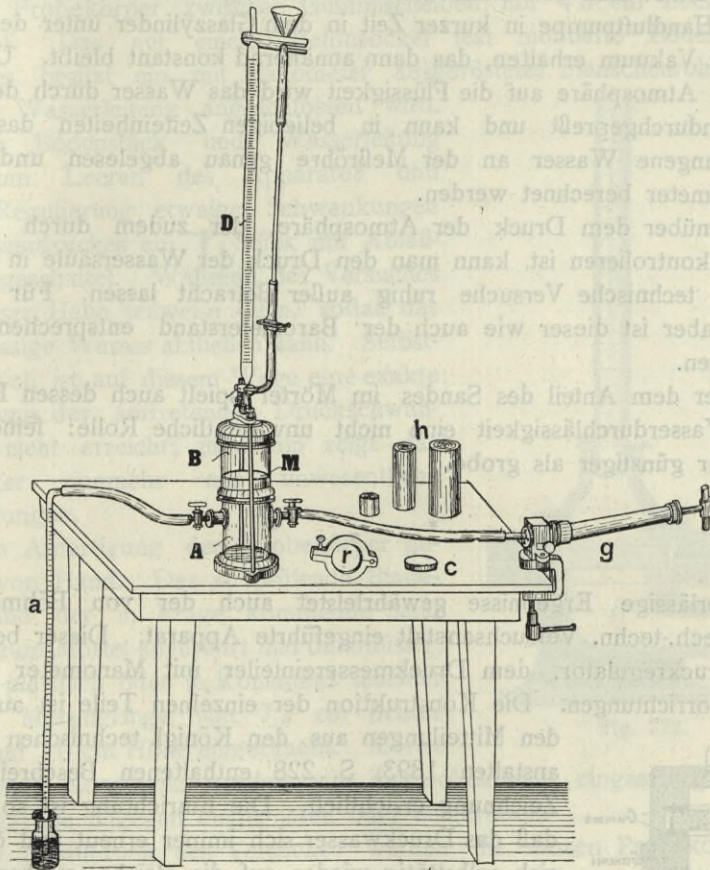


Fig. 220.

auf welchen der Messingträger M für den Probekörper aufsitzt, einem auf letzteren aufgeschraubten Aufsatz und einer graduierten Meßröhre D, welche durch einen Gummistopfen luftdicht in den Aufsatz einmündet. Die Meßröhre ist in 200 ccm zu je  $\frac{1}{2}$  ccm eingeteilt und kommuniziert mit einem verschließbaren Trichterrohr, welches zum Füllen der Röhre benutzt wird. Die Bohrungen des unteren Glaszylinders sind durch Gummistopfen verschlossen, deren Bohrung je ein Glasrohr durchsetzt, das einerseits mit einer Handluftpumpe g oder mit einer Wasserstrahl-Luftpumpe, andererseits mit einem Manometer a in Verbindung steht.

Zur Ausführung des Versuches wird das kreisrunde Probestück von 10 mm Dicke, das nach unten etwas konisch sich verjüngt, in den Messingträger eingesetzt, durch einen Gummiring bis auf genau 20 qcm Fläche abgedichtet und der Aufsatz mit der Meßröhre aufgeschraubt. Dann wird die Meßröhre mit destilliertem Wasser gefüllt, auf den Nullpunkt eingestellt, und der Quetschhahn des Trichterrohres geschlossen.

Nun öffnet man den Hahn der Wasserleitung und wird damit oder mit Hilfe der Handluftpumpe in kurzer Zeit in dem Glaszylinder unter dem Probestück ein Vakuum erhalten, das dann annähernd konstant bleibt. Unter dem Druck der Atmosphäre auf die Flüssigkeit wird das Wasser durch den Probestück hindurchgepreßt und kann in beliebigen Zeiteinheiten das jeweilig durchgedrungene Wasser an der Meßröhre genau abgelesen und auf das Kubikzentimeter berechnet werden.

Gegenüber dem Druck der Atmosphäre, der zudem durch ein Barometer zu kontrollieren ist, kann man den Druck der Wassersäule in der Meßröhre für technische Versuche ruhig außer Betracht lassen. Für genauere Versuche aber ist dieser wie auch der Barometerstand entsprechend zu berücksichtigen.

Außer dem Anteil des Sandes im Mörtel spielt auch dessen Korngröße bei der Wasserdurchlässigkeit eine nicht unwesentliche Rolle: feinere Sande sind hierfür günstiger als grobe.

\* \* \*

Zuverlässige Ergebnisse gewährleistet auch der von Böhme in der Königl. mech.-techn. Versuchsanstalt eingeführte Apparat. Dieser besteht aus einem Druckregulator, dem Druckmessereinteiler mit Manometer und den Einspannvorrichtungen. Die Konstruktion der einzelnen Teile ist aus einer in

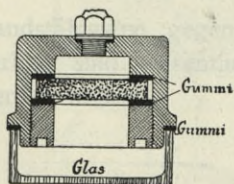


Fig. 221.

den Mitteilungen aus den Königl. technischen Versuchsanstalten 1893, S. 228 enthaltenen Beschreibung und Zeichnung ersichtlich. Die Einrichtung ist so getroffen, daß das Druckwasser sich immer erneut und der Druck sich selbsttätig wieder auf die gleiche, vorher zwischen 1 und 10 Atm. zu bestimmenden Höhe einstellt, sobald ein Teil des Druckwassers infolge Durchlässigkeit der Proben abfließt. Zu gleicher Zeit können 6 Proben untersucht werden, welche die Form von Scheiben haben. Die Einspannapparate (vergl. die Fig. 221) sind gußeiserne, zylindrische Gehäuse mit nach oben gekehrtem Boden, welche mit einem außen umlaufenden Flansch, durch Gummiringe gedichtet, auf Glaszylindern stehen. Die scheibenförmige Probe von 71 mm Durchmesser wird in dem Gehäuse sowohl gegen dessen Boden als auch gegen den von unten eingeschraubten Messingring durch Gummiringe derartig abgedichtet, daß in der Mitte beiderseits eine Fläche von etwa 21 qcm frei bleibt. Ueber der oberen Fläche steht das

Druckwasser. Das durch die Probe abfließende Wasser wird in dem Glaszylinder aufgefangen und gibt das Maß für die Durchlässigkeit des Materials.

\* \* \*

Der von Tetmajer<sup>1)</sup> empfohlene Apparat (Fig. 222) besteht aus einem Bodenstück und einer gußeisernen Haube, welche in eine in ccm geteilte Glasröhre ausläuft. Zwischen dem Bodenstück und der Haube wird der zu prüfende Probekörper zwischen Gummischeiben mit 4·5 cm Lochweite eingeklemmt. Das auf einem Betonsockel fest montierte Bodenstück des Apparates besitzt ein mit Manometer ausgerüstetes Flanschrohr, welches an eine Wasserleitung angeschlossen wird. Zwischen Bodenstück und Wasserleitung wird zum Leeren des Apparates und behufs Regulierung etwaiger Schwankungen des Wasserdruckes ein T-Stück mit Ablaufhahn eingeschaltet. Während des Versuches steht dieser Hahn teilweise offen, sodaß das überschüssige Wasser abfließen kann. Selbstverständlich ist auf diesem Wege eine exakte Regulierung der auftretenden Druckschwankungen nicht erreicht; immerhin zeigt das Manometer nunmehr nur unwesentliche Schwankungen.

Die Anfertigung der Probekörper geschieht von Hand. Das zu prüfende Bindemittel und der in Frage kommende Sand werden zum Mörtel angerührt und dünnflüssig, teigartig-plastisch oder in Konsistenz feuchter Erde in Messingringe von 7·2 cm lichter Weite und 2·0 cm Höhe eingebracht. Mörtel der letzteren Konsistenz werden wie Zugprobekörper eingeschlagen, flüssige oder teigartige dagegen eingegossen oder eingerüttelt.

Zur Ausführung des Versuches werden die nassen Probekörper unter einer Luftpumpe vorsichtig und vollständig mit Wasser gesättigt, hierauf samt ihren Umfassungsringen zwischen die erwähnten Gummischeiben, bei mit Wasser vollständig gefülltem Bodenstücke, in den Apparat gespannt. Mittels Gummischlauches wird die Haube des Apparates bis auf eine bestimmte Marke des Meßrohres mit Wasser gefüllt, der Stand abgelesen und der Probekörper durch Oeffnen des Absperrventils der Wasserleitung unter Druck gesetzt. Nach 24 Stunden wird die Differenz im Wasserstandsrohr abgelesen und das Ergebnis der Messung auf die Einheit der Zeit und der dem Drucke ausgesetzten Fläche des Probekörpers bezogen.

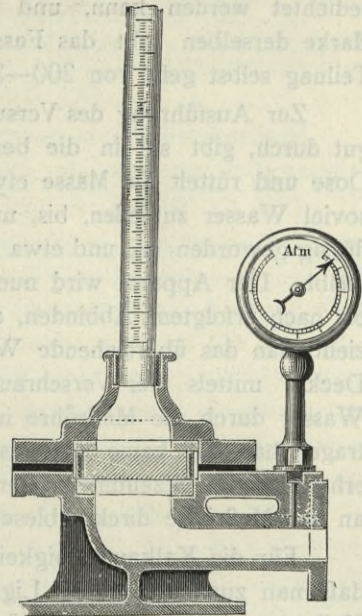


Fig. 222.

<sup>1)</sup> Hydraul. Bindemittel, 1893, S. 109—111.

### Mörtelausgiebigkeit.

Weniger für die Techniker und Fabrikanten als vielmehr für die Abnehmer und Konsumenten ist noch die Mörtelausgiebigkeit der Mörtelmaterialien von wesentlichem Wert, insofern als dieselbe einen erheblichen Faktor bei der Kalkulation des Verbrauches an Mörtelstoffen bildet.

Zur Prüfung darauf bedient man sich außer anderen Apparaten zweckmäßig des Mörtelvolumeters von Dr. Michaëlis, das schon bei der Bestimmung des spezifischen Gewichtes erwähnt war. Der Apparat besteht aus einer konischen Messingdose, deren gewölbter Deckel durch Schrauben fest aufgedichtet werden kann, und der die gläserne Meßröhre trägt. Die untere Marke derselben gibt das Fassungsvermögen der Dose (400 ccm) an. Die Teilung selbst geht von 200—300 ccm.

Zur Ausführung des Versuches mengt man Zement und Sand, 100 : 300 g, gut durch, gibt sie in die bereits mit etwas Wasser, ca. 50 ccm, gefüllte Dose und rüttelt die Masse etwas ein. Dann läßt man aus einer Bürette noch soviel Wasser zufließen, bis, unter stetem Einrütteln der Masse, dieselbe dünnflüssig geworden ist, und etwa  $\frac{1}{2}$ —1 ccm Wasser noch auf der Oberfläche stehen bleibt. Der Apparat wird nun geschlossen und 24 Stunden, wenigstens aber bis nach erfolgtem Abbinden, an einen kühlen, dunklen Ort gestellt. Danach zieht man das überstehende Wasser durch etwas Fließpapier ab, schließt den Deckel mittels der Verschraubungen und gibt aus einer Pipette 200 ccm Wasser durch die Meßröhre in den Apparat ein, wobei man dafür Sorge zu tragen hat, daß keine Luftblasen im Apparat bleiben. Sodann kann man die erhaltenen Kubikzentimeter der Ausgiebigkeit des angewandten Normalmörtels an der Meßröhre direkt ablesen. —

Für die Kalkausgiebigkeit wird der Versuch in der Weise ausgeführt,<sup>1)</sup> daß man zunächst mittels Ligroin das Volumen von 50 g des gebrannten Kalkes ermittelt. Alsdann löscht man die anderen 50 g der ganzen Stückprobe (von 100 g) mit 200—300 ccm Wasser in der mit einem Uhrglase bedeckten Dose auf einem Wasserbade, bis der von Zeit zu Zeit zusammengerüttelte Brei Schwindungsrisse zeigt. Man läßt abkühlen, schraubt den Deckel mit der Meßröhre zu und gibt mittels der Pipette 200 ccm Wasser ein. Durch direkte Ablesung an der Meßröhre erhält man direkt das Volumen des gebildeten Kalkbreies.

### Frostbeständigkeit.

Zur Ermittlung der *Frostbeständigkeit* von Mörteln bedient man sich des Linde'schen Gefrierschranks. Die Zug- oder Druckfestigkeitsprobekörper werden nach exakter Wassersättigung in Zinkkästchen während 4 Stunden in

<sup>1)</sup> Vergl. hierzu S. 133.

den Schrank eingesetzt. Hierauf werden sie ein zweites Mal mit Wasser gesättigt und wiederum im Schrank 4 Stunden auf 20° C. Kälte abgekühlt. In der Nacht werden dann die gefrorenen Probekörper aufgetaut, um am nächsten Tage wiederum zweimal zum Gefrieren gebracht zu werden. Dieses Gefrierenlassen und Wiederauftauen erfolgt 20 Mal. Danach werden die Probekörper zerrissen oder zerdrückt und das gefundene Resultat mit demjenigen nicht gefroren gewesener Probekörper verglichen.

## 12. Die Normenvorschriften für Zementlieferung von Deutschland, Oesterreich, Rußland, Frankreich, England, der Schweiz und Amerika.

Nachstehend folgen noch, teils im Original, teils nur im Auszuge, die Prüfungs-Bestimmungen der Hauptproduktionsländer für Portlandzement.

Daß die Normen besonders von Deutschland, Oesterreich, Rußland und auch der Schweiz so gleichlautend sind, und daß dabei Deutschland scheinbar die wenigst entwickelten Normen hat, darf nicht Wunder nehmen. Wenn auch England das Mutterland des Portlandzementes ist und Frankreich wissenschaftlich viel zu seiner Kenntnis beigetragen hat, so ist doch erst Deutschland wirklich systematisch vorgegangen und hat jene Einheitsbestimmungen aufgestellt, die dann in ihren Fundamental-Sätzen in das Eigentum auch der anderen Länder übergangen und dort nur den neueren Forschungen entsprechend ausgebaut wurden.

Die Aufstellung der „Deutschen Normen“ ist das glänzende, unbestrittene Verdienst des Vereins Deutscher Portlandzement-Fabrikanten. Und das, worin sie wirklich überholt sind, wird bei der Revision der Normen zweifellos in exakter Form vollkommen wieder eingebracht werden.

---

### Deutsche Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement.<sup>1)</sup>

#### Begriffserklärung von Portlandzement.

Portlandzement ist ein Produkt, entstanden durch Brennen einer innigen Mischung von kalk- und tonhaltigen Materialien als wesentlichsten Bestandteilen bis zur Sinterung und darauffolgende Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit.

#### I. Verpackung und Gewicht.

In der Regel soll Portlandzement in Normalfässern von 180 kg brutto und etwa 170 kg netto und in halben Normalfässern von 90 kg brutto und etwa 83 kg netto verpackt werden. Das Brutto-Gewicht soll auf den Fässern verzeichnet sein.

---

<sup>1)</sup> Bestätigt durch Erlaß vom 28. Juli 1887 vom Minister der öffentlichen Arbeiten.

Wird der Zement in Fässern von anderem Gewicht oder in Säcken verlangt, so muß das Brutto-Gewicht auf diesen Verpackungen ebenfalls durch deutliche Aufschrift kenntlich gemacht werden.

Streuverlust, sowie etwaige Schwankungen im Einzelgewicht können bis zu 2% nicht beanstandet werden.

Die Fässer und Säcke sollen außer der Gewichtsangabe auch die Firma oder die Fabrikmarke der betreffenden Fabrik mit deutlicher Schrift tragen.

#### **Begründung zu I.**

Im Interesse der Käufer und des sicheren Geschäfts ist die Durchführung eines einheitlichen Gewichtes dringend geboten. Hierzu ist das weitaus gebräuchlichste und im Weltverkehr fast ausschließlich geltende Gewicht von 180 kg brutto = etwa 400 Pfd. englisch gewählt worden.

#### **II. Bindezeit.**

Je nach Art der Verwendung kann Portlandzement langsam oder rasch bindend verlangt werden.

Als langsam bindend sind solche Zemente zu bezeichnen, welche erst in zwei Stunden oder in längerer Zeit abbinden.

#### **Erläuterungen zu II.**

Um die Bindezeit eines Zementes zu ermitteln, rühre man den reinen langsam bindenden Zement 3 Minuten, den rasch bindenden 1 Minute lang mit Wasser zu einem steifen Brei an und bilde auf einer Glasplatte durch nur einmaliges Aufgeben einen etwa 1,5 cm dicken, nach den Rändern 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 der Glasplatte nach den Rändern hin ausläuft, wozu in den meisten Fällen 27—30% Anmachewasser genügen. Sobald der Kuchen soweit erstarrt ist, daß derselbe einem leichten Druck mit dem Fingernagel widersteht, ist der Zement als abgebunden zu betrachten.

Für genaue Ermittlung der Bindezeit und zur Feststellung des Beginnes des Abbindens, welche (da der Zement vor dem Beginn des Abbindens verarbeitet sein muß), bei raschbindenden Zementen von Wichtigkeit ist, bedient man sich einer Normalnadel von 300 g Gewicht, welche einen zylindrischen Querschnitt von 1 qmm Fläche hat und senkrecht zur Axe abgeschnitten ist. Man füllt einen auf eine Glasplatte gesetzten Metallring von 4 cm Höhe und 8 cm lichtigem Durchmesser mit dem Zementbrei von der oben angegebenen Dickflüssigkeit und bringt denselben 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 Temperatur der Luft und des



zur Verwendung gelangenden Wassers beeinflusst wird, insofern hohe Temperatur dasselbe beschleunigt, niedrigere Temperatur es dagegen verzögert, so empfiehlt es sich, die Versuche, um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, bei einer mittleren Temperatur des Wassers und der Luft von 15—18° C. vorzunehmen.

Während des Abbindens darf langsam bindender Zement sich nicht wesentlich erwärmen, wohingegen rasch bindende Zemente eine merkliche Wärmeerhöhung aufweisen können.

Portlandzement wird durch längeres Lagern langsam bindend und gewinnt bei trockener, zugfreier Aufbewahrung an Bindekraft. Die noch vielfach herrschende Meinung, daß Portlandzement bei längerem Lagern an Güte verliere, ist daher eine irrige, und es sollten Vertragsbestimmungen, welche nur frische Ware vorschreiben, in Wegfall kommen.

### III. Volumbeständigkeit.

Portlandzement soll volumbeständig 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 Kantenrisse zeigen darf.

#### Erläuterungen zu III.

Zur Ausführung der Probe wird der zur Bestimmung der Bindezeit 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 Zugluft und Sonnenschein geschützt werden, am besten durch Aufbewahrung in einem bedeckten Kasten oder auch unter nassen Tüchern. 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 Kantenrisse, so deutet dies unzweifelhaft „Treiben“ des Zementes an, d. h. es findet infolge einer Volumvermehrung ein Zerklüften des Zementes unter allmählicher Lockerung des zuerst gewonnenen Zusammenhanges statt, welches bis zum gänzlichen Zerfallen des Zementes führen kann.

Die Erscheinungen des Treibens zeigen sich an den Kuchen in der Regel bereits nach drei Tagen; jedenfalls genügt eine Beobachtung bis zu 28 Tagen.

### IV. Feinheit der Mahlung.

Portlandzement soll so fein gemahlen sein, daß eine Probe desselben auf einem Siebe von 900 Maschen pro Quadratcentimeter höchstens 10% Rückstand hinterläßt. Die Drahtstärke des Siebes soll die Hälfte der Maschenweite betragen.

#### Begründung und Erläuterungen zu IV.

Zu jeder einzelnen 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 umso 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 nicht zu unterschätzendem Werte. Es scheint daher angezeigt, die Feinheit des Kornes durch ein feines Sieb von obiger Maschenweite einheitlich zu prüfen.

Es wäre indessen irrig, wollte man aus der feinen Mahlung allein auf die Güte eines Zementes schließen, da geringe, weiche Zemente weit eher 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. Soll der Zement mit Kalk gemischt verarbeitet werden, so empfiehlt es sich, hart gebrannte Zemente von einer sehr feinen Mahlung zu verwenden, deren höhere Herstellungskosten durch wesentliche Verbesserung des Mörtels ausgeglichen werden.

#### V. Festigkeitsproben.

Die Bindekraft von Portlandzement soll durch Prüfung einer Mischung von Zement und Sand ermittelt werden. Die Prüfung soll auf Zug- und Druckfestigkeit nach einheitlicher Methode geschehen, und zwar an Probekörpern von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitt und mit gleichen Apparaten.

Daneben empfiehlt es sich, auch die Festigkeit des reinen Zementes festzustellen.

Die Zerreißungsproben sind an Probekörpern von 5 qcm Querschnitt der Bruchfläche, die Druckproben an Würfeln von 50 qcm Fläche vorzunehmen.

#### Begründung zu V.

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 mittels Sandzusatz vorzunehmen.

Die Prüfung des Zementes ohne Sandzusatz empfiehlt sich namentlich dann, wenn es sich um den Vergleich von Portlandzementen mit gemischten Zementen und anderen hydraulischen Bindemitteln handelt, weil durch die Selbstfestigkeit die höhere Güte bzw. die besonderen Eigenschaften des Portlandzementes, welche den übrigen hydraulischen Bindemitteln abgehen, besser zum Ausdruck gelangen, als durch die Probe mit Sand.

Obleich das Verhältnis der Druckfestigkeit zur Zugfestigkeit bei den hydraulischen Bindemitteln ein verschiedenes ist, so wird doch vielfach nur

die Zugfestigkeit als Wertmesser für verschiedene hydraulische Bindemittel benutzt. Dies führt jedoch zu einer unrichtigen Beurteilung der letzteren. Da ferner die Mörtel in der Praxis in erster Linie auf Druckfestigkeit in Anspruch genommen werden, so kann die maßgebende Festigkeitsprobe nur die Druckprobe sein.

Um die erforderliche Einheitlichkeit bei den Prüfungen zu wahren, wird empfohlen, derartige Apparate und Geräte zu benutzen, wie sie bei der Königlichen mech.-tech. Versuchsanstalt in Charlottenburg-Berlin in Gebrauch sind.

#### VI. Zug- und Druckfestigkeit.

Langsam bindender Portlandzement soll bei der Probe mit 3 Gewichtsteilen Normalsand auf 1 Gewichtsteil Zement nach 28 Tagen Erhärtung — 1 Tag an der Luft und 27 Tage unter Wasser — eine Minimalzugfestigkeit von 16 kg pro Quadratcentimeter haben. Die Druckfestigkeit soll mindestens 160 kg pro Quadratcentimeter betragen.

Bei schnell bindenden Portlandzementen ist die Festigkeit nach 28 Tagen im allgemeinen eine geringere, als die oben angegebene. Es soll deshalb bei Nennung von Festigkeitszahlen stets auch die Bindezeit aufgeführt werden.

#### Begründung und Erläuterungen.

Da verschiedene Zemente hinsichtlich ihrer Bindekraft zu Sand, worauf es bei ihrer Verwendung vorzugsweise ankommt, sich sehr verschieden verhalten können, so ist insbesondere beim Vergleich mehrerer Zemente eine Prüfung mit hohem Sandzusatz unbedingt erforderlich. Als geeignetes Verhältnis wird angenommen: 3 Gewichtsteile Sand auf 1 Gewichtsteil Zement, da mit 3 Teilen Sand der Grad der Bindefähigkeit bei verschiedenen Zementen in hinreichendem Maße zum Ausdruck gelangt.

Zement, welcher eine höhere Zugfestigkeit bzw. Druckfestigkeit zeigt, gestattet in vielen Fällen einen größeren Sandzusatz und hat, von diesem Gesichtspunkte betrachtet, sowie oft schon wegen seiner größeren Festigkeit bei gleichem Sandzusatz, Anrecht auf einen entsprechend höheren Preis.

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 der Prüfung nach 7 Tagen noch wesentliche Unterschiede zeigen.

Als Kontrolprobe für die abgelieferte Ware dient die Zugprobe nach 28 Tagen. Will man jedoch die Prüfung schon nach 7 Tagen vornehmen, so kann dies durch eine Vorprobe geschehen, wenn man das Verhältnis der Zugfestigkeit nach 7 Tagen zur 28 Tagefestigkeit an dem betreffenden Zement ermittelt hat. Auch kann diese Vorprobe mit reinem Zement ausgeführt werden, wenn man das Verhältnis der Festigkeit des reinen Zementes zur 28 Tagefestigkeit bei 3 Teilen Sand festgestellt hat.

Es empfiehlt sich, überall da, wo dies zu ermöglichen ist, die Festig-

keitsproben an zu diesem Zwecke vorrätig angefertigten Probekörpern auf längere Zeit auszudehnen, um das Verhalten verschiedener Zemente auch bei längerer Erhärtungsdauer kennen zu lernen.

Um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, muß überall Sand von gleicher Korngröße und gleicher Beschaffenheit benutzt werden. Dieser Normalsand wird dadurch gewonnen, daß man möglichst reinen Quarzsand wäscht, trocknet, durch ein Sieb von 60 Maschen pro Quadratcentimeter siebt, dadurch die größten Teile ausscheidet und aus dem so erhaltenen Sand mittels eines Siebes von 120 Maschen pro Quadratcentimeter noch die feinsten Teile entfernt. Die Drahtstärke der Siebe soll 0,38 mm beziehungsweise 0,32 mm betragen.

Da nicht alle Quarzsande bei der gleichen Behandlungsweise die gleiche Festigkeit ergeben, so hat man sich zu überzeugen, ob der zur Verfügung stehende Normalsand mit dem unter der Prüfung des Vorstandes des Deutschen Zementfabrikanten-Vereins gelieferten Normalsand, welcher aus von der Königlichen mech.-techn. Versuchsanstalt in Charlottenburg-Berlin benutzt wird, übereinstimmende Festigkeitsergebnisse gibt.

#### Beschreibung der Proben zur Ermittlung der Zug- und Druckfestigkeit.

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.

#### Anfertigung der Zement-Sand-Proben.

##### Zugproben.

Die Zugprobekörper können entweder durch Handarbeit oder durch maschinelle Vorrichtungen hergestellt werden.

a) Handarbeit. Man legt auf eine zur Anfertigung der Proben dienende Metall- oder starke Glasplatte fünf mit Wasser getränkte Blättchen Fließpapier und setzt auf diese fünf mit Wasser angeetzte Formen. Man wägt 250 g Zement und 750 g trockenen Normalsand ab und mischt beides in einer Schüssel gut durcheinander. Hierauf bringt man 100 ccm = 100 g reines, süßes Wasser hinzu und arbeitet die ganze Masse 5 Minuten lang tüchtig durch. Mit dem so erhaltenen Mörtel werden die Formen unter Ein-drücken auf einmal so hoch angefüllt, daß sie stark gewölbt voll werden. Man schlägt nun mittels eines eisernen Spatels von 5 auf 3 cm Fläche, 35 cm Länge und im Gewichte von etwa 250 g den überstehenden Mörtel anfangs schwach und von der Seite her, dann immer stärker, so lange in die Formen ein, bis derselbe elastisch wird und an seiner Oberfläche sich Wasser zeigt. Ein bis zu diesem Zeitpunkt fortgesetztes Einschlagen von etwa 1 Minute pro Form ist unbedingt erforderlich. Ein nachträgliches Aufbringen und Ein-

schlagen von Mörtel ist nicht statthaft, weil die Probekörper aus demselben Zement an verschiedenen Versuchsstellen gleiche Dichten erhalten sollen. — Man streicht nun das die Form Ueberragende mit einem Messer ab und glättet mit demselben die Oberfläche. Man löst die Form vorsichtig ab und setzt die Probekörper in einen mit Zink ausgeschlagenen Kasten, der mit einem Deckel zu bedecken ist, um ungleichmäßiges Austrocknen der Proben bei verschiedenen Wärmegraden zu verhindern. 24 Stunden nach der Anfertigung werden die Probekörper unter Wasser gebracht, und man hat nur darauf zu achten, daß dieselben während der ganzen Erhärtungsdauer vom Wasser bedeckt bleiben.

b) Maschinenmäßige Anfertigung. Nachdem die mit dem Füllkasten versehene Form auf der Unterlagsplatte durch die beiden Stellschrauben festgeschraubt ist, werden für jede Probe 180 g des wie in a hergestellten Mörtels in die Form gebracht und wird der eiserne Formkern eingesetzt. Man gibt nun mittels des Schlagapparates von Dr. Böhme mit dem Hammer von 2 kg 150 Schläge auf den Kern.

Nach Entfernung des Füllkastens und des Kerns wird der Probekörper abgestrichen und geglättet, samt der Form von der Unterlagsplatte abgezogen und im übrigen behandelt wie unter a.

Bei genauer Einhaltung der gegebenen Vorschriften geben Handarbeit und maschinenmäßige Anfertigung gut übereinstimmende Ergebnisse. In streitigen Fällen ist jedoch die maschinenmäßige Anfertigung die maßgebende.

#### Druckproben.

Um bei Druckproben an verschiedenen Versuchsstellen zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, ist maschinenmäßige Anfertigung erforderlich.

Man wägt 400 g Zement und 1200 g trockenen Normalsand ab, mischt beides in einer Schüssel gut durcheinander, bringt 160 ccm = 160 g Wasser hinzu und arbeitet den Mörtel 5 Minuten lang tüchtig durch. Von diesem Mörtel füllt man 860 g in die mit Füllkasten versehene und auf die Unterlagsplatte aufgeschraubte Würfelform. Man setzt den eisernen Kern in die Form ein und gibt auf denselben mittels des Schlagapparates von Dr. Böhme mit dem Hammer von 2 kg 150 Schläge.

Nach Entfernung des Füllkastens und des Kerns wird der Probekörper abgestrichen und geglättet, mit der Form von der Unterlagsplatte abgezogen und im übrigen behandelt wie unter a.

#### Anfertigung der Proben aus reinem Zement.

Man ölt die Formen auf der Innenseite etwas ein und setzt dieselben auf eine Metall- oder Glasplatte (ohne Fließpapier unterzulegen). Man wägt nun 1000 g Zement ab, bringt 200 g = 200 ccm Wasser hinzu und arbeitet die Masse (am besten mit einem Pistill) 5 Minuten lang durch, füllt die Formen stark gewölbt voll und verfährt wie unter a. Die Formen kann man jedoch erst dann ablösen, wenn der Zement genügend erhärtet ist.

Da beim Einschlagen des reinen Zementes Probekörper von gleicher Konsistenz erzielt werden sollen, so ist bei sehr feinem oder sehr rasch bindendem Zement der Wasserzusatz entsprechend zu erhöhen.

Der angewandte Wasserzusatz ist bei Nennung der Festigkeitszahlen stets anzugeben.

#### Behandlung der Proben bei der Prüfung.

Alle Proben werden sofort bei der Entnahme aus dem Wasser geprüft. Da die Zerreißungsdauer von Einfluß auf das Resultat ist, so soll bei der Prüfung auf Zug die Zunahme der Belastung während des Zerreißens 100 g pro Sekunde betragen. Das Mittel aus den 10 Zugproben soll als die maßgebende Zugfestigkeit gelten.

Bei der Prüfung der Druckproben soll, um einheitliche Ergebnisse zu wahren, der Druck stets auf zwei Seitenflächen der Würfel ausgeübt werden, nicht aber auf die Bodenflächen und die bearbeitete obere Fläche. Das Mittel aus den 10 Proben soll als die maßgebende Druckfestigkeit gelten.

### Oesterreichische Bestimmungen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portlandzement.<sup>1)</sup>

#### Definition von Portlandzement.

Portlandzemente sind Erzeugnisse, welche aus natürlichen Kalkmergeln oder künstlichen Mischungen ton- und kalkhaltiger Stoffe durch Brennen bis zur Sinterung und darauffolgende Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit gewonnen werden und auf einen Gewichtsteil hydraulischer Bestandteile mindestens 1·7 Gewichtsteile Kalk enthalten.

Zur Regulierung technisch wichtiger Eigenschaften des Portlandzementes ist ein Zusatz fremder Stoffe bis zu 2% des Gewichtes ohne Aenderung des Namens zulässig.

#### 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 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 Einzel-Bruttogewichte 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.

<sup>1)</sup> Aufgestellt und genehmigt vom Oesterreichischen Ingenieur- und Architekten-Verein, 1890.

Die Fässer und Säcke sollen die Firma der betreffenden Fabrik, das Wort „Portlandzement“ und die Bezeichnung des Bruttogewichtes tragen. Die Säcke sollen mit einer Plombe verschlossen sein, auf welcher einerseits die Fabriksfirma, andererseits das Wort „Portlandzement“ ersichtlich gemacht ist.

#### Erklärungen zu I.

Aus Rücksichten für die einfachere Uebernahme und zur Einhaltung von Unzukömmlichkeiten erscheint es als empfehlenswert, ein einheitliches Gewicht für die Packung der Fässer und Säcke, in denen Portlandzement geliefert wird, festzusetzen.

Uebrigens steht es dem Fabrikanten frei, mit dem Konsumenten ein anderes als das oben angeführte Normalgewicht zu vereinbaren.

#### II. Abbindeverhältnisse.

Die Portlandzemente sind rasch, mittel und langsam bindend.

Unter rasch bindenden Portlandzementen sind diejenigen verstanden, deren Erhärtungsbeginn an der Luft ohne Sandzusatz, vom Momente 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.

#### Erklärungen zu II.

Die Ermittlung des *Erhärtungsbeginnes* ist zur Bestimmung der Kategorie, in welche ein Portlandzement bezüglich seiner Abbindeverhältnisse einzureihen ist, von Wichtigkeit, und namentlich bei rasch bindenden Portlandzementen ist die Kenntnis des Erhärtungsbeginnes notwendig, da bis zu der Zeit, binnen welcher derselbe eintritt, der Zement verarbeitet sein muß, soll nicht seine Bindekraft 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 (Normal - Konsistenz) herzustellen.

Der Apparat zur Bestimmung der Konsistenz besteht aus einem Gestell, 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 Apparat gehörige, zur Aufnahme des Zementbreies bestimmte Dose ist aus Hartgummi erzeugt, mißt 8 cm im Durchmesser und 4 cm in

der Höhe. Beim Gebrauch 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, sodaß 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 drei Minuten lang, bei Raschbindern eine Minute lang mit einem löffelartigen Spatel zu einem steifen Brei an, 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 erforderlichen Konsistenz zu Stande 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 qmm 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 Ergänzungsge-  
wicht von 30 g auf die Scheibe aufzulegen.

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 soweit erstarrt, daß die Nadel beim Aufsetzen keinen merk-  
baren Eindruck mehr hinterläßt, so ist der Portlandzement ab-



gebunden und die Zeit, welche vom Momente 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, 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. Während des Abbindens dürfen langsam und mittel bindende Portlandzemente sich nicht wesentlich erwärmen, dagegen kann rasch bindender Portlandzement eine merkliche Temperaturerhöhung aufweisen.

Portlandzement wird im allgemeinen durch längeres Lagern langsamer bindend, verliert die Tendenz zum Treiben und gewinnt bei trockener, zugfreier Aufbewahrung an Bindekraft.

Kontraktbestimmungen, welche nur frische Ware vorschreiben, sollten deshalb in Zukunft in Wegfall kommen.

### III. Volumenbeständigkeit.

Portlandzement soll sowohl an der Luft, als auch unter Wasser volumenbeständig sein.

#### Erklärungen zu III.

Manche Portlandzemente 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 Portlandzement die Volumenbeständigkeit gefordert werden.

Portlandzement 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.

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 Normkonsistenz an,

breitet denselben auf ebene Glas- oder Metallplatten in zwei 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 feucht gehaltenen Kasten, wo die Kuchen vor Zugluft und Einwirkung der Sonnenstrahlen geschützt sind. Nach 24 Stunden, jedenfalls aber erst nach erfolgtem Abbinden, werden die Zementkuchen, auf ebenen Metallplatten ruhend, in einem Trockenschranke einer Temperatur ausgesetzt, welche allmählich von der Lufttemperatur bis auf 120° C. gesteigert und auf dieser Höhe durch 2 bis 3 Stunden, für alle Fälle aber eine halbe Stunde über den Moment hinaus gehalten wird, bei welchem ein sichtbares Entweichen von Wasserdämpfen aufgehört hat.

Die Kuchen sollen in dem Trockenkasten nicht vertikal übereinander, sondern treppenförmig nebeneinander angeordnet werden.

Zeigen die Kuchen nach dieser Behandlung Verkrümmungen oder mit Verkrümmungen verbundene, gegen die Ränder hin sich erweiternde Risse von mehr oder weniger radialer Richtung, so ist der fragliche Portlandzement von der Verwendung zu Bauausführungen an der Luft auszuschließen. Bei der Beurteilung der Volumenbeständigkeitsproben sind die Treibrisse von den in Folge zu raschen Austrocknens durch Volumenverminderung manchmal entstehenden Schwindrissen wohl zu unterscheiden, welche letztere nicht am Rande der Kuchen, sondern innerhalb derselben in Form konzentrischer Kreise oder feiner oberflächlicher Haarrisse auftreten.

Die durch die Anwesenheit von mehr als 3 % wasserfreiem schwefelsauren Kalk (oder entsprechendem Gehalte an ungebranntem Gips) verursachte Volumenunbeständigkeit (das sogenannte Gipstreiben) wird jedoch durch die Darrprobe nicht markiert, und es ist daher, wenn ein Portlandzement diese Probe besteht, jedenfalls noch das Resultat 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 im Wasser erfolgt mittels eines unter Wasser gelegten Kuchens aus reinem Portlandzement (*Kuchenprobe*).

Zu diesem Zwecke wird der reine Portlandzement mit Wasser zu einem Brei angerührt und auf einer ebenen Glasplatte zu zwei Kuchen ausgegossen, welche ca. 10 cm Durchmesser haben, in der Mitte ca. 1 cm dick sind und gegen die Ränder hin dünn auslaufen.

Der Wasserzusatz ist hierbei um ca. 1 % des Zementgewichtes größer zu nehmen, als für die Normkonsistenz 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 feucht gehaltenen 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 Kantenrisse von mehr oder weniger radialer Richtung, so deutet dies unzweifelhaft auf Treiben des Zementes hin. Bleiben die Kuchen jedoch unverändert, so ist der Zement als unter Wasser volumenbeständig anzusehen.

#### IV. Feinheit der Mahlung.

Portlandzement soll so fein wie möglich gemahlen sein.

Die Feinheit der Mahlung ist mittels eines Siebes von 4900 Maschen pro 1 qcm und 0·05 mm Drahtstärke und eines solchen von 900 Maschen pro 1 qcm und 0·10 mm Drahtstärke zu prüfen.

Der Sieb-Rückstand darf auf dem 4900-Maschensieb keineswegs mehr als 35 % und auf dem 900-Maschensieb keineswegs mehr als 10 % betragen.

#### Erklärungen zu IV.

Da Portlandzement 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 mittels Sieben von der vorgeschriebenen Maschenweite einheitlich zu prüfen.

Zu jeder solchen Siebprobe sind 100 g Portlandzement zu verwenden.

Es wäre indessen irrig, wollte man aus der feinen Mahlung allein auf die Güte eines Zementes 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 Portlandzement soll durch Prüfung der Festigkeitsverhältnisse an einer Mischung desselben mit Sand ermittelt werden.

Als normale Mischung gilt das Gemenge von einem Gewichtsteil 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 Zerreißungsproben sind an Probekörpern von einer Form,<sup>1)</sup> welche an der Bruchfläche 5 qcm Querschnitt (2·25 cm Länge und 2·22 cm Breite)

<sup>1)</sup> Die 8'ter Form von Dr. Michaëlis oder sogenannte *deutsche Form*.

besitzt, die Druckproben an Würfeln von 50 qcm Fläche (7·07 cm Seitenlänge) vorzunehmen.

Sämtliche Probekörper sind die ersten 24 Stunden nach ihrer Anfertigung an der Luft, die übrige Zeit bis zur Probevornahme unter Wasser 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.

#### Erklärungen zu V.

Da Portlandzement 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 Zement angenommen, da hierbei der Grad der Binfefähigkeit bei verschiedenen Portlandzementen in hinreichendem Maße zum Ausdruck gelangt.

In manchen Fällen wird es sich jedoch empfehlen, die Zugfestigkeit des reinen Zementes 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 mittels eines Siebes von 64 Maschen pro 1 qcm und 0·40 mm Drahtstärke die größten Teile ausscheidet, und sodann mittels eines Siebes von 144 Maschen pro 1 qcm 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 Vor-

nahme der Druckprobe kostspielige Apparate erfordert, so kann die Kontrolle über die gleichmäßige Qualität des gelieferten Portlandzementes in einfacherer Weise durch die Erprobung auf Zugfestigkeit vorgenommen werden. Die Zugfestigkeit soll an Probekörpern von 7- und 28tägiger Erhärtung ausgeführt 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 Zementes und des Normalsandes pro Liter im lose eingesiebten Zustande beizufügen, zu welchem Zwecke Zement und Sand in ein 1 Liter fassendes zylindrisches Blechgefäß von 10 cm Höhe eingesiebt werden. Hierbei ist das Sieb von 64 Maschen pro 1 qcm 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 Oeffnung des Litergefäßes bedeckt; dieser Kegel ist schließlich mit einem gradlinigen Streicheisen vollkommen eben abzustreichen.

Während der ganzen Dauer dieser Manipulation ist jede Erschütterung des Litergefäßes sorgfältig zu vermeiden.

#### VI. Zug- und Druckfestigkeit.

Guter, langsam- oder mittelbindender Portlandzement soll in Normal-Mörtelmischung nach 28 Tagen Erhärtung (die ersten 24 Stunden an der Luft, die folgenden 27 Tage unter Wasser) eine Minimalzugfestigkeit von 15 kg und eine Minimaldruckfestigkeit von 150 kg pro Quadratcentimeter aufweisen.

Nach 7tägiger Erhärtung (die ersten 24 Stunden an der Luft, die folgenden 6 Tage unter Wasser) soll die Zugfestigkeit mindestens 10 kg pro Quadratcentimeter betragen.

Bei raschbindenden Portlandzementen soll die normale Mörtelmischung nach 28 Tagen Erhärtung (die ersten 24 Stunden an der Luft, die folgenden 27 Tage unter Wasser) eine Zugfestigkeit von mindestens 12 kg pro Quadratcentimeter und eine Druckfestigkeit von mindestens 120 kg pro Quadratcentimeter erreichen, während nach 7tägiger Erhärtung (die ersten 24 Stunden an der Luft, die übrigen 6 Tage unter Wasser) die Zugfestigkeit mindestens 8 kg pro Quadratcentimeter betragen soll.

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 maschinellem Wege zu erzeugen; die Probekörper für die Zugfestigkeit können maschinell oder von Hand angefertigt werden. Den Versuchsergebnissen der Festigkeits-

proben ist beizufügen, ob die Probekörper durch maschinelle Arbeit oder 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 vorher trocken durcheinander gemengte Mischung von Portlandzement und Sand ist mit der weiter unten vorgeschriebenen, resp. 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 Portlandzementes 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 Festigkeitsresultate 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 angewendete, gleiche Arbeit pro Volumeneinheit der Trockensubstanz erreicht wird.

Zur Ermittlung des richtigen Wasserzusatzes werden 750 g gut gemengter, trockener Normal-Mörtelmischung 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 Schlage eine mäßige Absonderung von Wasser an seiner Oberfläche, so gilt dies als Zeichen, daß die Wassermenge korrekt gewählt worden ist. Anderenfalls ist der Versuch mit einer jedesmal geänderten Wassermenge solange zu wiederholen, bis bei dem letzten Schlage die Wasserabsonderung beginnt.

Die derart ermittelte prozentuelle Wassermenge gibt die Normal-Mörtelkonsistenz, mit welcher alle Probekörper anzufertigen sind.

Die Arbeit, welche bei der Erzeugung der Probekörper zu leisten ist, wird mit 0·3 mkg pro 1 g Trockensubstanz festgesetzt.

Bei maschineller Anfertigung sind die Probekörper einzeln anzufertigen, und es werden für jeden Probekörper der Druckfestigkeit 750 g, für jeden Probekörper der Zugfestigkeit 200 g trockene 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 mittels 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 Rammklotzes oder Hammers, bei den Zugprobekörpern jedoch durch 120 Schläge eines 0·25 m hoch herabfallenden, 2 kg schweren Rammklotzes 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 Portlandzementen sind drei Probekörper gleichzeitig, bei rasch bindenden jedoch ist jeder Probekörper separat herzustellen.

Für je drei Stück gleichzeitig anzufertigender Probekörper werden 150 g Portlandzement mit 450 g Normalsand in einer Schüssel gut durcheinander gemengt und sodann mit 60 g reinem Wasser (d. i. 10 % der Trockensubstanz) angerührt. 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 mittels 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 ausschwitzt.

Ein bis zu diesem Zeitpunkte fortgesetztes Einschlagen, das etwa 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.

## 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 die 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.

## 4. Anfertigung der Zugprobekörper aus reinem Zement.

Man fettet die Formen auf der Innenseite etwas ein und setzt dieselben auf eine Metall- oder Glasplatte. Sodann mischt man 600 g Portlandzement mit beiläufig 120 g Wasser, rührt die Masse unter entsprechender Rücksichtnahme auf den Erhärtungsbeginn bis zu 5 Minuten gut durch, füllt die Formen stark gewölbt voll und verfährt wie bei der Erzeugung der Probekörper in der Normalmischung.

Die Formen dürfen erst abgelöst werden, wenn der Portlandzement genügend erhärtet ist.



Sehr fein gemahlene oder rasch bindende Portlandzemente erfordern einen entsprechend höheren Wasserzusatz, daher ist derselbe bei Bekanntgabe der bei diesen Proben erzielten Festigkeitszahlen stets anzuführen.

\* \* \*

In Streitfällen über die Handhabung dieser Prüfungsbestimmungen ist das in der Prüfungsanstalt für hydraulische Bindemittel der Stadt Wien angewendete Verfahren maßgebend.

---

### Technische Bedingungen für die Annahme von Portlandzement in Rußland.

(Bestätigt gemäß den Befehlen des Herrn Ministers der Wegekommunikationen vom 3. Juni 1899 unter Nr. 68 und vom 20. Januar 1900 unter Nr. 12.<sup>1)</sup>)

#### § 1.

Begriffserklärung des Portlandzementes und seine Zusammensetzung.

Portlandzement ist ein Produkt, erhalten aus natürlichen Mergeln oder künstlichen Mischungen von Ton und kohlen-sauren Kalk enthaltenden Materialien durch Brennen derselben bis zur Sinterung und darauf folgende Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit.

Das hydraulische Modul, nämlich das Verhältnis der Summe der Gewichtsmengen von Calciumoxyd ( $\text{CaO}$ ) und Alkalien ( $\text{Na}_2\text{O}$  und  $\text{K}_2\text{O}$ ) zur Summe der Gewichtsmengen Kieselsäure ( $\text{SiO}_2$ ), Tonerde ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und Eisenoxyd ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) darf im Portlandzement nicht weniger als 1·7 und nicht mehr als 2·2 betragen. Die Menge des Schwefelsäureanhydrits und der Magnesia im fertigen Portlandzement (d. h. nach Zusatz fremder Beimengungen zum gebrannten Produkt) soll betragen: erstere nicht mehr als  $1\frac{3}{4}\%$ , letztere nicht mehr als  $3\%$ . Die Beimengung fremder Bestandteile zum gebrannten und gemahlene Portlandzement darf nicht mehr als  $2\%$  des Gewichtes betragen.

Anmerkung. Den Bauverwaltungen ist es freigestellt, ihre Bevollmächtigten auf die Zementfabriken zu beordern zur Beaufsichtigung der Herstellung des Zementes und seiner richtigen Zusammensetzung, sowie zur Ausführung eines Teils oder sämtlicher durch diese Regeln festgestellter Prüfungen der Eigenschaften des fertigen Produktes.

Im Falle eines Zweifels über die Zusammensetzung des Produktes oder auf besondere Verfügung der betreffenden Institution des Ministeriums der Wegekommunikation haben sich die beordneten Personen über die richtige Zusammensetzung durch eine Analyse zu vergewissern.

---

<sup>1)</sup> Ins Deutsche übertragen vom Ingenieur-Chemiker Jul. Zelm-Riga.

§ 2.

Allgemeine Regeln für die Prüfung des Portlandzementes.

a. Die Prüfung des Portlandzementes auf die in den §§ 3 bis 7 angegebenen Eigenschaften, denen derselbe genügen muß, wird in voller Uebereinstimmung mit den gegenwärtigen technischen Bedingungen ausgeführt.

b. Zur Ausführung der Prüfungen einer Lieferung von mehr als 3,000 Tonnen wird letztere in Partien von je 3,000 Tonnen geteilt, aus jeder Partie 0·3% der Tonnenzahl genommen und aus jeder gewählten Tonne 15 Pfund Zement.

Für eine Lieferung unter 3,000 Tonnen nimmt man Partien von 1,000 Tonnen, aus jeder Partie  $\frac{1}{2}$ % der Tonnenzahl und aus jeder Tonne 15 Pfund Zement.

Bei einer Lieferung unter 1,000 Tonnen bildet die ganze Lieferung eine Partie, wobei die Probenzahl für die Prüfung nicht geringer als 3 sein darf.

Eine Lieferung unter 500 Tonnen kann nach dem vereinfachten Verfahren angenommen werden, indem man die Prüfung auf Volumenbeständigkeit und die Bestimmung des spezifischen Gewichtes ausführt und sich über die Resultate früherer Prüfungen orientiert.

Für eine Zementlieferung in Partien unter 500 Tonnen kann die betreffende Institution des Ministeriums der Wegekommunikation die Annahme des Zementes auf Grund des von ihr festgesetzten vereinfachten Prüfungsverfahrens gestatten, falls der Zement unmittelbar von einer Fabrik bezogen wurde, deren Produkte früheren Prüfungsergebnissen zufolge keinen Zweifel über gute Qualität erregen.

Die Prüfung des Zementes auf Volumenbeständigkeit und die Bestimmung des spezifischen Gewichtes (§§ 5 und 3) sind in jedem Falle obligatorisch.

Alle Zementprüfungen werden an dem Gemenge der aus jeder Partie genommenen Proben ausgeführt, die Prüfung auf Volumenbeständigkeit jedoch an jeder einzelnen Probe.

c. Alle Mörtel, die den in den §§ 4, 5 und 7 angegebenen Prüfungen und Untersuchungen unterworfen werden, können mit Süßwasser, Seewasser, oder mit destilliertem Wasser angerührt werden.

d. Alle Bestimmungen und Prüfungen sind in einem Raum mit einer gleichmäßigen Temperatur von 15—18° C. auszuführen, wobei sowohl der Zement, wie auch Sand und Wasser Zimmertemperatur haben müssen. In Fällen, wo diese Anforderung hinsichtlich der Temperatur nicht erfüllbar ist, muß hierüber im Prüfungsbuch eine Anmerkung gemacht werden, mit dem Hinweise auf die Temperatur während der Prüfung.

e. Die Anzahl der aus ein und demselben Zementbrei angefertigten Probekörper (§ 7) soll nicht mehr als 6 betragen und die Anfertigung derselben aus dem angerührten Zementbrei ist auf jeden Fall vor dem Erhärtungsbeginn zu beendigen.

f. Der aus reinem Portlandzement oder einer Mischung von Portland-

zement und Sand angerührte Brei muß fünf Minuten lang, gerechnet vom Augenblick des Wasserzusatzes, ohne Unterbrechung durchgearbeitet werden. Das Anrühren des Zementbreies, wie auch die Herstellung der Probekörper für die Prüfung auf Zugfestigkeit (§ 7) sollen nach Möglichkeit von ein und denselben Personen und mit denselben Instrumenten ausgeführt werden.

g. Sowohl die Kuchen aus Zementbrei (§§ 4 und 5) als auch die Probekörper für die Prüfung auf Zugfestigkeit (§ 7) müssen, so lange sie noch nicht ins Wasser gelegt sind (und auf jeden Fall bevor der Zement noch nicht abgebunden hat) in einem feuchten Raume aufbewahrt werden.

Die Herstellung oben erwähnter Kuchen und Probekörper geschieht auf einer Wasser nicht absaugenden Unterlage mit ebener Oberfläche (auf einer Marmor-, Glas-, Metallplatte und dergl.).

### § 3.

Das spezifische Gewicht des Portlandzementes.

Das spezifische Gewicht des bei ca. 120° C. getrockneten Portlandzementes soll nicht geringer als 3,05 sein.

Das spezifische Gewicht wird vermittels der Volumenmeter von Schumann oder Le Chatelier-Candlot bestimmt.

(NB. Im russischen Original folgen hier noch Zeichnung und Beschreibung dieser bekannten Apparate. Vergl. hierzu S. 157/8.)

### § 4.

Bedingungen für die Bindezeit des Portlandzementes.

a. Der Portlandzement muß langsam bindend sein. Der Erhärtungsbeginn soll nicht früher als eine Viertelstunde, gerechnet vom Augenblick des Wasserzusatzes zum Zement, eintreten, das Ende der Bindezeit nicht vor einer Stunde und nicht später als 12 Stunden. Das zum Anrühren des Zementes benutzte Wasser muß bei dieser Prüfung reines Süßwasser sein. Der Mörtel aus reinem Zement, der zur Bestimmung des Erhärtungsbeginnes und des Schlusses der Bindezeit angewendet wird, muß Normkonsistenz haben.

b. Die der Normkonsistenz des Mörtels aus reinem Portlandzement entsprechende Wassermenge wird durch den Konsistenzmesser bestimmt; dieser Apparat besteht aus einem Schaft von 1 cm Durchmesser nebst Tellerchen im Gesamtgewicht von 330 g, einer zylindrischen Dose von 4 cm Höhe und 8 cm Durchmesser zur Aufnahme des Zementbreies und einer mit einem Zeiger versehenen Skala in Millimeterteilung.

Zur Bestimmung der Normkonsistenz des Mörtels aus reinem Portlandzement werden 400 g des Zementes mit soviel Wasser angerührt, daß man annähernd einen etwas steifen Brei erhält, der auf das sorgfältigste durchgearbeitet wird und dann, womöglich ohne zu rütteln, in die zylindrische Dose, die auf einer nicht absaugenden (Glas) Unterlage plaziert sein muß, gefüllt wird; der überschüssige Zementbrei wird abgestrichen. Hierauf wird der Schaft des Konsistenzmessers vorsichtig soweit herabgelassen, daß der

Zeiger auf den Teilstrich 40 der Skala zeigt, worauf man den ersteren frei in den Brei einsinken läßt. Diejenige Wassermenge in Prozenten des Gewichtes vom angerührten Portlandzement, bei welcher der Schaft soweit einsinkt, daß der Zeiger auf den Teilstrich 6 der Skala (innerhalb der Grenzen  $5\frac{1}{2}$ — $6\frac{1}{2}$ ) zeigt, entspricht der Normalkonsistenz des Mörtels aus reinem Portlandzement. Diese Wassermenge läßt sich mit einer Genauigkeit von  $\frac{1}{2}\%$  bestimmen.

Anmerkung. Die der Normalkonsistenz des Mörtels aus reinem Portlandzement entsprechende Wassermenge schwankt für die verschiedenen Portlandzemente gewöhnlich zwischen den Grenzen 22—30%; ist jedoch für verschiedene, von einer und derselben Fabrik gelieferte Partien Portlandzement der betreffenden Lieferung ziemlich konstant.

c. Zur Bestimmung der Bindezeit des Portlandzementes werden 400 g Portlandzement mit der oben bestimmten normalen Wassermenge zu einem Brei angerührt und unter Beobachtung des oben angegebenen Verfahrens in die zylindrische Dose gefüllt. Hierauf bringt man den Zementbrei unter eine mit 300 g belastete Nadel von 1 mm Querschnitt (Vicat'sche Nadel) und läßt dieselbe in Intervallen von fünf und mehr Minuten frei in den Zementbrei einsinken, wobei jedesmal eine andere Partie des Breies unter die Nadel geführt wird. Der Erhärtungsbeginn tritt ein, wenn die Nadel beim Einsinken in den Zementbrei zwischen den Teilstrichen 0 und 1 der Skala zeigt, d. h. wenn dieselbe etwa  $\frac{1}{2}$  mm über der Glasunterlage der den Zementbrei enthaltenden Dose stecken bleibt, und der Schluß der Bindezeit, wenn die Nadel nicht tiefer als  $\frac{1}{2}$  mm in den Zementbrei einsinkt.

Zur vorläufigen Bestimmung der Bindezeit des Portlandzementes kann auch ein aus reinem Portlandzement mit einer der Normalkonsistenz entsprechenden Wassermenge auf einem ebenen Glas- oder Eisenplättchen hergestellter Kuchen benutzt werden; letzterer erhält einen Durchmesser von 8 bis 10 cm und eine Dicke (in der Mitte) von 1 cm. Der Portlandzement kann als abgebunden angesehen werden, wenn ein leichter Druck mit dem Fingernagel keinen Eindruck auf dem Kuchen hinterläßt, oder wenn bei leichtem Reiben der Oberfläche des Kuchens auf derselben sich kein Wasser zeigt.

d. Die Kuchenprobe aus reinem Portlandzement kann bei aufeinanderfolgenden Lieferungen von Portlandzement seitens einer und derselben Fabrik auch zur angenäherten Bestimmung der Bindezeit dienen. In diesen Fällen wird die Bindezeit mindestens an zwei Kuchen bestimmt.

## § 5.

### Bedingungen für die Volumbeständigkeit.

a. Der Mörtel aus reinem Portlandzement von Normalkonsistenz muß sowohl an der Luft als auch im Wasser volumbeständig sein, d. h. die aus diesem Mörtel nach § 4 hergestellten Kuchen dürfen sowohl bei der Probe durch Erwärmen (Darrprobe) als auch bei der durch Verbleiben im Wasser

(während 27 Tage) weder Krümmungen noch radiale Risse an den Rändern zeigen. Für jede dieser Proben auf Volumenbeständigkeit wendet man mindestens zwei Kuchen an.

b. Für die Darrprobe werden die Kuchen 24 Stunden, nachdem der Zementbrei angerührt worden, und auf jeden Fall nicht früher als nachdem der Portlandzement abgebunden hat, mindestens anderthalb Stunden lang einem Luftbade von  $120^{\circ}$  C. ausgesetzt. Trockenrisse, die nicht an den Rändern des Kuchens, sondern in der Mitte derselben in Form von konzentrischen, oberflächlichen Haarlinien auftreten, sind kein Beweis für die Volumveränderlichkeit des Zementmörtels.

c. Für die Probe durch Verbleiben im Wasser werden die Kuchen 24 Stunden nach dem Anrühren des Mörtels ins Wasser gelegt, in welchem sie 27 Tage lang verbleiben.

Falls der Portlandzement bei der 7 Tage nach dem Anrühren des Mörtels vorgenommenen Prüfung auf Zugfestigkeit denjenigen in § 7 angegebenen Bedingungen genügt hat, unter welchen die Prüfung auf Zugfestigkeit 28 Tage nach dem Anrühren des Mörtels nicht mehr ausgeführt zu werden braucht, wird die Probe durch Verbleiben im Wasser während 27 Tage außer der Darrprobe für die Annahme des Zementes nicht verlangt, muß jedoch zur Kontrolle der letzteren ausgeführt werden. Wenn die Kontrollprobe durch Verbleiben im Wasser während 27 Tagen im Portlandzement Volumenveränderlichkeit nachweist, so geschieht die Annahme der folgenden von derselben Fabrik stammenden Lieferungen von Portlandzement nur auf Grund der Resultate dieser letzteren Probe.

#### § 6.

Feinheit der Mahlung des Portlandzementes.

Der Portlandzement muß möglichst fein gemahlen sein. Beim Durchsieben des getrockneten Zementpulvers durch zwei Zementsiebe von unten angegebenen Dimensionen dürfen dem Gewichte nach nicht weniger als 50% das Sieb von 4,900 Maschen pro qcm passieren und nicht mehr als 15% auf dem Siebe von 900 Maschen pro qcm zurückbleiben. Die Drahtstärke für das Sieb von 4,900 Maschen pro qcm muß 0,05 mm betragen, diejenige für das Sieb von 900 Maschen pro qcm: 0,1 mm. Für die Bestimmung der Mehlfeinheit nimmt man 100 g Zement.

#### § 7.

Bedingungen für die Prüfung des Portlandzementes auf Zugfestigkeit.

Die mechanische Festigkeit des Portlandzementes wird durch Prüfung seiner Mörtel auf Zugfestigkeit bestimmt. Der Prüfung werden sowohl Probekörper aus reinem Zementmörtel als auch solche aus einer Mischung von Zement und Sand unterworfen. Sämtliche Prüfungen des Portlandzementes auf seine Festigkeit werden vermittels einheitlicher Apparate und an Probekörpern von gleichem Querschnitt von 5 qcm an der Zerreißstelle und einheitlicher Herstellung ausgeführt.

Anmerkung. Für die Ausführung der erwähnten Prüfungen ist die Anwendung des Klebe'schen Rammapparates zu empfehlen.

Zur Herstellung der Probekörper für die Prüfung der Mörtel wendet man eine der Normkonsistenz derselben entsprechende Wassermenge an, welche für Mörtel aus reinem Portlandzement nach b. § 4, für Mörtel aus einer Mischung von Portlandzement und Sand dagegen nach unten folgender Anmerkung 1. bestimmt wird.

Zur Herstellung der Probekörper wird der Mörtel mit bedeutendem Ueberschuß in Metallformen gefüllt, die vorher gereinigt und entweder geölt oder mit Wasser angefeuchtet und auf eine Wasser nicht absaugende Unterlage gelegt sind. Die Probekörper werden entweder erst nach dem Erhärten des Mörtels aus der Form entfernt oder falls das Entformen auf mechanische Weise geschieht bald nach ihrer Herstellung.

Die Prüfung der Probekörper erfolgt mit dem Apparat von Michaëlis und zwar gleichzeitig an sechs Probekörpern; die mittlere Festigkeit des geprüften Zementes wird aus den 4 höchsten bei der Prüfung sich ergebenden Festigkeitszahlen berechnet. Sowohl die Probekörper aus reinem Zementmörtel als auch die aus Sandmörtel müssen die ersten 24 Stunden an der Luft in einem feuchten Raume verbleiben, werden hierauf ins Wasser gelegt und in demselben bis unmittelbar zur Vornahme der Prüfung aufbewahrt. Das Wasser, in welchem die Probekörper liegen, ist wenigstens einmal wöchentlich zu erneuern.

Anmerkung 1. Bestimmung der Wassermenge für die Normkonsistenz des Mörtels aus einem Gemenge von Portlandzement und Sand.

Die zum Anrühren einer Mischung von einem Teil Zement und drei Teilen Sand erforderliche, der Normkonsistenz des Sandmörtels entsprechende Wassermenge wird entweder auf der Zementramme durch eine gewisse mechanische Arbeit bestimmt oder nach Angabe der Fabrik genommen.

Wenn die Wassermenge auf der Zementramme nicht bestimmt werden kann und auch vom Fabrikanten nicht angegeben ist, so sind ungefähr 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> vom Gewicht der trockenen Mischung als Wasserzusatz zu nehmen und diese Menge zu verändern, entsprechend der Anforderung einen bequem zu verarbeitenden Zementbrei zu erzielen.

Um auf der Zementramme die zum Anrühren der erwähnten Mischung erforderliche Wassermenge zu bestimmen, fügt man zu 750 g einer Mischung von einem Teil Portlandzement und drei Teilen Sand, zunächst trocken gut durcheinander gemengt, annähernd so viel Wasser hinzu, als erforderlich ist, um einen feuchten Brei zu erhalten.

Der durchgearbeitete Brei wird in die Form des Apparates gefüllt und auf der Zementramme durch eine mechanische Arbeit von 1 kg/m pro 10 g Trockenmischung verdichtet; nach Beendigung der Verdichtungsarbeit muß, bei Normkonsistenz des Mörtels, sich unter der Form hervor eine zementhaltige Flüssigkeit von milchiger Farbe absondern. Das Volumgewicht eines auf diese Weise frisch hergestellten Würfels ergibt das spezifische Gewicht

des frischen Mörtels von Normalkonsistenz in der Mischung 1:3. Bei der Anfertigung der Zugprobekörper muß das Einstampfen des Mörtels in die Formen so lange andauern, bis das Volumgewicht dem oben erwähnten spezifischen Gewichte entspricht.

Anmerkung 2. Ueber die Herstellung von Probekörpern des Mörtels aus reinem Zement:

Vor dem Abstreichen des überschüssigen Mörtels von den gefüllten Formen ist die Marmorplatte, auf welcher letztere liegen, an einem Ende aufzuheben und einige Male schwach gegen den Tisch zu stoßen. Die Formen werden auf die Platte mit einer Unterlage von etwas feuchtem Fließpapier gelegt.

Anmerkung 3. Ueber die Herstellung von Probekörpern der Mörtelmischung aus Portlandzement und Sand:

Der Mörtel wird mit einem 250 g schweren eisernen Spatel resp. mit einem Holzhammer von demselben Gewicht oder mit Hilfe des Rammapparates so lange in die Form hineingestampft, bis sich auf der Oberfläche desselben Wasser zeigt; alsdann wird der überschüssige Mörtel abgestrichen und die Oberfläche des die Form ausfüllenden Breies mit einem Messer geebnet. Das Hinzufügen von Mörtel und nochmaliges Einschlagen ist nicht gestattet.

Anmerkung 4 enthält im russischen Original hier noch Zeichnung und Beschreibung des Michaëlis'schen Apparates. (Vergl. hierzu S. 162.)

#### b. Prüfung der Probekörper des Mörtels aus reinem Zement.

Die aus reinem Portlandzementmörtel hergestellten Probekörper müssen 7 Tage nach dem Anrühren des Mörtels eine Zugfestigkeit von mindestens 20 kg pro qcm und 28 Tage nach dem Anrühren desselben eine solche von mindestens 25 kg pro qcm aufweisen.

Wenn der Portlandzement 7 Tage nach dem Anrühren des Mörtels eine Zugfestigkeit von mindestens 23 kg pro qcm aufweist, so wird für die Annahme des Zementes die Prüfung 28 Tage nach dem Anrühren des Mörtels nicht verlangt, muß jedoch zur Kontrolle der bei der Prüfung nach 7 Tagen erhaltenen Resultate ausgeführt werden.

Wenn die 28 Tage nach dem Anrühren des Mörtels ausgeführten Kontrollprüfungen eine Zugfestigkeit des Zementes unter 25 kg pro qcm ergeben, so geschieht die Annahme der folgenden Lieferungen von Portlandzement derselben Fabrik nur auf Grund der Resultate der Prüfungen 28 Tage nach dem Anrühren des Zementes.

#### c. Prüfung der Probekörper aus der Mörtelmischung von Portlandzement und Sand.

Zur Herstellung der Probekörper für diese Prüfung mischt man Portlandzement und Sand in dem Verhältnis von einem Gewichtsteil Portlandzement auf drei Gewichtsteile Normalsand. Der zu diesem Zweck verwendete Sand muß Quarzsand und durch drei Siebe von 64, 144 und 225 Maschen pro qcm durchgesiebt sein.

Die Rückstände, die beim Durchsieben des Sandes auf den Sieben von 144 und 225 Maschen pro qcm zurückbleiben, liefern, zu gleichen Teilen mit einander vermischt, den erwähnten Normalsand. Die Drahtstärke der Sandsiebe muß betragen: 0·4 mm für das Sieb von 64 Maschen, 0·3 mm für das Sieb von 144 Maschen und 0·2 mm für das Sieb von 225 Maschen pro qcm. Die nach dem angegebenen Verfahren aus der Mischung von Portlandzement und Sand hergestellten Probekörper müssen 7 Tage nach dem Anrühren des Mörtels eine Zugfestigkeit von mindestens 7 kg pro qcm und 28 Tage nach dem Anrühren des Mörtels eine solche von mindestens 10 kg pro qcm aufweisen.

Falls der Mörtel aus Portlandzement und Sand 7 Tage nach dem Anrühren eine Zugfestigkeit nicht unter 8 kg pro qcm aufweist und der Portlandzement gleichzeitig allen Anforderungen der §§ 3—6 und § 7 Genüge leistet, so kann die Annahme des Zementes ohne die Prüfung nach 28 Tagen erfolgen; trotzdem muß die Prüfung nach 28 Tagen zur Kontrolle der bei der 7tägigen Prüfung erhaltenen Resultate ausgeführt werden. Falls die Prüfungen nach 28 Tagen eine Zugfestigkeit des Mörtels von Zement und Sand unter 10 kg pro qcm ergeben, so geschieht die Annahme der folgenden Lieferungen von Portlandzement derselben Fabrik nur auf Grund von Resultaten der Prüfungen 28 Tage nach dem Anrühren des Zementes.

Anmerkung. Falls Lieferungen für eilige Arbeiten vorliegen, kann Portlandzement von bekannten Firmen früher als nach 7 Tagen, jedoch nicht früher als nach 4 Tagen angenommen werden, wenn er allen in den §§ 3—6 enthaltenen Bedingungen genügt und eine Zugfestigkeit von mindestens 7 kg pro qcm nach erwähntem Zeitraum aufweist.

## § 8.

### Verpackung und Gewicht der Fässer.

Die Fässer mit Portlandzement müssen ein einheitliches Gewicht von  $10\frac{1}{4}$  Pud Zement netto (d. h. nach Abzug des Gewichtes des Fasses) und ca. 11 Pud brutto aufweisen. Zur Gewichtskontrolle des gelieferten Zementes genügt es, das Bruttogewicht der Fässer zu bestimmen. Die Abrechnung bei Zementlieferungen erfolgt nach dem Nettogewicht ohne Berücksichtigung des Streuverlustes. Auf den Fässern müssen die Worte: „Portlandzement“, sowie Fabrikfirma, Nummer der Partie und das Jahr der Herstellung des Portlandzementes deutlich vermerkt sein.

Die Lieferung von Portlandzement in Säcken ist nur auf Grund einer jedesmaligen Vereinbarung zwischen der die Bestellung ausführenden Institution und der den Zement liefernden Fabrik gestattet.

Der Streuverlust darf nicht mehr als 2% betragen, wobei die Bestimmung des zulässigen Verlustes für jede einzelne Lieferung von der Größe derselben abhängig ist und der Vereinbarung zwischen dem Besteller und



dem Lieferanten überlassen bleibt. Ist der Streuverlust höher als die festgesetzte Norm, so zieht derselbe, falls die Lieferung mit Zustellung zur Baustelle vergeben war, einen entsprechenden Abzug bei der Bezahlung des Portlandzementes für den Lieferanten nach sich.

#### Auszug aus französischen Lieferungsbedingungen.<sup>1)</sup>

1. Der gelieferte Zement soll ausschließlich aus der Fabrik des Submittenten kommen; er soll hervorgegangen sein aus einer Mahlung von Klinkern, d. h. durch das Brennen bis zur Sinterung einer innigen Mischung von kohlen saurem Kalk und Ton in ganz genauen Verhältnissen, chemisch und physikalisch homogen in allen seinen Teilen.

2. Die Behörde behält sich vor, unter den von ihr aufgestellten Bedingungen die Kontrolle über die Fabrikation und Lieferung ausüben zu können. Ihr Beauftragter hat das Recht:

- a) alle Dispositionen treffen zu dürfen, welche er für notwendig erachtet, um sich über die richtige Zusammensetzung der Rohmasse zu vergewissern,
- b) das Aussuchen der Klinker nach dem Brande zu kontrollieren,
- c) den der Kontrolle unterliegenden Zement weiter beim Magazinieren, Verpacken und Plombieren zu beobachten,
- d) besondere Aufsichtsbeamte zu obigen Zwecken dauernd auf der Fabrik zu installieren.

3. Wird irgendwelche Unregelmäßigkeit oder Unvollkommenheit konstatiert, so soll das ganze Quantum Zement für verdächtig erklärt und bis zur Beendigung der Prüfung, mindestens aber drei Monate, zur Verfügung gestellt sein.

4. Jede Lieferung wird auf der Baustelle zunächst daraufhin untersucht, ob der Zement durchaus trocken und pulverförmig ist. Des weiteren werden Untersuchungen angestellt über:

- a) die Dichte des Zementes (Volumengewicht),
- b) die chemische Zusammensetzung,
- c) die Abbindezeit,
- d) die Volumenbeständigkeit,
- e) die Zugfestigkeit des reinen Zementes und
- f) die Zugfestigkeit des Sandmörtels.

Die Vornahme der Prüfung wird dem Lieferanten spätestens eine Stunde vorher angezeigt und mit derselben begonnen, ohne Rücksicht darauf, ob der Lieferant dazu erschienen ist oder nicht.

5. Minimalgewicht eines Liters lose eingelaufenen Zementes, welcher durch das Sieb von 5000 Maschen pro Quadratcentimeter geschlagen ist.

<sup>1)</sup> Nach Dr. Michaëlis: Separatabdruck aus der Baugewerks-Zeitung.

Vergl. hierzu: Spezifische Gewichts- und Maßbestimmung beim Portlandzement, Seite 365—373. Die Klinker zu diesem Versuch wählt der Beauftragte der Behörde aus; dieselben werden besonders gemahlen und zwar so fein, daß etwa 75—80 % das 5000-Maschensieb passieren.

6. Jeder Zement, der mehr als 1% Schwefelsäure oder Sulfide in wägbarer Menge aufweist, wird verworfen.

7. Jeder Zement gilt als verdächtig, welcher mehr als 4% Eisenoxyd enthält oder ein Verhältnis von weniger als 44 Gewichtsteilen verbindungs-fähige Kieselsäure und Tonerde auf 100 Gewichtsteile Kalk aufweist.

8. Proben mit reinem Zement: dieselben werden mit Seewasser von 15 bis 20° C. auf einer Marmorplatte angemacht.

a) Die Konsistenz muß bei Bearbeitung des Mörtels über 3 Minuten hinaus konstant bleiben.

b) Der Mörtel soll sich von der Kelle glatt und vollkommen ablösen und bei einem Fall von 500 mm Höhe seinen Zusammenhang be-wahren, ohne Risse zu erhalten.

c) Der Mörtel soll, in der Hand zusammengeballt, rasch Kugelform an-nehmen und derartig kohärent sein, daß nichts an der Handfläche haften bleibt. Beim Fall aus 500 mm Höhe soll die Kugel sich nur etwas abplatteln dürfen, sonst aber ihre Form bewahren, ohne Risse zu erhalten.

d) Die Wassermenge soll so bemessen werden, daß die geringste Ver-mehrung derselben den Mörtel merklich verändert, d. h. verflüssigt.

9. Bindezeit: Ermittlung, wie üblich, durch die Vicat-Nadel.

10. Volumenbeständigkeit: Kuchenprobe unter Wasser.

11. Zugfestigkeit der Probekörper aus reinem Zement; Herstellung: 18 Proben für drei Altersklassen von 7, 28 und 84 Tagen. Die Probekörper nach Fahnehjelm's Modell (Form einer Geige) werden, wie üblich, ein-geschlagen und auf dem Apparate von Dr. Michaëlis gerissen.

12. Die Zugfestigkeit der Proben aus reinem Zement soll nach 7 Tagen 20 kg, nach 28 Tagen 35 kg pro Quadratcentimeter betragen.

13. Die 28-Tageproben aus reinem Zement müssen zum wenigsten 5 kg höher sein als die 7-Tageproben, sofern sie nicht mindestens 55 kg pro Quadratcentimeter betragen haben.

14. Die Zugfestigkeit des reinen Zementes soll nach 84 Tagen wenig-stens 45 kg betragen. Außerdem soll sie die 28-Tagefestigkeit überschreiten, wenn dieselbe nicht mindestens 55 kg betrug.

15. Sand für den Normalmörtel: Als solcher wird ein Quarzsand von Cherbourg angewendet, der gut gewaschen, getrocknet und durch Absieben zwischen zwei Sieben von 64 und 144 Maschen erhalten wird.

16. Anfertigung der Sandproben: 18 Proben, je 6 für drei Altersklassen, von denen stets nur je 3 auf einmal mit 12% Seewasser anzumachen sind, und welche in der gewöhnlichen Weise eingeschlagen werden. Art und Ter-mine der Prüfung wie ad 11.

17. Die Normalmörtel-Zugfestigkeit soll nach 7 Tagen 8 kg, nach 28 Tagen 15 kg pro Quadratcentimeter betragen.

18. Die 28-Tagefestigkeit soll mindestens 2 kg höher sein als diejenige nach 7 Tagen.

19. Die Zugfestigkeit nach 84 Tagen muß mindestens 18 kg pro Quadratcentimeter betragen und auf jeden Fall höher sein als diejenige nach 28 Tagen.

20. Die Lieferung erfolgt in Säcken à 50 kg netto.

etc. etc.

### Auszug aus englischen Bestimmungen.

1. Beschaffenheit. Der Zement soll durch Brennen einer innigen Mischung von kohlensaurem Kalk und Ton hergestellt sein, unter Ausschluß jedweder anderweitigen Beimischung.

2. Gewicht. Das Hektolitergewicht soll nicht unter 130 kg betragen, wobei der Zement vorsichtig und ohne Rütteln in das Maßgefäß einzugeben ist.

3. Festigkeit. Der reine Zement soll nach 7 Tagen (1 Tag an feuchter Luft, 6 Tage unter Wasser) wenigstens 25 kg pro Quadratcentimeter und nach 28 Tagen (1 Tag an feuchter Luft, 27 Tage unter Wasser) wenigstens 35 kg pro Quadratcentimeter Zugfestigkeit aufweisen.

4. Normalmörtel. Derselbe wird 1 Zement : 3 Sand angemacht; seine Zugfestigkeit soll (in entsprechender Weise wie ad 3) nach 7 Tagen 8 kg pro Quadratcentimeter, nach 28 Tagen 15 kg pro Quadratcentimeter betragen.

5. Normalsand. Der Sand für den Normalmörtel soll reiner Quarzsand und zwischen zwei Sieben von 60 und 120 Maschen pro Quadratcentimeter abgeseibt sein.

6. Abbindezeit. Bei einer Temperatur von 15—18° C. soll der Zement nicht vor  $\frac{1}{2}$  und nicht nach 3 Stunden abzubinden anfangen; er soll alsdann ferner in längstens 12 Stunden abgebunden haben.

7. Feinheit. Der Zement soll nicht mehr als 15% Rückstand auf dem 900-Maschensieb hinterlassen.

etc. etc.

### Einheitliche Benennungen und Prüfungsnormen für die Bindemittel in der Schweiz.<sup>1)</sup>

#### I. Bezeichnung.

1. Luftkalke sind Erzeugnisse, welche durch Brennen von Kalksteinen gewonnen werden, und die, mit Wasser benetzt, sich meist unter er-

<sup>1)</sup> Auszug der wesentlichsten Schweizer Regulative.

heblicher Wärmeentwicklung und Volumvergrößerung gänzlich zu Pulver löschen.<sup>1)</sup>

2. Hydraulische Kalke sind Erzeugnisse, welche durch Brennen von Kalkmergeln oder Kieselkalcken gewonnen werden und, mit Wasser benetzt, sich ohne erhebliche Volumveränderung ganz oder teilweise zu Pulver löschen.<sup>1)</sup>

3. Romanzemente sind Erzeugnisse, welche aus tonreichen Mergeln durch Brennen unterhalb der Sinterzone gewonnen werden und bei Benetzung mit Wasser sich nicht löschen, daher durch mechanische Zerkleinerung in Pulverform gebracht werden müssen.

4. Portlandzemente sind Erzeugnisse, welche aus Kalkmergeln oder künstlichen Mischungen ton- und kalkhaltiger Materialien durch Brennen bis zur Sinterung und darauf folgende Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit gewonnen werden und auf die Gewichtseinheit hydraulischer Bestandteile mindestens 1·7 Gewichtsteile Kalk enthalten.

Zur Regulierung technisch wichtiger Eigenschaften der Portlandzemente ist ein Zusatz fremder Stoffe bis zu 2% des Gewichtes ohne Aenderung des Namens zulässig.

5. Hydraulische Zuschläge, Puzzolane, sind künstliche oder natürliche Stoffe, welche nicht selbständig, sondern in Verbindung mit Aetzkalk hydraulisch erhärten.

6. Puzzolanzemente sind Erzeugnisse, welche durch innigste Mischung pulverförmiger Kalkhydrate mit staubfein zerkleinerten hydraulischen Zuschlägen (Puzzolanen im allgemeinen) gewonnen werden.

7. Gemischte Zemente sind Erzeugnisse, welche durch innigste Mischung fertiger Zemente mit geeigneten Zuschlägen gewonnen werden.

## II. Verpackung und Gewicht.

Mit Ausnahme sich vollkommen löschender hydraulischer Kalke sind sämtliche hydraulischen Bindemittel in Pulverform in Säcken oder Fässern verpackt mit Preisstellung von 100 kg in den Handel zu bringen.

Das Bruttogewicht eines Sackes soll 50, dasjenige eines Fasses 200 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.

Fässer und Säcke erhalten die Firma der Fabrik und die Fabrikmarke der Ware. Die Säcke mit Zement sind auf Verlangen zu plombieren und soll die Plombe die Fabrikmarke des Bindemittels tragen.

---

<sup>1)</sup> Nach örtlichen Verhältnissen werden Luftkalke und hydraulische Kalke in Stückform oder hydratisiert, in Pulverform, in den Handel gebracht.

### III. Abbindeverhältnisse.

Die im Handel vorkommenden hydraulischen Bindemittel sind rasch, mittel oder langsam bindend.

Hydraulische Bindemittel, deren Erhärtung innerhalb 15 Minuten nach dem Anmachen beginnt, sind als rasch bindend zu bezeichnen. Fällt der Erhärtungsbeginn eines Bindemittels über 60 Minuten hinaus, so ist dasselbe als langsam bindend anzusehen. Zwischen den Rasch- und Langsambindern rangieren die Mittelbinder.

#### Bemerkung.

Die Feststellung der Normalkonsistenz und der Abbindezeiten erfolgt analog den deutschen Normen mittels der Vicat-Nadel.

### IV. Volumbeständigkeit.

Hydraulische Bindemittel sollen bei Erhärtung an der Luft wie unter Wasser angemessen volumbeständig sein.

#### Bemerkung.

Als maßgebende Proben gelten die Kuchenprobe während 28 Tagen unter Wasser und die Darrprobe bei 110<sup>o</sup> C. während 3 Stunden im Trockenschrank.

### V. Feinheit der Mahlung.

Die hydraulischen Bindemittel sollen entsprechend fein gemahlen sein. Auf einem Sieb von 900 Maschen pro Quadratcentimeter darf

der hydraulische Kalk nicht mehr als 20 %,
„ Romanzement „ „ „ 20 „ ,
„ Portlandzement „ „ „ 15 „ ,
„ Schlackenzement „ „ „ 1 „ ,

zurücklassen.

Die Drahtstärke des Siebes von 900 Maschen soll 0·1 mm betragen.

### VI. Prüfung der Festigkeitsverhältnisse.

Die Bindekraft hydraulischer Bindemittel soll durch Prüfung der Festigkeitsverhältnisse einer Mischung mit Sand ermittelt werden. Als normale Mischung gilt das Gemenge aus 1 Gewichtsteil Bindemittel auf 3 Gewichtsteile Normalsand.

Der zu verwendende Normalsand soll aus reinem, gewaschenem, in der Natur vorkommendem oder durch Pochen von Quarz erzeugtem Sande in der Weise gewonnen werden, daß man ihn durch ein Sieb von 64 Maschen pro Quadratcentimeter siebt, dadurch die größten Teile ausscheidet und aus dem so erhaltenen Sande mittels eines Siebes von 144 Maschen pro Quadratcentimeter die feinsten Teile entfernt. Der Siebrückstand ist „Normalsand“.

Die Drahtstärke soll für das Sieb mit

64 Maschen pro Quadratcentimeter	0·4 mm
144 „ „ „	0·3 „

betragen.

Die Prüfung der Kohäsion des Normalmörtels soll nach einheitlichen Methoden mittels gleicher Apparate an Probekörpern gleicher Gestalt und Größe durch Ermittlung der Zug- und Druckfestigkeit geschehen.

Die gewöhnliche Qualitätsprobe ist die Zerreißprobe; sie dient zur Kontrolle der Gleichmäßigkeit der gelieferten Waren und wird an achterförmigen Probekörpern mit 5 qcm Bruchfläche ausgeführt.

Die maßgebende, wertbestimmende Probe ist die Druckprobe; sie wird an Würfeln mit 7 cm Kantenlänge vorgenommen.

Sämtliche Probekörper der Zug- und Druckfestigkeit eines hydraulischen Bindemittels sind prinzipiell in gleicher Konsistenz mit derjenigen Wassermenge und derjenigen Dichte zu erzeugen, welche sich beim Einrammen von 750 g trockener Mörtelsubstanz durch 150 Schläge eines Fallgewichtes von 3 kg aus 0·50 m Höhe ergibt.

Vom Momente der Wasserzufuhr ab gerechnet, wird die Dauer der Durcharbeitung des Normenmörtels bei rasch bindenden Zementen auf 1 Minute, bei halblangsam und langsam bindenden Bindemitteln auf 3 Minuten festgesetzt.

Die Erzeugung der Probekörper kann maschinell oder von Hand geschehen. Bei amtlichen Proben oder in Streitfällen ist stets Maschinenarbeit anzuwenden. Dabei ist der Mörtel für die Probekörper schnellbindender Zemente stückweise, für alle anderen paarweise bei Zug, stückweise für Druck anzurühren.

Zur Erzielung zuverlässiger Durchschnittswerte sind für jede Altersklasse der Zug- oder Druckprobe 6 Probekörper zu verwenden. Das Mittel aus den 4 besten Proben ist als maßgebender Durchschnitt anzusehen.

Sämtliche Probekörper müssen, mit Ausnahme der hydraulischen Kalke, welche erst nach dreitägiger Luftlagerung unter Wasser gelangen, die ersten 24 Stunden in einem geschlossenen, mit Wasserdampf gesättigten Raume an der Luft, die übrige Zeit bis unmittelbar zur Vornahme der Probe unter Wasser aufbewahrt werden.

Das Wasser, in welchem die Probekörper erhärten, ist in den ersten 4 Wochen alle 8 Tage zu erneuern.

Die sämtlichen Proben (Zug und Druck) sollen stets nach 7- und 28-tägiger Erhärtung ausgeführt werden. Als maßgebende Probe wird für sämtliche hydraulischen Bindemittel die 28-Tageprobe angenommen.

#### Bemerkung.

Die Wassermenge, welche zum Anmachen des Mörtels dient, ist als korrekt gewählt anzusehen, wenn die charakteristische Wasserabsonderung zwischen dem 100. und 110. Schläge des Rammapparates eintritt. — Bei Handarbeit soll diese Wasserabsonderung bei einem 1 Minute lang fortgesetzten Einschlagen eintreten.

### VII. Festigkeitsverhältnisse.

Die in Normalkonsistenz verarbeiteten hydraulischen Bindemittel sollen mit Ausnahme der hydraulischen Kalke, die eine 3-tägige Luftlagerung erhalten,

nach 1-tägiger Luft und 27-tägiger Wassererhärtung folgende minimale Festigkeitsverhältnisse des Normalmörtels aufweisen:

	Zug-	Druckfestigkeit.
der leichte hydraulische Kalk	6 kg,	30 kg pro Quadratcentimeter.
„ schwere „ „	8 „ „	50 „ „ „
„ Romazement	10 „ „	80 „ „ „
„ raschbind. Portlandzement	14 „ „	130 „ „ „
„ langsambind. „	16 „ „	160 „ „ „
„ Schlackenzement	16 „ „	150 „ „ „

Bemerkung.

Die Hand- und Maschinenarbeit ist analog den „Deutschen Normen“.

### Prüfung von Zement in den Vereinigten Staaten.<sup>1)</sup>

In der am 20. und 21. Januar 1897 stattgehabten Jahresversammlung des Vereins amerikanischer Zivilingenieure wurde ein Ausschuß gewählt, der dem Verein Vorschläge für einheitliche Prüfungsverfahren von Zement unterbreiten sollte. Bald nach seiner Einsetzung nahm der Ausschuß seine Arbeiten auf und führte in den folgenden Jahren eine Reihe sorgfältiger Versuche, die mit umfangreichen Studien verbunden waren, aus. Von Zeit zu Zeit reichte der Ausschuß kurze Berichte über den Fortgang der Arbeiten ein. Im Laufe des Jahres 1902 waren die Arbeiten bereits soweit vorgeschritten, daß der Ausschuß imstande war, in der am 21. und 22. Januar 1903 stattfindenden Jahresversammlung einen vorläufigen Bericht abzustatten. In vieler Hinsicht ist dieses Dokument, wie die „Engineering News“ bemerken, eins der wichtigsten über Zementprüfung, welches seit vielen Jahren in englischer Sprache erschienen ist. Den von genannter Zeitschrift in seinem ganzen Wortlaut veröffentlichten Bericht gibt Verf. nachstehend nur soweit wieder, als er für Deutschland von Interesse ist.

#### Entnahme des Probematerials.

Auswahl des Probematerials. Die Auswahl der Probe für die Versuche ist eine Detailfrage, welche dem Ingenieur überlassen werden muß; die Anzahl und Menge der von jeder Packung zu entnehmenden Proben werden hauptsächlich durch die Bedeutung der Arbeit, die Anzahl der vorzunehmenden Versuche und die zur Verfügung stehenden Prüfungsmittel bedingt. Die Probe soll einen Durchschnitt des Inhalts der Packung darstellen; es wird empfohlen, falls zugänglich, von jedem zehnten Faß eine Probe zu entnehmen. Um etwa vorhandene Klumpen zu zerkleinern, sowie um fremde Bestandteile zu entfernen, sollten sämtliche Proben durch ein Sieb von

<sup>1)</sup> Tonindustrie-Ztg. 1903. S. 981 etc.

8 Maschen auf 1 cm und durch ein Sieb von 64 Maschen auf 1 qcm abgeseibt werden. Durch dieses Sieben wird auch die zur Herstellung eines Durchschnitts erforderliche gründliche Mischung der einzelnen Proben erzielt. Um die Eigenschaften einer Zementladung festzustellen, ist es zulässig, die einzelnen Proben zu mischen und nur den Durchschnitt zu prüfen; es wird jedoch empfohlen, wo es die Zeit erlaubt, die Proben getrennt zu prüfen.

Art der Entnahme. Die Entnahme der Proben soll aus einem Loche, welches entweder in der Mitte des Fasses in der halben Höhe zwischen Boden und Deckel, oder in den Böden selbst gemacht ist, mittels eines Bohrers oder eines den von Zuckerinspektoren zur Entnahme von Zucker benutzten ähnlich geformten Eisens erfolgen. Aus Säcken soll die Probe von oben nach der Mitte zu entnommen werden.

#### Chemische Untersuchung.

Erläuterung. Die Analyse kann zur Feststellung wertvoll sein, ob der Zement mit beträchtlichen Mengen fremder Stoffe, z. B. Schlacke oder gemahlenem Kalk, verfälscht ist. Außerdem kann dieselbe dienlich sein, um festzustellen, ob bestimmte Bestandteile, die, falls in größerer Menge vorhanden, als schädlich angenommen werden, z. B. Magnesia und Schwefelsäure, in unzulässiger Menge vorhanden sind. Ohne eine bestimmte zulässige Menge für derartige Unreinheiten empfehlen zu wollen, weist der Ausschuß darauf hin, daß nach den neuesten und zuverlässigsten Erfahrungen ein Gehalt von Magnesia bis zu 5 % und von Schwefelsäure bis  $1\frac{3}{4}$  % für völlig unschädlich gehalten werden kann.

Die Bestimmung der Hauptbestandteile von Zement — Kieselsäure, Tonerde, Eisenoxyd und Kalk genügt nicht zur Beurteilung der Güte. Schlechte Eigenschaften von Zement werden häufiger durch ungenügendes Aufbereiten der Rohmaterialien oder durch fehlerhaftes Brennen, als durch eine unrichtige Zusammensetzung der Materialien hervorgerufen. Zement, der aus sehr fein gemahlenem Material hergestellt und vollkommen gebrannt ist, kann einen bedeutend größeren Prozentsatz an Kalk, als üblich, enthalten und trotzdem völlig brauchbar sein. Auf der anderen Seite können Zemente, die einen nur geringen Gehalt von Kalk haben, infolge mangelhafter Aufbereitung der Rohmaterialien schädliche Eigenschaften besitzen.

Ferner kann die Asche des Brennmaterials die Zusammensetzung des Erzeugnisses derartig ändern, daß die Ergebnisse der Analyse völlig hinfällig werden.

Verfahren. Als Prüfungsverfahren für die chemische Analyse von Zement wird diejenige empfohlen, welche die von der New-Yorker Sektion der Gesellschaft für chemische Industrie eingesetzte Kommission zur Vereinheitlichung der Untersuchung von Baumaterialien für die Portlandzementindustrie aufstellte und die im „Journal“ der genannten Gesellschaft am 15. Januar 1902 veröffentlicht ist.



Spezifisches Gewicht.

Erläuterung. Das spezifische Gewicht von Zement wird durch zu schwaches Brennen, Verfälschung und Lagern herabgesetzt; die Verfälschung muß aber schon bedeutend sein, um die Ergebnisse merklich beeinflussen zu können. Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes muß sehr sorgfältig gemacht werden, weil die Abweichungen der Versuchswerte meistens sehr klein sind. Falls einwandfrei vorgenommen, liefert dieser Versuch eine schnelle Kontrolle für Brennen unter der Sinterungsgrenze oder Verfälschung.

Apparat und Verfahren.

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes geschieht am bequemsten mit dem Apparat von Le Chatelier. Dieser Apparat besteht aus einer Flasche von 120 ccm Inhalt; der Flaschenhals ist etwa 20 cm lang und hat in der Mitte eine birnenförmige Erweiterung; oberhalb und unterhalb der Erweiterung sind zwei Zeichen angebracht und beträgt der Inhalt des zwischen diesen Zeichen liegenden Teils des Halses 20 ccm. Der Flaschenhals hat einen Durchmesser von etwa 9 mm und ist oberhalb der Erweiterung mit einer Skala, welche Ablesungen von  $\frac{1}{10}$  ccm ermöglicht, versehen. Benzin ( $62^{\circ}$  Baumé), Naphtha oder wasserfreies Petroleum sollen bei Vornahme der Bestimmung des spezifischen Gewichtes verwendet werden.

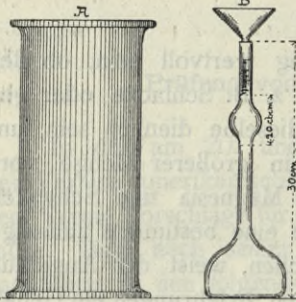


Fig. 223.

Das spezifische Gewicht kann auf zweierlei Art bestimmt werden:

1. Die Flasche wird mit Flüssigkeit bis zur unteren Marke gefüllt; daraufhin werden 64 g Pulver, welche vorher bei einer Temperatur von  $100^{\circ}$  C. getrocknet und dann bis zur Temperatur der Flüssigkeit abgekühlt sind, durch den Trichter B, dessen Stange bis zur Halserweiterung reicht, langsam hineingeschüttet, bis die obere Marke erreicht wird. Der Unterschied des Gewichtes zwischen dem übrig gebliebenen Zement und der ursprünglichen Menge von 64 g ist gleich dem Gewicht derjenigen Pulvermenge, welche einen Raum von 20 ccm ausfüllt.

2. Das ganze Quantum des Pulvers wird in die Flasche geschüttet, dann steigt das Niveau der Flüssigkeit in dem Flaschenhals bis zu einem Teilstrich der Skala. Der durch das Pulver verdrängte Raum ergibt sich dann, wenn man zu dieser Ablesung 20 ccm addiert.

Das spezifische Gewicht ergibt sich dann aus der Formel:

$$\text{Spezifisches Gewicht} = \frac{\text{Gewicht des Zementes}}{\text{Verdrängter Raum}}$$

Um Temperaturschwankungen der Flüssigkeit zu vermeiden, wird die Flasche während der Untersuchung in einen Behälter A unter Wasser gehalten. Die Resultate sollen bis auf 0.01 übereinstimmen.

Der Apparat läßt sich auf folgende bequeme Art reinigen: die Flasche wird über ein großes, am besten gläsernes Gefäß umgestülpt und dann in senkrechter Richtung kräftig geschüttelt, bis die Flüssigkeit langsam zu fließen beginnt; in dieser umgestülpten Stellung wird sie bis zur völligen Entleerung gehalten; durch Hineingießen kleinerer Mengen reiner Flüssigkeit und Wiederholung dieser Operation können noch etwa zurückgebliebene Teile des Zements entfernt werden. Genauere Untersuchungen können mit dem Pyknometer vorgenommen werden.

#### Feinheit der Mahlung.

Erläuterung. Es wird allgemein zugegeben, daß die gröberen Teile im Zement praktisch unwirksam, d. h. ohne Bindefähigkeit sind und daß nur das ganz feine Pulver (Siebfeinstes) diese Fähigkeit besitzt. Unter sonst gleichen Bedingungen wird der feiner gemahlene Zement einen größeren Sandzusatz vertragen und einen Mörtel von gegebener Festigkeit liefern. Die Feinheit der Mahlung, die der Zement bei der Fabrikation erhalten hat, wird durch Messung der Rückstände festgestellt, die der Zement auf Sieben bestimmter Größe hinterläßt. Die unter der Bezeichnung No. 100 und 200 bekannten Siebe werden für diesen Zweck empfohlen.

Apparat. Die Siebe sollen rund sein und etwa 20 cm Durchmesser und 6 cm Höhe haben; ferner sollen sie mit einer 5 cm tiefen Pfanne und einem Deckel versehen sein.

Das Drahtgeflecht soll gewebt (nicht geköpert) sein; und zwar aus Messingdraht mit folgendem Durchmesser: Sieb No. 100 rund 0·01 mm und Sieb No. 200 rund 0·06 mm. Das Drahtgeflecht soll beim Anmachen an das Gestell nicht verzerrt werden. Die Mascheneinteilung soll regelmäßig sein, und zwar erhält Sieb No. 100: 28—40 Maschen und No. 200: 74—80 Maschen auf 1 cm (d. i. rund 1600 bzw. 6400 Maschen auf 1 qcm). Zu jeder Siebprobe sind entweder 50 oder 100 g Zement zu verwenden. Vor dem Sieben ist der Zement bei einer Temperatur von 100° C. zu trocknen.

Verfahren. Nach sorgfältiger Untersuchung ist der Ausschluß zu dem Schluß gekommen, daß das mechanische Sieben weder so zweckmäßig noch so wirksam ist wie die Handarbeit und empfiehlt derselbe folgendes Verfahren:

Der vollständig trockene und roh durchgeseibte Zement wird gewogen und auf das mit Pfanne und Deckel versehene Sieb No. 200 gelegt, das mit der einen Hand in leicht geneigter Stellung hin und her bewegt wird, während gleichzeitig mit der anderen Handfläche dem Sieb etwa 200 leichte Schläge pro Minute erteilt werden. Diese Operation wird fortgesetzt, bis der Durchgang pro Minute nicht mehr als 0·1 % beträgt. Der Rückstand wird gewogen, auf Sieb No. 100 gelegt und die Operation nun wiederholt. Die Arbeit kann beschleunigt werden, falls dem Zement etwas Bleischrot zugesetzt wird. Die Rückstände sollen auf 0·1 % genau notiert werden.

### Normal-Konsistenz.

Erläuterung. Der Verbrauch eines bestimmten Prozentsatzes Wasser zur Herstellung des Zementbreies (paste)<sup>1)</sup>, aus dem die Probekörper u. s. w. gemacht werden, ist von größter Bedeutung und beeinflußt das Versuchsergebnis im stärksten Maße. Die Bestimmung der Breikonsistenz besteht in der Ermittlung derjenigen Wassermenge, die erforderlich ist, um dem Zementbrei eine gewisse Plastizität, die sogenannte normale Konsistenz, zu erteilen. Verschiedene Verfahren zur Ermittlung dieser Konsistenz wurden vorgeschlagen, keine davon konnte jedoch als völlig zufriedenstellend betrachtet werden. Folgendes Verfahren wurde von dem Ausschuß empfohlen.

Verfahren. Nadelapparat von Vicat. Dieser Apparat besteht aus einem Rahmen, welcher zur Aufnahme einer beweglichen Stange dient. Die bewegliche Stange ist am oberen Ende mit einer Abdeckung, am unteren mit einem Zylinder von 1 mm Durchmesser versehen. Das Gewicht der Stange nebst Abdeckung und Zylinder beträgt 300 g. Ferner ist die bewegliche Stange, welche in jeder gewünschten Höhe mittels einer Schraube gehalten werden kann, mit einem Zeiger versehen, welcher sich längs einer in Centimeter eingeteilten und mit dem Rahmen fest verbundenen Skala bewegt. Der Brei wird von einem, auf einer quadratischen Glasplatte von 10×10 cm ruhenden Hartgummiring gehalten. Zur Ermittlung der Konsistenz werden 500 g Zement zu einem Brei geknetet, wobei die weiter unten beschriebene Methode angewendet wird. Der Brei wird dann mit den Händen zu einer Kugel geformt, um zum Schluß sechsmal von einer Hand zur anderen geworfen zu werden, wobei die Hände in einer Entfernung von 30 cm von einander gehalten werden. Die Kugel wird alsdann durch die größere Oeffnung des Gummirings in denselben gedrückt, abgeglättet und auf eine Glasplatte gelegt; die kleinere Fläche wird mit einer Kelle abgeglättet. Der in dem Gummiring eingeschlossene Brei wird nun unter die den Zylinder haltende bewegliche Stange gebracht, worauf diese mit der Breioberfläche schnell in Berührung gebracht wird, um sofort wieder losgelassen zu werden. Die Konsistenz des Breies ist normal, wenn der Zylinder bis 10 mm unterhalb der Ringoberkante in den Brei eindringt. Der Ring muß mit größter Sorgfalt genau bis zur Oberkante gefüllt werden.

Der Versuchsbrei muß mit verschiedenen Wasserzusätzen gemischt werden, bis die richtige Konsistenz gefunden ist. Der Ausschuß ist der Meinung, daß die Normalkonsistenz einen ziemlich nassen Brei erfordert, weil hierdurch eine größere Gleichmäßigkeit der Mischung erzielt wird und ferner die Möglichkeit einer Zusammenpressung während des Formens der Probekörper vermindert wird. Nachdem auf diese Weise die zur Herstellung eines Breies von normaler Konsistenz erforderliche Wassermenge ermittelt worden ist, wird

<sup>1)</sup> Der Ausdruck „Zementbrei“ (paste) wird in dem Berichte benutzt, um eine Mischung aus Zement und Wasser, der Ausdruck „Mörtel“ (mortar), um eine Mischung aus Zement, Sand und Wasser zu bezeichnen.

der für die Mörtelbereitung erforderliche Prozentsatz an Sand mittels einer empirischen Formel festgesetzt. Die Lösung dieser Frage erweist sich als äußerst schwierig und trotz eingehender Studien kann der Ausschuß keinen bestimmten Vorschlag machen.

#### Bindezeit.

Erläuterung. Zweck dieser Prüfung ist, die Zeit festzustellen, welche von dem Augenblick an verfließt, in dem der Zement mit Wasser angemacht wird, bis zu dem Zeitpunkt, in dem der Brei aufhört, flüssig und plastisch zu sein (genannt: Erhärtungsanfang — „initial set“), sowie die Zeit, die der Brei braucht, um eine gewisse Härte zu erreichen (genannt: Abbindezeit — „final or hard set“). Der Erhärtungsbeginn ist der wichtigere Zeitpunkt, weil mit dem Anfang des Abbindens der Krystallisations- oder Erhärtungsprozeß beginnt. Da eine Störung dieses Vorganges einen Verlust an Festigkeit bedeuten könnte, ist es wünschenswert, daß das Mischen und Einschlagen der Masse in die Form vollendet wird, bevor das Abbinden beginnt. Der Anfang und das Ende der Bindezeit wird gewöhnlich dadurch ermittelt, daß die Tiefe des Eindringens von beschwerten Drähten von bestimmten Durchmesser fest- gestellt wird.

Verfahren. Die Probekörper sollen während des Versuches in feuchter Luft aufbewahrt werden. Dies wird dadurch erreicht, daß die Probekörper auf Konsolen gelagert werden, die über wasserhaltenden Pfannen angebracht sind und außerdem mit nassen Tüchern zugedeckt werden. Die Tücher müssen von einer direkten Berührung mit den Probekörpern durch Einschaltung von Drahtgeflechten abgehalten werden. Die Probekörper können auch in einer sogenannten Feuchtkammer aufbewahrt werden. Die Nadeln sind stets rein zu halten, weil durch das Ansammeln von Zementbrei auf der Oberfläche der Nadel das Eindringen derselben in den Brei verlangsamt wird; eine unreine Nadelspitze dagegen vermindert die Fläche und erschwert dadurch das Eindringen. Die Bestimmung der Bindezeit ist nur eine annähernde und wird durch die Wärme des zum Anmachen benutzten Wassers, die Wärme der Außenluft, die Feuchtigkeit der Luft während des Versuches, die Höhe des Wasserzusatzes und die Mischdauer stark beeinflusst.

#### Normalsand.

Die schweren Bedenken, welche gegen die Verwendung des zur Zeit allgemein im Gebrauche befindlichen Normalquarzsandes gemeinhin vorliegen, werden von der Kommission voll gewürdigt. Als Hauptnachteile dieses Sandes werden folgende Punkte aufgeführt: Der hohe Gehalt an Hohlräumen, die ungleichmäßige Beschaffenheit und die schwierige Verdichtung in den Formen.

Der Ausschuß verwendete viel Zeit zur Untersuchung verschiedener für diesen Zweck vorteilhaft und geeignet erscheinender, natürlicher Sandsorten. Vorläufig wird der Gebrauch eines natürlichen Sandes aus Ottawa im Staate Illinois empfohlen. Die Korngröße dieses Sandes ist derartig, daß er durch

das Sieb mit 8 Maschen auf 1 cm (also 64 auf 1 qcm) völlig hindurchgeht und auf dem Siebe mit 12 Maschen auf 1 cm (also 144 Maschen auf 1 qcm) liegen bleibt. Die Drahtstärke der Siebe soll 0·41 bez. 0·28 mm betragen, d. h. in beiden Fällen die halbe Stärke der Maschenweite. Die Sandusky Portland Cement Co. in Sandusky (Ohio) hat die Herstellung dieses Sandes übernommen und liefert denselben zum Selbstkostenpreis.

#### Formen.

Der Ausschuß erkennt zwar die früher vorgeschlagene Form der Zugprobekörper als nicht ganz zufriedenstellend an, kann jedoch als Aenderung nur empfehlen, die Ecken mit einem Radius von 13 mm abzurunden (Fig. 224).

Die Formen sollen aus Messing, Bronze oder aus irgend einem anderen nicht angreifbaren Material hergestellt werden und genügend stark sein, um etwaige

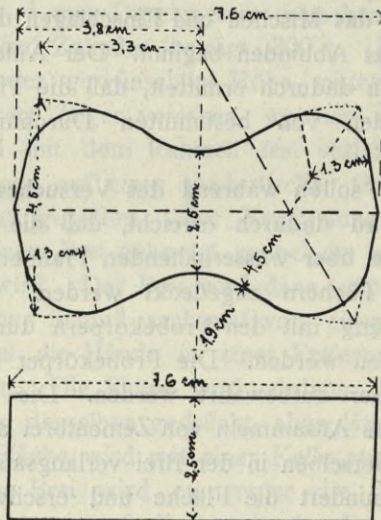


Fig. 224.

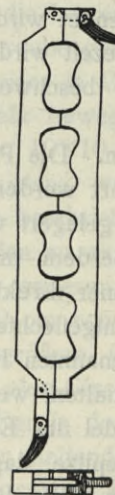


Fig. 225.

Formveränderung während des Einschlagens zu verhindern. Diejenigen Formen, welche die Herstellung von mehreren Probekörpern zu gleicher Zeit ermöglichen, werden den Einzelformen vielfach vorgezogen, weil das Mischen einer größeren Mörtelmenge eine größere Gleichmäßigkeit der Resultate herbeiführt.

Zur Verwendung wird die in Fig. 225 dargestellte Form empfohlen.

Vor dem Einschlagen sind alle Formen innen zu ölen.

#### Das Mischen.

Alle Bestandteile sind abzuwägen; die zuzusetzende Wassermenge ist in Prozenten bezogen auf die Trockenmischung anzugeben. Infolge des bequemen Verhältnisses g : ccm, wird der Gebrauch des metrischen Systems empfohlen. Wasser- und Zimmerluftwärme sollen annähernd 21° C. betragen.

Zement und Sand sind vollkommen trocken zu mischen. Das Mischen ist auf einer nicht absaugenden glatten Unterlage vorzunehmen. Empfohlen werden Glasplatten. Soll das Mischen auf einer absaugenden Unterlage erfolgen, so ist diese vorher gründlich anzufeuchten. Die Menge des auf einmal zu mischenden Materials ist durch die Anzahl der erforderlichen Probekörper bedingt; als geeignete Menge wird 1 kg empfohlen, namentlich beim Mischen von Hand.

Nach Prüfung der verschiedenen Mischmaschinen, konnte der Ausschuß keine derselben zum Gebrauch empfehlen. Hierfür waren folgende Gründe maßgebend: Erstens ballt sich der meiste Zement beim Mischen in der Maschine und kann infolgedessen nicht zu einer gleichmäßigen Masse bearbeitet werden; zweitens gibt es kein Mittel, festzustellen, ob der Mörtel genügend gemischt ist, ohne die Maschine in Stillstand zu versetzen, und drittens die Schwierigkeit, die Maschine rein zu halten.

Verfahren. Das Material wird gewogen, auf die Mischplatte geschüttet und in der Mitte des Haufens eine kraterförmige Vertiefung gebildet, in welche die erforderliche Wassermenge hineingegossen wird. Das Material wird nun von den Rändern der Vertiefung mit dem Spatel nach innen geschoben. Sobald das Wasser aufgesogen ist, was nicht mehr wie 1 Minute beanspruchen darf, wird das Mischen durch eine 1½ Minute dauernde Handknetung, ähnlich derjenigen bei Brotteig, beendet. Die zum Kneten erforderliche Zeit wird durch eine Sanduhr angegeben.

Während des Knetens sind die Hände durch Handschuhe zu schützen, am besten durch Gummihandschuhe.

#### Anfertigung der Probekörper.

Nachdem der Zementbrei bzw. Mörtel zur vorschriftsmäßigen Konsistenz bearbeitet worden ist, wird er von Hand in die Formen gefüllt. Mit der maschinellen Anfertigung der Proben auf den zur Zeit bekannten Maschinen hat der Ausschuß schlechte Erfahrungen gemacht; die Herstellung geht zu langsam vor sich und die vorhandenen Apparate gestatten nur die gleichzeitige Anfertigung einer einzelnen Probe. Ferner seien die Apparate für die empfohlenen Mischungen gänzlich ungeeignet.

Verfahren. Die Formen sind mit der Masse sofort vollzufüllen; das Material wird mit den Fingern fest eingedrückt und mit einem Spatel glatt gestrichen, ohne Schläge auszuüben; das Material ist auf der oberen Seite der Form anzuhäufen und bei der Glättung der Spatel in der Weise abziehen, daß ein mäßiger Druck auf das überstehende Material ausgeübt wird. Die Form ist dann umzudrehen und die Operation zu wiederholen. Eine Kontrolle für das gleichmäßige Mischen und Formen kann dadurch herbeigeführt werden, daß sämtliche Probekörper unmittelbar bevor sie in Wasser gelegt werden, oder nach ihrer Entfernung aus der Feuchtkammer gewogen werden. Probekörper, welche gegen den Durchschnitt einen Gewichtsunterschied von mehr als 3 % zeigen, sind nicht zu prüfen.

### Aufbewahrung der Probekörper.

Um zu schnelles Austrocknen der Probekörper zu verhüten, sollen dieselben während der ersten 24 Stunden nach dem Formen in feuchter Luft aufbewahrt werden. Ein feuchter Raum läßt sich so leicht herrichten, daß von dem Gebrauch nasser Tücher abgesehen werden kann. Das Bedecken der Probekörper mit nassen Tüchern ist zu verwerfen, weil die Tücher ungleichmäßig trocknen können und infolgedessen nicht alle Proben denselben Bedingungen unterworfen bleiben. Nur wo ein feuchter Raum nicht zur Verfügung steht, dürfen Tücher benutzt werden; dieselben sind aber gleichmäßig feucht zu halten, indem die Zipfel in Wasser getaucht zu halten sind. Die Tücher sollen mittels eines Drahtgeflechtes oder einer ähnlichen Vorrichtung von einer direkten Berührung mit den Proben abgehalten werden.

Eine Feuchtkammer besteht aus einem Kasten aus Speckstein oder Schiefer, oder einem Holzkasten mit Metallfutter, welches mit feucht gehaltenem Filz zu bekleiden ist. Der Kastenboden ist zur Aufnahme von Wasser bestimmt; die Seiten des Kastens sind mit Konsolen versehen, die zur Aufnahme der Glasunterlagen für die Zugprobekörper dienen. Die Luft in dem Kasten soll möglichst gleichmäßig feucht gehalten werden.

Nachdem die Proben 24 Stunden in feuchter Luft aufbewahrt worden sind, werden diejenigen Probestücke, die erst nach längerer Zeit geprüft werden sollen, unter Wasser gebracht; die Wasserwärme soll möglichst gleichmäßig auf  $21^{\circ}$  C. gehalten werden. Das Material der Behälter, in denen die Körper aufbewahrt werden, darf nicht aus angreifbarem Metall bestehen.

### Zugfestigkeit.

Die Versuche können mit jedem Normalapparat vorgenommen werden. Die vom Ausschuß empfohlene Form der Klauen zum Einspannen der Probekörper ist die in Fig. 226 dargestellte feste Metallklaue. Diese Klauen sind ohne jedwede Polsterung an ihren Berührungsstellen mit den Probekörpern zu benutzen. Die anliegende Stelle soll 6 mm breit sein und die Entfernung der Mittelpunkte der Berührungsstellen an derselben Klaue 32 mm betragen. Die Probekörper sind sofort nach der Entnahme aus dem Wasser zu prüfen. Um ungleichmäßige Spannungsverteilung zu vermeiden, welche die Festigkeit vermindert, sind die Proben in den Prüfungsapparat möglichst zentrisch einzusetzen. Die Last darf nicht plötzlich zur Wirkung gelangen, weil sonst leicht Schwingungen, die einen vorzeitigen Bruch des Probekörpers herbeizuführen geneigt sind, eintreten können. Die Seiten der Klauen und der Probekörper sind von Sandkörnern oder Unreinlichkeiten, die ein gutes Anliegen beeinträchtigen können, frei zu halten. Die Lastzunahme soll 600 Pfund engl. (= 272 kg) pro Minute betragen. Als maßgebender Durchschnittswert ist das Mittel aus allen Einzel-

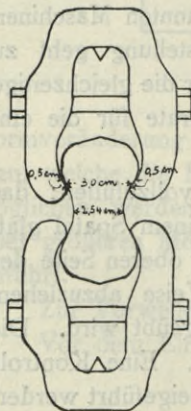


Fig. 226.

frei zu halten. Die Lastzunahme soll 600 Pfund engl. (= 272 kg) pro Minute betragen. Als maßgebender Durchschnittswert ist das Mittel aus allen Einzel-

werten anzunehmen, wobei jedoch Resultate, die zweifellos falsch sind, unberücksichtigt bleiben sollen.

#### Raumbeständigkeit.

Erläuterung. Durch die Raumbeständigkeitsprobe sollen diejenigen Eigenschaften des Zementes zur Erkenntnis gebracht werden, die geeignet sind, die Festigkeit und Dauer desselben zu beeinträchtigen. Da es von größter Wichtigkeit ist, diese Eigenschaften sofort bestimmen zu können, müssen diese Art Versuche möglichst rasch vorgenommen werden und sind daher bekannt als beschleunigte Raumbeständigkeitsproben.

Verfahren. Die Versuche zur Bestimmung der Raumbeständigkeit werden in 2 Klassen eingeteilt:

1. Normenproben, die entweder an der Luft oder unter Wasser bei einer Temperatur von etwa 21° C. vorgenommen werden, oder
2. beschleunigte Proben, die an der Luft, in Dampf oder unter Wasser bei Temperaturen von 45° C. an vorgenommen werden.

Die Probekörper müssen, bevor sie in Wasser oder Dampf gebracht werden, 24 Stunden in feuchter Luft lagern. Für diese Versuche sind Kuchen von 75 mm Durchmesser herzustellen, die in der Mitte etwa 12·5 mm hoch sind und nach den Rändern dünn auslaufen. Die Herstellung soll auf reinen quadratischen Glasplatten von 10 × 10 cm vorgenommen werden und zwar aus Zementbrei oder Mörtel in Normkonsistenz.

Normenprobe. Ein Kuchen wird während 28 Tagen möglichst bei einer Temperatur von 21° C. unter Wasser gehalten und von Zeit zu Zeit beobachtet; der Kuchen soll fest und hart bleiben und keine Risse oder Verkrümmungen aufweisen.

Beschleunigte Probe. a) der Kuchen wird auf eine in einem mit frischem Wasser gefüllten Gefäß angebrachte Platte gelegt, hierbei darf der Gefäßboden nicht berührt werden. Die Wärme des Wassers wird nun allmählich bis auf 45° C. erhöht und während 24 Stunden auf dieser Höhe gehalten, oder b) der Kuchen wird in irgend einer geeigneten Weise während 3 Stunden in einer Dampfatmosphäre gehalten. Dieses kann geschehen, indem der Kuchen in ein dicht geschlossenes Gefäß über kochendes Wasser gelegt wird.

Der Ausfall dieser Versuche darf als günstig angesehen werden, wenn der Kuchen weder Risse noch sonstige Zeichen der Zerstörung oder Verkrümmung zeigt und hart und fest bleibt. Sollte der Kuchen sich von der Glasplatte lösen, dann kann eine etwaige Verkrümmung am bequemsten mit einem geraden Lineal festgestellt werden.

Bei dem jetzigen Stand der Wissenschaft kann nicht behauptet werden, daß ein Zement, falls er diese beschleunigten Proben nicht besteht, unbrauchbar sei. Auf der anderen Seite wird nicht ohne weiteres durch das Bestehen dieser Versuche der Beweis für die Güte eines Zements erbracht.







# Register.

	Seite
<b>A.</b>	
Aalborgöfen . . . . .	303
Abbau . . . . .	27—32
Abbinden v. Portlandzement	376. 381
v. Romanzement . . . . .	144
Abbindeapparate, automatische	379
Ablöschen v. Kalk . . . . .	126
Abnutzbarkeit v. Portlandzement	417
Abraum, Beseitigung d. — . . . .	26
Abschrägvorrichtung f. Fässer . .	324
Absatzbassins . . . . .	191
Absorptionstabelle, Aufstellung d. —	63
Abteilverrichtungen . . . . .	250—254
Adhäsionsvermögen d. Portland-	
zementes . . . . .	414
Aetzkalk, Löschfähigkeit . . . . .	130
Löschwärme . . . . .	126
Raumgewicht . . . . .	126
Spezif. Gewicht . . . . .	126
Wasseraufnahme . . . . .	127
Alabaster . . . . .	17
Alkalien, Bestimmung d. — . . . .	78
Wirkung i. Portlandzement	177. 380
Amerikanische Normen . . . . .	456
Amsler-Laffon' Presse . . . . .	410
Analyse, exakte — . . . . .	68—75
Anfeuchteschnecke . . . . .	272
Anhydrit . . . . .	17
Aräometer . . . . .	81
Arragonit . . . . .	15
Aschenbestimmung i. Brennmate-	
rial . . . . .	84
Aufbereitung d. Portlandzementes,	
halbnahe — . . . . .	194
nahe — . . . . .	187
trockene — . . . . .	194

	Seite
Aufgabevorrichtungen . . . . .	221
Aufsatzformen f. Fässer . . . . .	326
Aufzüge . . . . .	319
Ausgiebigkeit des Kalkes . . . . .	127
d. Portlandzementes . . . . .	422
Ausfütterung d. Drehofens . . . . .	310
Automatische Wagen . . . . .	250. 254

## B.

Balanzierhaue . . . . .	227
Bandtransporteur . . . . .	262
Barge' Kohlensäureapparat . . . .	57
Barthel' Benzinbrenner . . . . .	55
Baur-Cramer' Calcimeter . . . . .	61
Bauschinger' Tastapparat . . . . .	384
Becherwerke . . . . .	263
Beförderung v. Rohmaterialien	32—44
Begriffsfassung d. Mörtel . . . . .	7
d. Portlandzementes . . . . .	179
Benzinbrenner, Barthel's . . . . .	55
Betrieb v. Drehöfen . . . . .	313
Etagenöfen . . . . .	298
Gipswerken . . . . .	96—102
Kalkwerken . . . . .	107. 124
Portlandzementwerken . . . . .	346
Ringöfen . . . . .	122. 293
Schneideröfen . . . . .	306
Bewertung von Rohmaterialien	44—47
Biegungsfestigkeit d. Portland-	
zementes . . . . .	414
Bindemittel, selbständige u. un-	
selbständige — . . . . .	8
Bindezeit d. Portlandzementes . .	381
Bitumen . . . . .	56
Boden-Rundschneidemaschine . . .	325
Böhme' Hammerapparat . . . . .	399

	Seite
Braunstein . . . . .	19
Brechschncke . . . . .	190. 208
Bremsberg . . . . .	35
Bremsen . . . . .	39
Brennen, Allgemeine Grundzüge f.	
Portlandzement — . . . . .	288—291
Brennerkopf a. Drehofen . . . . .	311
Brennkosten, Zusammenstellung v.	
— verschiedener Ofensysteme	315. 316
Brennmaterial, Untersuchung v. —	84
Brennöfen f. Gips . . . . .	98
Kalk . . . . .	107—122
Portlandzement . . . . .	291—317
Brenntemperatur f. Gips . . . . .	92. 101
Kalk . . . . .	106. 142
Romanzement . . . . .	144
Portlandzement . . . . .	288

**C.**

Calcimeter-Apparate . . . . .	59—68
Calcit . . . . .	15
Chamäleonlösung . . . . .	76
Chaux du Theil . . . . .	143. 177
Chemische Untersuchungsmethoden	51—87
Ciment mixte . . . . .	12
Portland . . . . .	10
pouzzolane . . . . .	11
romain . . . . .	9

**D.**

Dampfdarrprobe . . . . .	389
Dampfkessel . . . . .	333
Dampfmaschine . . . . .	333
Dampfstrahlgebläse . . . . .	320
Darren . . . . .	197
Darrprobe . . . . .	389
Daubenabkürzsäge . . . . .	324
Dehnung v. Stuckgips . . . . .	93
Portlandzement . . . . .	383
Desintegrator . . . . .	240
Deutsche Normen . . . . .	424
Deutscher Ofen . . . . .	108
Dichte der Zementprobekörper . . . . .	406
Dickschlämmerei . . . . .	187. 190
Dietsch' Etagenofen . . . . .	296—301

	Seite
Dolomit . . . . .	16
-Zement . . . . .	145
Doppelspat, isländischer — . . . . .	15
Doppelwalzwerk . . . . .	210
Dorstener Presse . . . . .	279
Drahtseilbahnen . . . . .	39—44
Drahtseil Simplex . . . . .	39
Drehofen . . . . .	102. 307—315
Ausfütterung . . . . .	310
Betrieb . . . . .	313
Brennerkopf . . . . .	311
Drehscheiben . . . . .	35
Druckfestigkeits-Prüfungsapparate	
v. Amsler-Laffon . . . . .	410
Weber & Co. . . . .	413
Dünnschlämmerei . . . . .	187. 190
Dynamit . . . . .	25

**E.**

Ebene, schräge — . . . . .	36
Eckardt' Winkelöfen . . . . .	121
Eindicken von Schlamm . . . . .	192. 193
Einspannvorrichtungen v. Zement-	
proben . . . . .	401. 402
Eisenoxyd, Trennung v. Oxydul . . . . .	75
Elevatoren . . . . .	263
Englische Gabel . . . . .	36. 37
Normen . . . . .	452
Entformen v. Festigkeitsproben . . . . .	406
Entstäubungsapparate . . . . .	265
Entwerfen v. Portlandzement-	
fabriken . . . . .	348—354
Erhärtung v. Kalk . . . . .	128
Portlandzement . . . . .	392
Schlackenzement . . . . .	170
zweite — v. Portlandzement . . . . .	375
Estrichgips . . . . .	91. 93. 94. 95. 101
Brenntemperatur . . . . .	101
Fabrikation . . . . .	101
Festigkeit . . . . .	95
Verlegen v. — . . . . .	95
Etagenofen, Dietsch' — . . . . .	296—301
— m. eingebauter Trockenanlage	301
Etagenwagen . . . . .	270. 286
Exakte Analyse . . . . .	68—75
Exhaustoren . . . . .	265
Exzenterpresse, Osnabrücker — . . . . .	273

	Seite		Seite
<b>F.</b>		Gemischte Zemente . . . . .	12
Fabrikation v. Fässern . . . . .	322—326	Geologische Formation . . . . .	20
v. Gips . . . . .	96—101	Gestehungskosten v. Luftkalk . . . . .	125
v. Portlandzement . . . . .	346—363	v. Portlandzement . . . . .	352
Fabriksprojektierungen . . . . .	353	v. Putzgips . . . . .	101
Fahnehelm-Ofen . . . . .	110	Gewinnung d. Rohmaterialien . . . . .	25—32
Fahrstühle . . . . .	319	Gießzement . . . . .	381
Fallramme, Klebe' — . . . . .	403	Gips . . . . .	7. 17. 91—102
Farbe d. Portlandzementes . . . . .	364	Abbinden . . . . .	93
Faßboden - Rundschneidemaschine . . . . .	325	Brenntemperatur . . . . .	92. 101
Faßdauben-Fügemaschine . . . . .	323	Dehnung . . . . .	93
Faßholz-Trocknung . . . . .	327	Fabrikation v. — . . . . .	95—102
Faß-Packapparat . . . . .	330	Festigkeiten . . . . .	95
Fässer . . . . .	322—327	Litergewicht . . . . .	94
Faßwinde . . . . .	326	Schwindung . . . . .	94
Feinmahlapparate . . . . .	225—240	Spezif. Gewicht . . . . .	17. 92. 94
Feinsand . . . . .	55	Treiben . . . . .	94
Festigkeit v. Gips . . . . .	95	Verlegen v. — . . . . .	95
Kalkmörtel . . . . .	129. 138	Wirkung i. Portlandzement . . . . .	380
Magnesiazement . . . . .	146	Gipskocher . . . . .	98
natürl. hydraul. Kalken . . . . .	143	-mahlgang . . . . .	97
Portlandzement . . . . .	417	Glasplattenkuchenprobe . . . . .	388
Romanzement . . . . .	145	Glasur b. Brennen v. Kalk . . . . .	106
Schlackenzement . . . . .	170	Gleisanlagen . . . . .	34
Traßzement . . . . .	165	Glocken b. Ringofen . . . . .	117
Fettkalk (Vergl. Luftkalk) . . . . .	105—188	Glockenmühle . . . . .	96
Brenntemperatur f. — . . . . .	106	Gloriamühle . . . . .	242
Feuerstein . . . . .	187	Glühprobe, Heintzel's — . . . . .	389
Filterpressen f. Schlamm . . . . .	192	Glühverlust, Bestimmung d. — . . . . .	55
Flintsteine . . . . .	232	v. hydraul. Kalk . . . . .	9. 143
Flußmittel . . . . .	19	Portlandzement . . . . .	10
Flußspat . . . . .	19	Romanzement . . . . .	10
Förderschnecken . . . . .	259	Schlacke . . . . .	24
Förderschwinde . . . . .	260	Schlackenzement . . . . .	12
Formgips, Fabrikation v. — . . . . .	101	Traß . . . . .	22. 165
Französische Normen . . . . .	450	Goodmann' Setter . . . . .	379
Freier Kalk i. Portlandzement . . . . .	4. 373	Graukalk . . . . .	7
Frostbeständigkeit . . . . .	422	Griesmühle . . . . .	232
Füchse b. Ringofen . . . . .	116. 117	Griffinmühle . . . . .	238
<b>G.</b>		Grobkalk . . . . .	20
Gabel, englische — . . . . .	36. 37	Grobsand . . . . .	55
Gangue hydraulique . . . . .	11	Grubenfeuchtigkeit, Bestimmung d. . . . .	— 52
Gasfeuerung . . . . .	113	v. Wiesenkalk . . . . .	16
Gasgeneratoren . . . . .	112	Grubenwände etc., Einrichtung d. — . . . . .	26—29
Gaskraftmaschinen . . . . .	333	Gurtbögen i. Ringofen . . . . .	114. 293
Gasofen f. Kalk . . . . .	111		

	Seite
<b>H.</b>	
Halbnaßaufbereitung . . . . .	194
Hammerapparat, Böhme' — . . . . .	399
Hammerpressen . . . . .	276—279
Hängebahnen . . . . .	39—44
Härten d. Zementrohziegel . . . . .	285
Haue . . . . .	227
Hauenschild-Ofen . . . . .	304
Heintzel's Kugelglühprobe . . . . .	389
Heißwasserproben, Maclay's — . . . . .	390
Heizlöcher (Heizschächte) a. Ring- ofen . . . . .	116
Heizwert-Bestimmung . . . . .	85
Hennef'er automat. Wage . . . . .	254
Heräus' Probierofen . . . . .	184
Hilfsmaschinen f. Portlandzement . . . . .	333—340
Hochdruckdampfprobe . . . . .	391
Hochofenschlacken . . . . .	11. 23. 24
Homogenisator f. Schlamm . . . . .	191
Horizontalkugelmühle . . . . .	234
Hydraul. Kalk 7. 8. 141. 142—144. . . . . .	163—171
Festigkeit . . . . .	143
Glühverlust . . . . .	9. 143
Hydraul. Modul, Bestimmung d. — . . . . .	80
i. Portlandzement . . . . .	176
Hydraul. Pressen . . . . .	274
Hydraul. Zuschläge . . . . .	11. 23
<b>I.</b>	
Isländ. Doppelspat . . . . .	15
<b>J.</b>	
Jahresproduktion v. Portlandzement . . . . .	3
Jochum' Teilapparat . . . . .	251
Jurakalke . . . . .	20
<b>K.</b>	
Kalk, Ausgiebigkeit . . . . .	127
freier — i. Portlandzement . . . . .	4. 373
hydraulischer — 7. 141. 142—144	
kohlenaurer — . . . . .	15
Löschfähigkeit . . . . .	130
Löschwärme . . . . .	126
Luftkalk . . . . .	105—138

	Seite
schwefelsaurer — . . . . .	17
Stehvermögen . . . . .	130
Weißkalk . . . . .	105
Kalkaluminat . . . . .	177
Kalkbestimmung . . . . .	73. 81. 83
i. Kalksandsteinen . . . . .	136
Mörtel . . . . .	83. 134. 135
Kalkbrei . . . . .	8
Kalkerhärtung . . . . .	128
Kalkferrat . . . . .	177
Kalkhydrat . . . . .	8. 126
Spezif. Gewicht . . . . .	127
Kalkkalorimeter, Stiepel' — . . . . .	130
Kalkkapazität d. granul. Hochofen- schlacken . . . . .	169
Kalkkonsistenzmesser . . . . .	133
Kalklöschchen . . . . .	126
Kalkmergel . . . . .	8. 9. 10. 16
Kalkmörtel, Festigkeit . . . . .	129. 138
Kalksilikat . . . . .	177
Kalkspat . . . . .	15
Kalkstein . . . . .	15. 16
Kalksteinbrüche, Betrieb v. — . . . . .	25—32
Kalkwerksbetrieb . . . . .	107. 124
Kanalöfen . . . . .	281
f. Gips . . . . .	102
Kaolin . . . . .	18. 20
Kesselanlage . . . . .	334
Kesselofen f. Gips . . . . .	102
Kesselspeisewasser, Reinigung d. . . . .	335
Kiesabbrand . . . . .	19
Kieselkalke . . . . .	8
Kieselsäure, Trennung d. lösl. und unlösl. — . . . . .	71
Kippwagen . . . . .	33. 34
Klauenkuppelung . . . . .	337
Klebe' Fallramme . . . . .	403
Klemmkuppelungen . . . . .	37
Klinker . . . . .	196
Kniehebelpresse . . . . .	272
Kochprobe . . . . .	389
Kohlenmahlung . . . . .	232
Kohlensäure-Bestimmung . . . . .	57—68
Kohlensaurer Kalk . . . . .	15
Magnesia . . . . .	16
Koksdarren . . . . .	197
Kollergänge . . . . .	212—216

	Seite
Kondenstürme . . . . .	334
Konsistenzmesser . . . . .	133. 377
Kontinuierl. Schachtofen . . . . .	109. 110
f. Gasfeuerung . . . . .	111
Kraftanlage . . . . .	333
Kraftgasmaschinen . . . . .	333
Kreide . . . . .	16
Kreuzkopf . . . . .	227
Krösevorrichtung . . . . .	324
Kuchenprobe . . . . .	388
Kugelglühprobe . . . . .	389
Kugelmühlen . . . . .	217—223. 234—238
Aufgabevorrichtung f. — . . . .	221
f. Laboratorien . . . . .	223
Kuppelungen . . . . .	37. 337

**L.**

Laboratoriums-Kugelmühlen . . . . .	223
Ofen . . . . .	183. 184
Labyrinth . . . . .	190
Langsambinder . . . . .	381
Laufkatze . . . . .	228
Lieban' Ofen . . . . .	303
Litergewicht v. Gips . . . . .	94
Portlandzement . . . . .	371
Lochungsfestigkeit . . . . .	415
Löschfähigkeit d. Kalkes . . . . .	130
Löschwärme — . . . . .	126
Lösliches und Unlösliches . . . . .	69
Luftkalk . . . . .	7. 8. 105—138
Ausgiebigkeit . . . . .	127
Brenntemperatur f. — . . . .	106
Festigkeit . . . . .	129. 138
Lunge' Calcimeter-Apparat . . . . .	65
Trennung von Kalk und kohlen- saurem Kalk . . . . .	83

**M.**

Maclay' Treibproben . . . . .	390
Mager' Mischapparat . . . . .	254
Magnesia, Bestimmung d. — . . . .	74. 80
kohlen-saure — . . . . .	16
Magnesiament . . . . .	7
Magnetapparate . . . . .	243
Mahlgänge . . . . .	226—232
Mahlstuhl . . . . .	223
Mahlung d. Portlandzementes . . . . .	373—376

	Seite
Manganbestimmung . . . . .	70. 72
Marmor . . . . .	15
Mauersalpeter . . . . .	107
Maulbrecher . . . . .	207
Mehlfeinheit . . . . .	375
Mergel . . . . .	16
Meßapparat f. Rohmaterial . . . . .	253
Mischapparate . . . . .	254—259
Mischsilo . . . . .	258
Mittelbinder . . . . .	381
Modellgips, Fabrikation d. — . . . .	101
Modul, hydraul. Bestimmung d. — . . . .	80
— i. Portlandzement . . . . .	176
Mohr'scher Apparat . . . . .	59
Mörtel, Ausgiebigkeit . . . . .	422
Begriffserklärung . . . . .	7
Bezeichnung . . . . .	7
Einteilung . . . . .	7
Mörtelmischer, Steinbrück' — . . . . .	396
Moustierbrecher . . . . .	243
Mühlsteine . . . . .	229
Muffelofen f. Gipsbrennen . . . . .	101

**N.**

Nachfüllen b. Ringofen . . . . .	124
Nadelapparat, Vicat' — . . . . .	378
Naßaufbereitung . . . . .	187—194
Naßkollergang . . . . .	213
Naßmahlgang . . . . .	229. 232
Naßpresse . . . . .	269
Naßrohmühle . . . . .	233
Naßziegeln . . . . .	268
Netzrog . . . . .	272
Normalbinder . . . . .	381
Normalkonsistenz . . . . .	377
Normalsand . . . . .	394
Normalzerreißapparat . . . . .	408
Normalzerreißform. . . . .	397. 398
Normen f. Portlandzement	
i. Amerika . . . . .	456
Deutschland . . . . .	424
England . . . . .	452
Frankreich . . . . .	450
Oesterreich . . . . .	431
Rußland . . . . .	442
d. Schweiz . . . . .	452
f. Romazement . . . . .	146. 156

	Seite
i. Oesterreich . . . . .	146
Rußland . . . . .	156

**O.**

Oberläufermahlgang . . . . .	226
Oberer Rauchabzug b. Ringofen	118
Oberseilbetrieb . . . . .	41
Oefen f. Gips . . . . .	98
f. Kalk . . . . .	107—124
m. kurzer Flamme . . . . .	107
mit langer Flamme . . . . .	107
f. Portlandzement . . . . .	291—317
m. überschlagender Flamme	108
Oelkammerlager . . . . .	338
Oesterreichische Normen . . . . .	146. 431
Orsat' Apparat . . . . .	85

**P.**

Packmaschinen . . . . .	329—331
Piezometer . . . . .	53
Planrüttelsiebe . . . . .	246
Plungerpumpe . . . . .	191
Portlandzement, Abbinden	376—382
Abnutzbarkeit . . . . .	417. 418
Adhäsionsvermögen . . . . .	414
Begriffsfassung . . . . .	179
Berechnung d. Rohmischung	181. 182
Bezeichnung . . . . .	7. 10
Biegungsfestigkeit . . . . .	414
Erhärtung und Festigkeit	392—417
Farbe . . . . .	364
Freier Kalk i. — . . . . .	4. 373
Frostbeständigkeit . . . . .	422
geschmolzener — . . . . .	176
Glühverlust . . . . .	10
Halbnaßaufbereitung . . . . .	194
Hydromodul i. — . . . . .	175. 176
Jahresproduktion . . . . .	3
Litergewicht . . . . .	371
Lochungsfestigkeit . . . . .	415. 416
Mahlung . . . . .	373—376
Maßgewicht . . . . .	365—373
Mörtelausgiebigkeit . . . . .	422
Naßaufbereitung . . . . .	187—194
Normalkonsistenz . . . . .	377
Probierofen z. Brennen v. —	183. 184

	Seite
Sinterung . . . . .	177
Spezif. Gewicht . . . . .	10. 365
Struktur . . . . .	364
Temperaturerhöhung b. Abbin-	
den . . . . .	378
Treiben . . . . .	386
Trockenaufbereitung . . . . .	194—196
Ursprung . . . . .	175
Volumbeständigkeit . . . . .	382—392
Wasserdurchlässigkeit . . . . .	418—421
Zusammensetzung . . . . .	175. 178
Pressen f. Druckfestigkeitsbestim-	
mungen:	
Amsler-Laffon' . . . . .	410
Weber & Co. . . . .	413
f. Rohziegel . . . . .	268—280
Preßkuchenprobe, Prüssing' —	390
Probieröfen f. Portlandzement	183. 184
Projektierung v. Zementfabriken	
	348—354
Prüssing' Preßkuchenprobe . . . . .	390
Putzgips, Brenntemperatur f. —	92
Fabrikation d. — . . . . .	95—101
Gestehungskosten . . . . .	101
Puzzolanen . . . . .	11. 21—24
Puzzolanerde . . . . .	11. 21. 22
Spezif. Gewicht . . . . .	22
Puzzolanzement . . . . .	7. 11
Festigkeiten . . . . .	164
Pyknometer . . . . .	366
Pyrometer . . . . .	184. 288

**R.**

Raschbinder . . . . .	381
Rationelle Analyse . . . . .	69
Rauchgasapparate . . . . .	85—87
Rauchglocke . . . . .	117
Rauchsammler . . . . .	116
Raumgewicht d. Kalkes . . . . .	126
Traß . . . . .	168
Reibungskuppelungen . . . . .	338
Restbestimmung i. Rohmehl . . . . .	80
Riemen . . . . .	339
Ringofen . . . . .	114—124. 293—295
Betrieb d. — . . . . .	122. 293
m. Gasfeuerung . . . . .	120
m. Rostfeuerung . . . . .	119

	Seite
Ringofenschieber . . . . .	117
Ringofensohlkanäle . . . . .	119
Ringschmierlager . . . . .	338
Rippenofen, Stein' — . . . . .	305
Roburit . . . . .	25
Rohmasse . . . . .	195. 269
Rohmaterialien, Bewertung d. —	44—47
Gewinnung d. — . . . . .	25—32
Rohmehl . . . . .	195
Rohmischung, Berechnung d. —	181. 182
Rohrmühle . . . . .	232
Rohziegel . . . . .	281
Härten d. — . . . . .	285
Trocknen d. — . . . . .	281—285
Rollbahnen . . . . .	34—39
Romanzement . . . . .	144
Abbinden . . . . .	144
Bezeichnung . . . . .	7. 9
Chemische Zusammensetzung .	144
Glühverlust . . . . .	10
Normen f. — . . . . .	146. 156
Spezif. Gewicht . . . . .	10. 144
Rostanlagen . . . . .	113
Rostfeuerung b. Ringofen . . . .	119
Rotierer (Drehofen) . . . . .	307—315
Roulette . . . . .	237
Rückflußkühler f. Kondenswasser	334
Rüdersdorfer Ofen . . . . .	109
Russische Normen . . . . .	156. 442
Rüttelschuh . . . . .	227

**S.**

Säcke . . . . .	327. 328
Sackhalter . . . . .	331
Sackkalk . . . . .	126. 129
Sackpackapparate . . . . .	329—331
Sackreinigungsmaschine . . . . .	329
Sackwage . . . . .	332
Sammelbassins f. Schlamm . . . .	190
Sand . . . . .	19. 55
Bestimmung d. — i. Ton . . . .	52
Zusatz f. Kalkmörtel . . . . .	129
Santorinerde . . . . .	11. 21
Santorinzement . . . . .	164
Schachtofen, kontinuierl. —	109. 110
m. Gasfeuerung . . . . .	111
Schamotte-Mörtel . . . . .	19

	Seite
Ton . . . . .	18
Schärfe d. Mühlsteine . . . . .	228. 231
Scheibenkuppelungen . . . . .	337
Scheibler-Dietrich' Calcimeter . .	59
Schiebebühnen . . . . .	286
Schieber b. Ringofen . . . . .	117
Schiefertone . . . . .	18
Schlacke, granuliert —	23. 24.
	168. 169
Kalkkapazität . . . . .	169
Schlackenzement . . . . .	11. 168—171
Festigkeiten . . . . .	170
Glüverlust . . . . .	12
Spezif. Gewicht . . . . .	12
Volumbeständigkeit . . . . .	171
Schlagkreuzmühle . . . . .	241
Schlagpressen . . . . .	276—279
Schlamm, Eindicken v. —	192. 193
Litergewicht . . . . .	191
Schlämmapparate . . . . .	53
Schlämmen . . . . .	187—194
Schlammfilterpressen . . . . .	192
Schlämmkollergang . . . . .	212
Schlämmmaschinen . . . . .	188
Schlammpumpe . . . . .	191
Schlauchfilter, Beth' — . . . . .	266
Schleppweichen . . . . .	35
Schleuderapparate . . . . .	240—243
Schluff . . . . .	55
Schmelzraum . . . . .	298
Schnabelkipper . . . . .	34
Schnecken . . . . .	259
Schneiderofen . . . . .	305. 306
Schnellbinder . . . . .	381
Schöne' Schlämmapparat . . . . .	53
Schräge Ebene . . . . .	36
Schraubenmühle . . . . .	208
Schrotmaschinen . . . . .	217—225
Schumann' Volumenometer . . . . .	367
Schürlöcher b. Ringofen . . . . .	116
Schurrsiebe . . . . .	246
Schwefel, Bestimmung d. —	77. 84
Schwefelkies . . . . .	19
Schwefelsäure, Bestimmung d. —	75
Schweizer Normen . . . . .	452
Presse . . . . .	276
Schwindrisse . . . . .	382



	Seite
Segerkegel . . . . .	19
Seilbahnen . . . . .	39—42
Separator . . . . .	247
Septarienton . . . . .	19
Setzofen f. Kalk . . . . .	108
Sichtmaschinen . . . . .	244—250
Siebdose . . . . .	375, 376
Simplexseil . . . . .	39
Sinterung d. Portlandzementes . . . . .	177
Sohlkanäle b. Ringofen . . . . .	119
Spezif. Gewicht v. Aetzkalk . . . . .	126
Anhydrit . . . . .	17
Arragonit . . . . .	15
Bestimmung d. — . . . . .	365—371
Calcit . . . . .	15
Dolomit . . . . .	16
Gips . . . . .	17, 94
hydraul. Kalk . . . . .	9, 143
Kalkhydrat . . . . .	127
Portlandzement . . . . .	10, 365
Puzzolanerde . . . . .	22
Romanzement . . . . .	10, 144
Santorinerde . . . . .	21
Schlackenzement . . . . .	12
Ton . . . . .	18
Traß . . . . .	22
Sprengmittel, Handhabung d. — . . . . .	29—32
Stachelwalzwerk . . . . .	211
Staubgewinnungs-Anlagen . . . . .	265—267
Staubkammern . . . . .	265
Staubkollektoren . . . . .	265
Staubsand . . . . .	55
Stehvermögen d. Kalkes . . . . .	130
Steinbach' Trommelteiler . . . . .	252
Steinbrecher . . . . .	206
Steinbruchs-Berufsgenossenschaft, Vorschriften d. — . . . . .	25—32
Steinbrück' Mörtelmischer . . . . .	396
Steinelevator . . . . .	319
Stein' Rippenofen . . . . .	305
Steinschärfe . . . . .	228, 231
Strangpresse . . . . .	269
Strossen . . . . .	27
Struktur d. Portlandzementes . . . . .	364
Stuckgips . . . . .	91, 93, 94
Fabrikation d. — . . . . .	101
Stückkalk . . . . .	126

	Seite
Suchier' Presse . . . . .	413
Sumpfen . . . . .	268

**T.**

Tasterapparate . . . . .	383—385
Teilapparate . . . . .	250—254
Tellerverschluß . . . . .	357
Temperatur b. Brennen v. Gips . . . . .	92, 101
Kalk . . . . .	106, 142
Romanzement . . . . .	144
Portlandzement . . . . .	288
Thermit . . . . .	338
Thörner' Trockenschrank . . . . .	70
Titration v. Kalk . . . . .	81, 83
Eisenoxyd . . . . .	74, 76
Ton . . . . .	16, 17—20
fetter . . . . .	18
feuerfester . . . . .	18
magerer . . . . .	18
Schamotte — . . . . .	18
schwer schmelzbarer . . . . .	18
Spezif. Gewicht d. — . . . . .	18
Tonerde - Eisenoxyd, Bestimmung d. — . . . . .	72
Trennung . . . . .	74
Tongruben, Betrieb v. — . . . . .	25—32
Tonmergel . . . . .	16
Tonschiefer . . . . .	18
Tonschneider . . . . .	269
Tonwalzwerk . . . . .	210
Transmissionen . . . . .	337—340
Transportbänder . . . . .	262
-einrichtungen . . . . .	259—265
-kosten . . . . .	33
-schnecken . . . . .	259
-tücher . . . . .	262
Traß . . . . .	11, 21, 22, 165
Chem. Zusammensetzung . . . . .	22
Normen f. — . . . . .	165
Spezif. Gewicht . . . . .	22
Traßmörtel-Festigkeit . . . . .	165
Traßzement . . . . .	11, 164, 165
Treiben v. Gips . . . . .	95
hydraul. Kalk . . . . .	144
Portlandzement . . . . .	386
Romanzement . . . . .	145
Schlackenzement . . . . .	171

	Seite
Trichteröfen . . . . .	107
Trockenaufbereitung . . . . .	194—196
-kanäle . . . . .	281—285
-öfen . . . . .	197
-pressen . . . . .	271—279
-schrank, Thörner' — . . . . .	70
-schüsseln . . . . .	199
-trommeln . . . . .	199
-tunnel . . . . .	285
Trocknen d. Rohziegel . . . . .	281—285
Trommelmühle f. Rotierer-Klinker . . . . .	317
Trommelteiler, Steinbach' — . . . . .	252
Typische Beispiele f. Portland- zementfabriken . . . . .	354—362

**U.**

Unfallverhütung, Vorschriften f. —	340—345
Unterläufermahlgang . . . . .	229
Unterseilbetrieb . . . . .	41
Untersuchungsmethoden, Chem. —	51
Unterwindgebläse . . . . .	320

**V.**

Ventilatoren . . . . .	320
Vergleich d. Brennkosten ver- schiedener Ofensysteme . . . . .	315—316
Verkokungsfähigkeit v. Kohle . . . . .	84
Verlegen v. Estrichgips . . . . .	95
Verpackung . . . . .	321
Vertikalmahlgang . . . . .	97
Vicat' Nadel . . . . .	378
Volumbeständigkeit v. Gips . . . . .	94
hydraul. Kalk . . . . .	143
Portlandzement . . . . .	382—392
Romanzement . . . . .	145
Schlackenzement . . . . .	171
Volumenometer . . . . .	365—371. 458
Vorbrechmaschinen . . . . .	206—216
Vorschriften d. Steinbruchsberufs- genossenschaft. . . . .	25—32

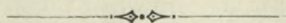
	Seite
f. Unfallverhütung . . . . .	340—345
Vorwärmer . . . . .	298

**W.**

Wagen . . . . .	250. 254. 332
Walzenstuhl . . . . .	223
Walzwerke . . . . .	209—212
Wasser-Aufnahme d. Aetzkalkes . . . . .	127
-Bestimmung . . . . .	56
-Durchlässigkeit . . . . .	418—421
-Kalk . . . . .	16
-löslichkeit v. Gips . . . . .	17
-strahlgebläse . . . . .	320
Weichen . . . . .	35. 43
Weißkalk . . . . .	15. 105
Brenntemperatur d. — . . . . .	106
Widerstandsfähigkeit d. Portland- zementes gegen Schlag . . . . .	418
Wiesenkalk . . . . .	16
Windseparator . . . . .	247
Winkelöfen, Eckardt' — . . . . .	121
Winkler' Absorptionsschlange . . . . .	78
Schlagpresse . . . . .	276

**Z.**

Zement-Bazillus . . . . .	388
-brennen, Grundzüge d. — . . . . .	288—291
-fässer . . . . .	322—327
-probekörper, Dichte d. — . . . . .	406
Porosität . . . . .	407
-rohstein . . . . .	196
Zentrifugalsichtmaschinen . . . . .	246
Zerreißapparat . . . . .	408. 409
Ziegelkarren . . . . .	286
-pressen . . . . .	268—280
-trocknen . . . . .	281
Ziegeln d. Zementrohmasse . . . . .	268
Zugfestigkeitsform, Deutsche —	397. 398
Zungenweichen . . . . .	35
Zuschläge, hydraul. — . . . . .	11
Zylindersäge . . . . .	323
-siebe . . . . .	245



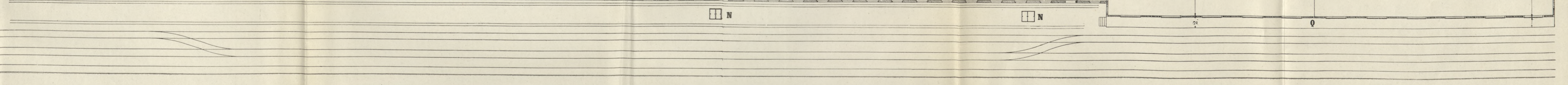
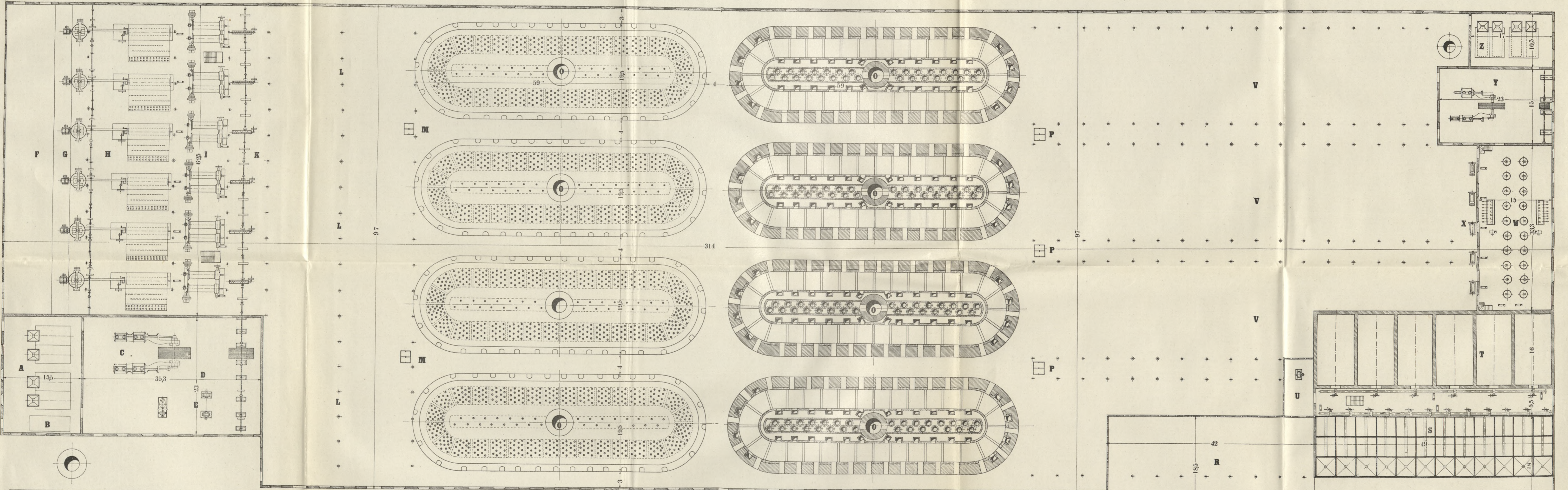
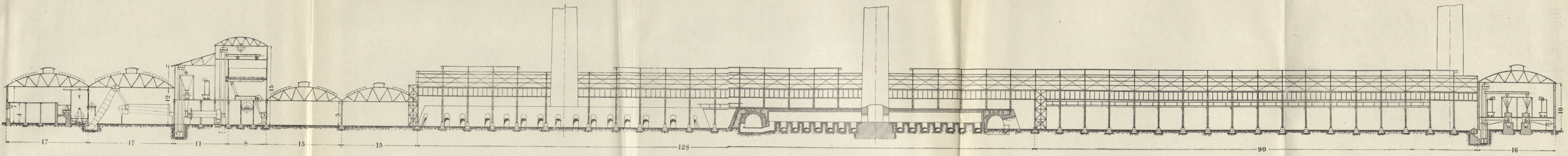
... 1888  
 ... 1891  
 ... 1892  
 ... 1893  
 ... 1894  
 ... 1895  
 ... 1896  
 ... 1897  
 ... 1898  
 ... 1899  
 ... 1900  
 ... 1901  
 ... 1902  
 ... 1903  
 ... 1904  
 ... 1905  
 ... 1906  
 ... 1907  
 ... 1908  
 ... 1909  
 ... 1910  
 ... 1911  
 ... 1912  
 ... 1913  
 ... 1914  
 ... 1915  
 ... 1916  
 ... 1917  
 ... 1918  
 ... 1919  
 ... 1920  
 ... 1921  
 ... 1922  
 ... 1923  
 ... 1924  
 ... 1925  
 ... 1926  
 ... 1927  
 ... 1928  
 ... 1929  
 ... 1930  
 ... 1931  
 ... 1932  
 ... 1933  
 ... 1934  
 ... 1935  
 ... 1936  
 ... 1937  
 ... 1938  
 ... 1939  
 ... 1940  
 ... 1941  
 ... 1942  
 ... 1943  
 ... 1944  
 ... 1945  
 ... 1946  
 ... 1947  
 ... 1948  
 ... 1949  
 ... 1950  
 ... 1951  
 ... 1952  
 ... 1953  
 ... 1954  
 ... 1955  
 ... 1956  
 ... 1957  
 ... 1958  
 ... 1959  
 ... 1960  
 ... 1961  
 ... 1962  
 ... 1963  
 ... 1964  
 ... 1965  
 ... 1966  
 ... 1967  
 ... 1968  
 ... 1969  
 ... 1970  
 ... 1971  
 ... 1972  
 ... 1973  
 ... 1974  
 ... 1975  
 ... 1976  
 ... 1977  
 ... 1978  
 ... 1979  
 ... 1980  
 ... 1981  
 ... 1982  
 ... 1983  
 ... 1984  
 ... 1985  
 ... 1986  
 ... 1987  
 ... 1988  
 ... 1989  
 ... 1990  
 ... 1991  
 ... 1992  
 ... 1993  
 ... 1994  
 ... 1995  
 ... 1996  
 ... 1997  
 ... 1998  
 ... 1999  
 ... 2000

... 1901  
 ... 1902  
 ... 1903  
 ... 1904  
 ... 1905  
 ... 1906  
 ... 1907  
 ... 1908  
 ... 1909  
 ... 1910  
 ... 1911  
 ... 1912  
 ... 1913  
 ... 1914  
 ... 1915  
 ... 1916  
 ... 1917  
 ... 1918  
 ... 1919  
 ... 1920  
 ... 1921  
 ... 1922  
 ... 1923  
 ... 1924  
 ... 1925  
 ... 1926  
 ... 1927  
 ... 1928  
 ... 1929  
 ... 1930  
 ... 1931  
 ... 1932  
 ... 1933  
 ... 1934  
 ... 1935  
 ... 1936  
 ... 1937  
 ... 1938  
 ... 1939  
 ... 1940  
 ... 1941  
 ... 1942  
 ... 1943  
 ... 1944  
 ... 1945  
 ... 1946  
 ... 1947  
 ... 1948  
 ... 1949  
 ... 1950  
 ... 1951  
 ... 1952  
 ... 1953  
 ... 1954  
 ... 1955  
 ... 1956  
 ... 1957  
 ... 1958  
 ... 1959  
 ... 1960  
 ... 1961  
 ... 1962  
 ... 1963  
 ... 1964  
 ... 1965  
 ... 1966  
 ... 1967  
 ... 1968  
 ... 1969  
 ... 1970  
 ... 1971  
 ... 1972  
 ... 1973  
 ... 1974  
 ... 1975  
 ... 1976  
 ... 1977  
 ... 1978  
 ... 1979  
 ... 1980  
 ... 1981  
 ... 1982  
 ... 1983  
 ... 1984  
 ... 1985  
 ... 1986  
 ... 1987  
 ... 1988  
 ... 1989  
 ... 1990  
 ... 1991  
 ... 1992  
 ... 1993  
 ... 1994  
 ... 1995  
 ... 1996  
 ... 1997  
 ... 1998  
 ... 1999  
 ... 2000

Alle Rechte vorbehalten.

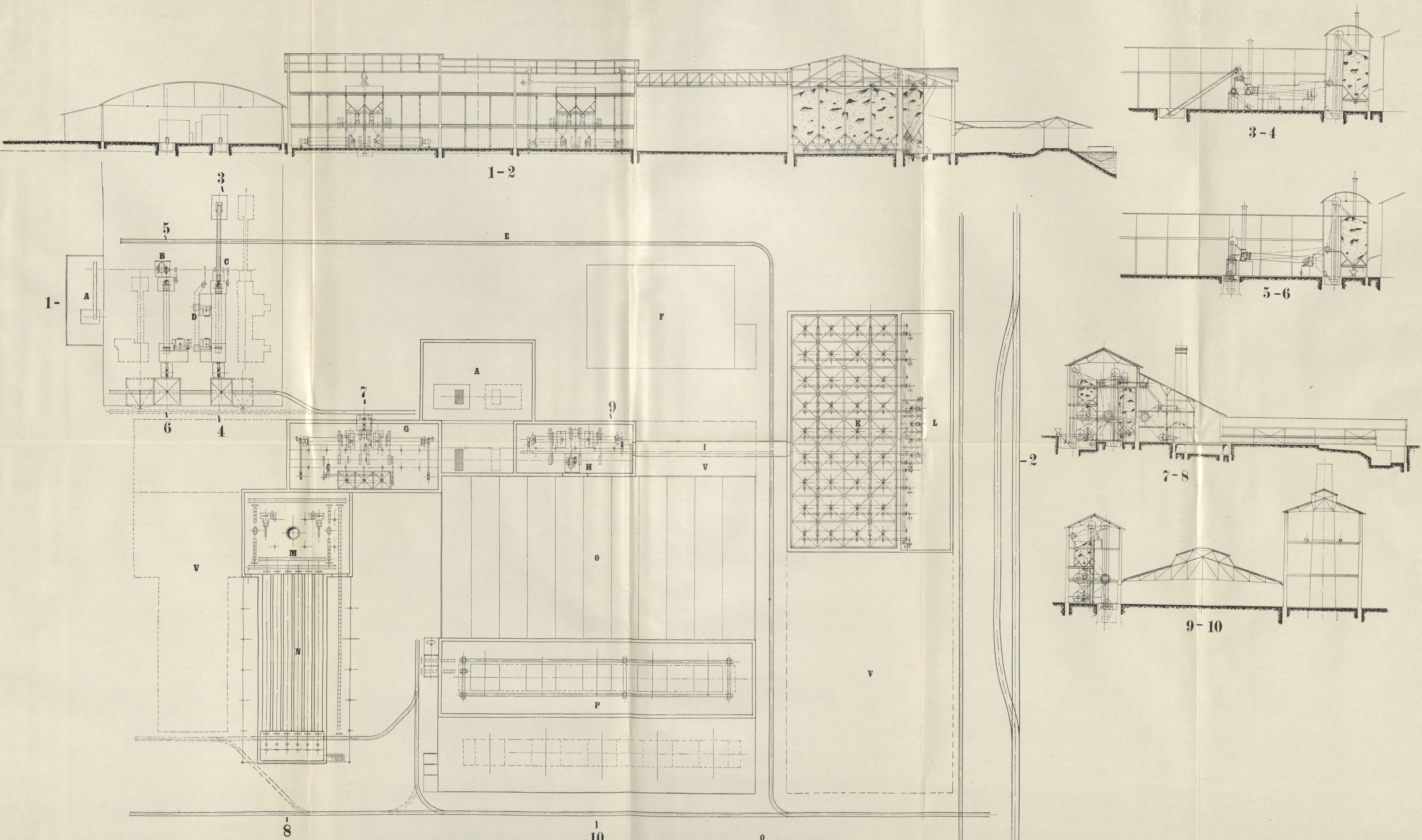
S. 61

# Tafel I.





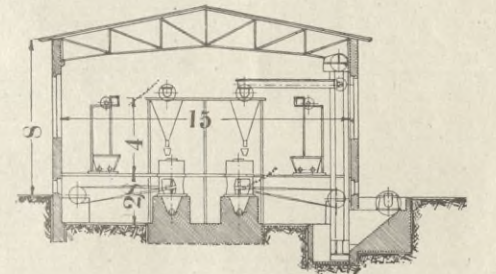
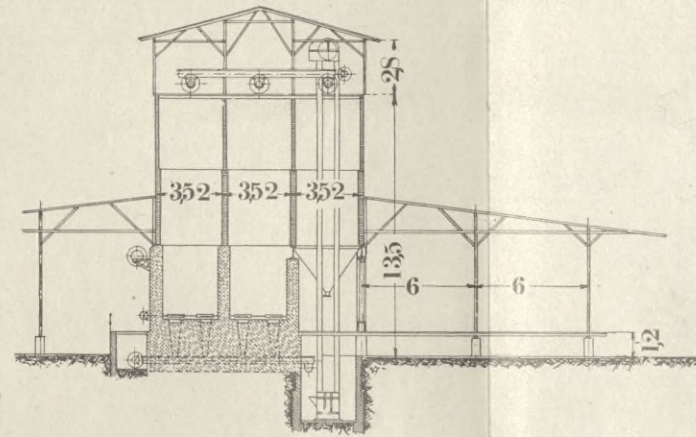
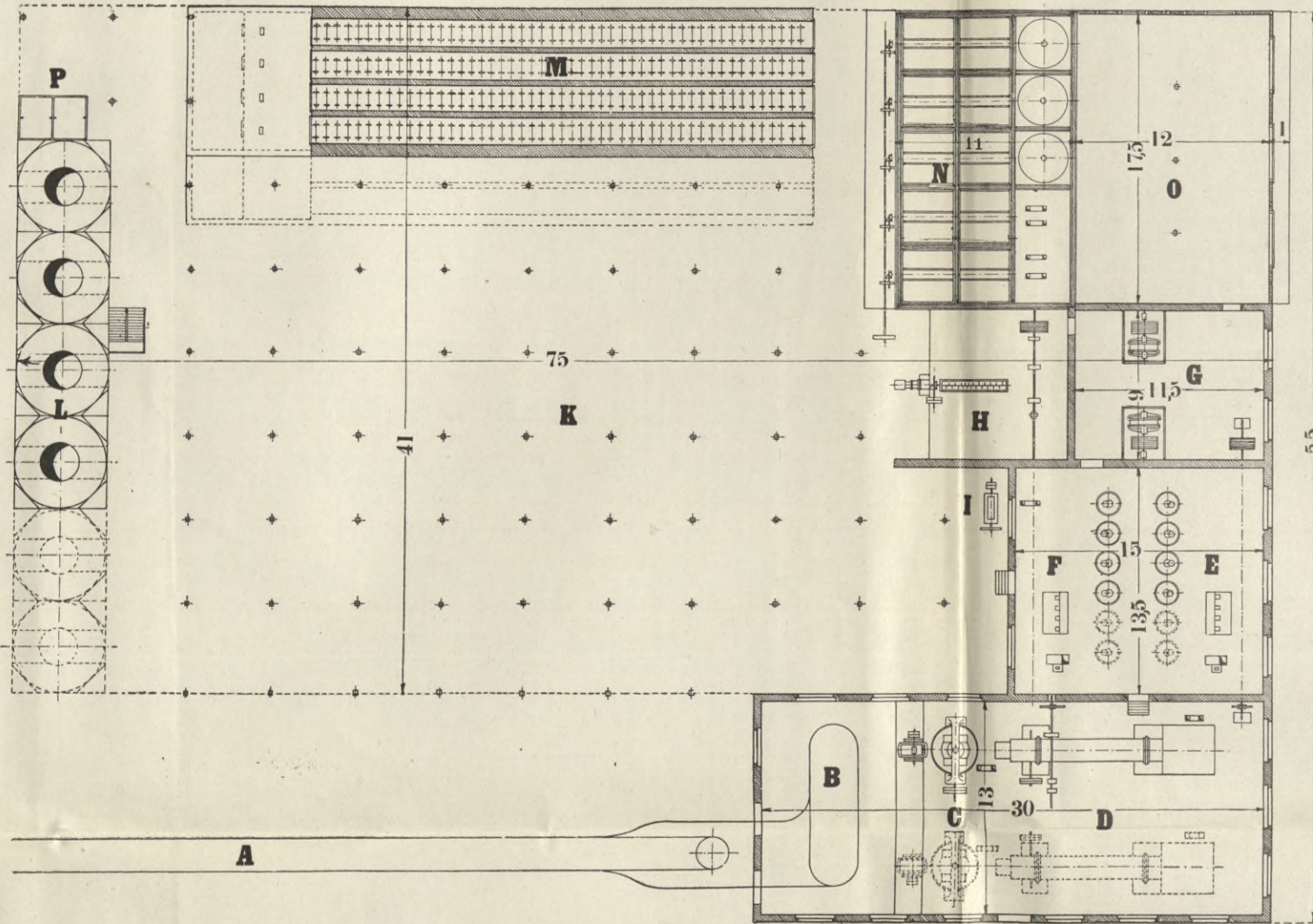
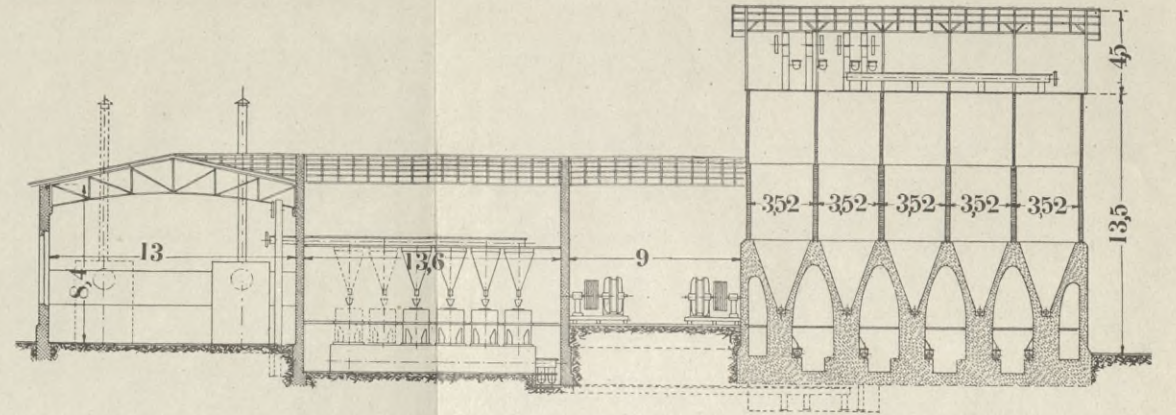
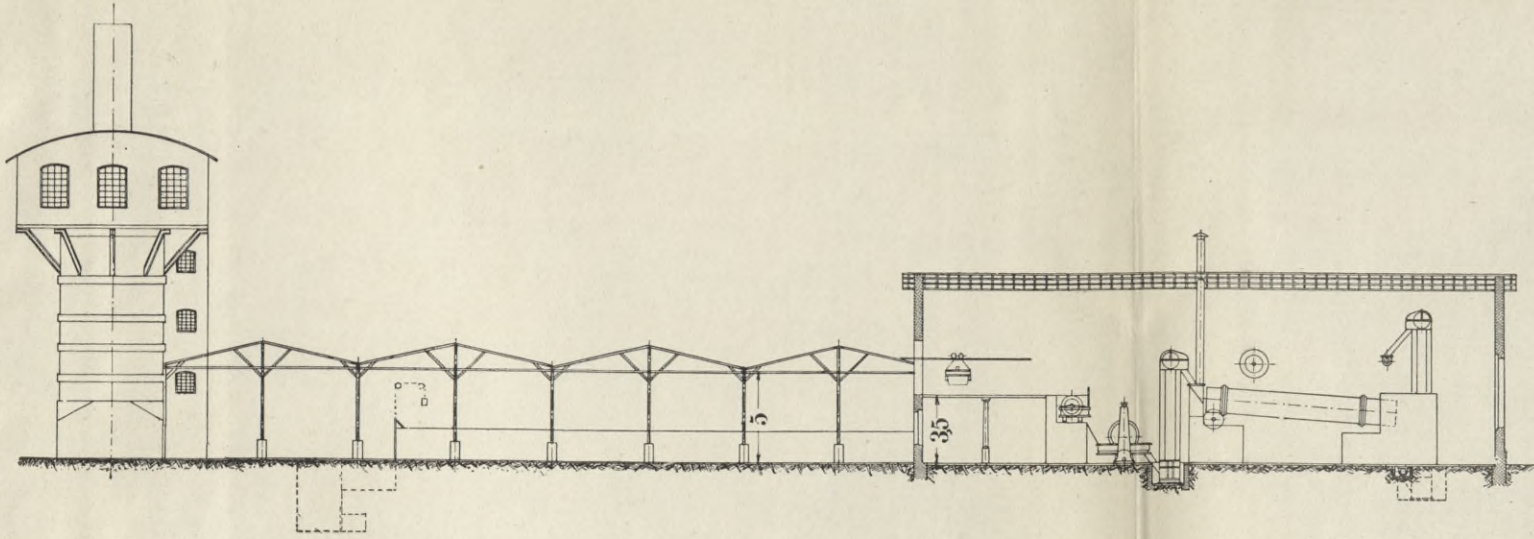
Tafel II.



11. 1918



# Tafel III.

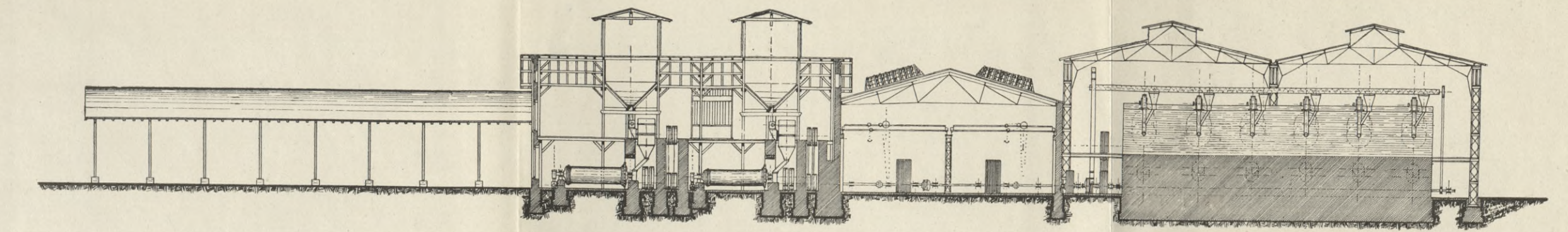
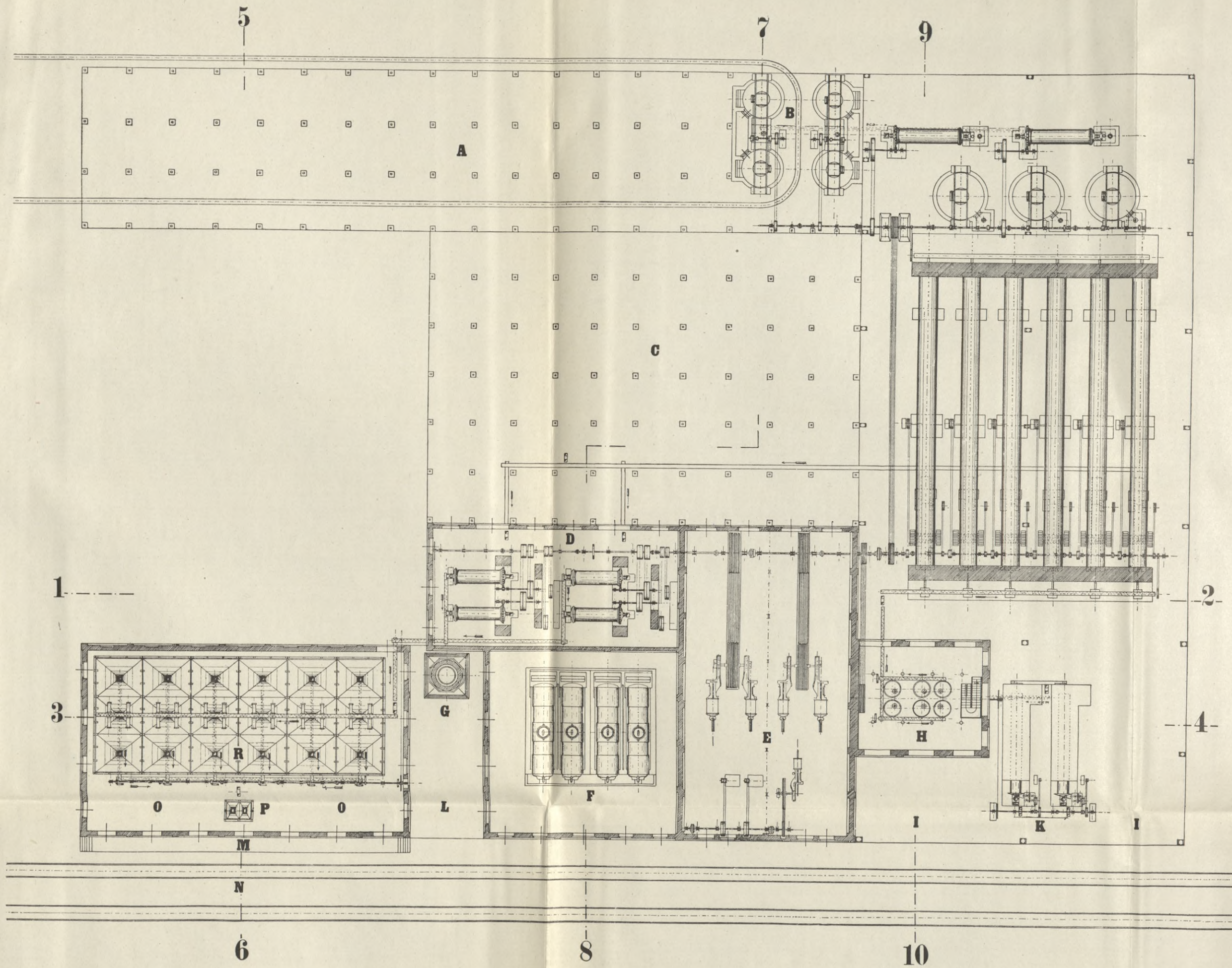




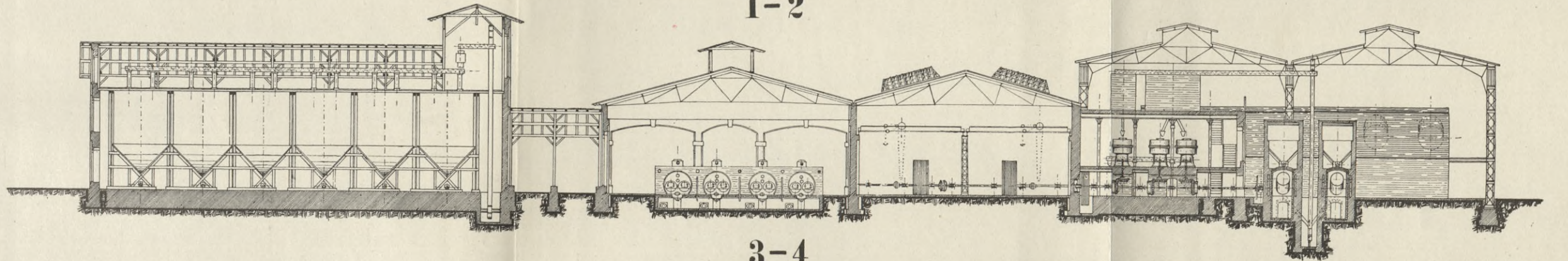
1918



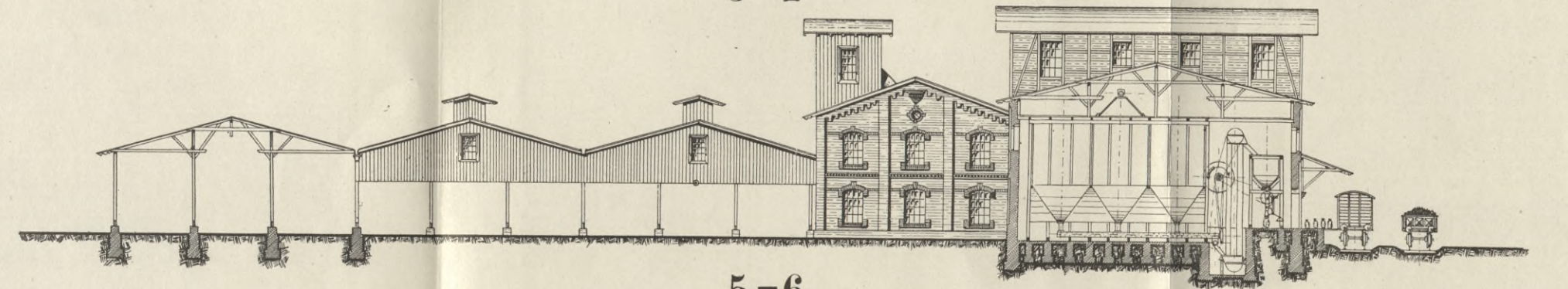
Tafel IV.



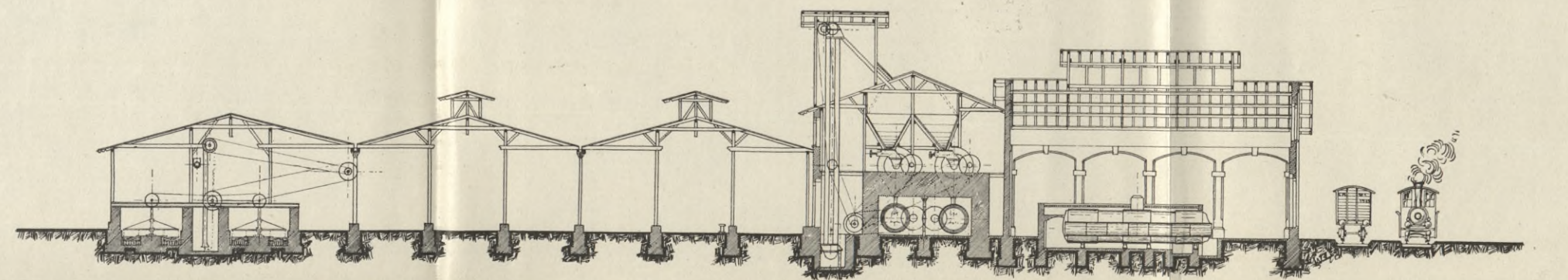
1-2



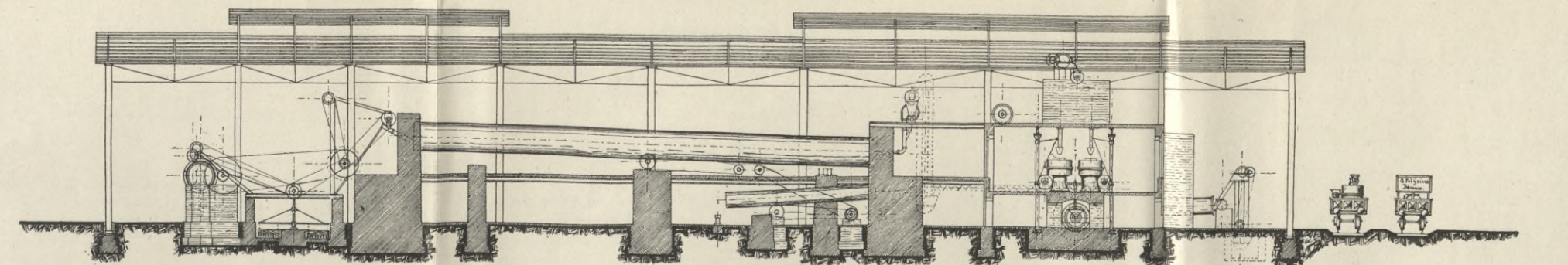
3-4



5-6



7-8

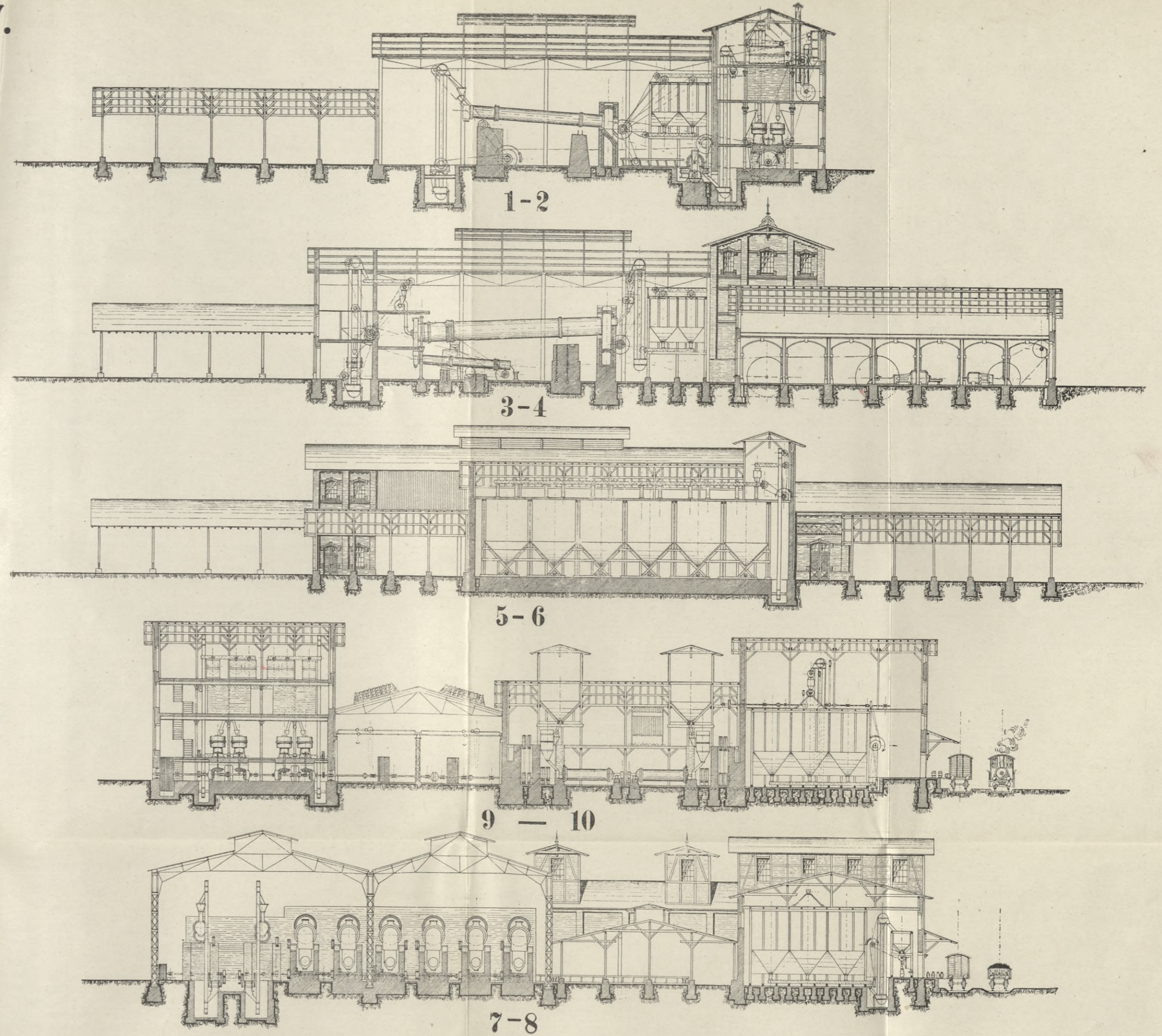
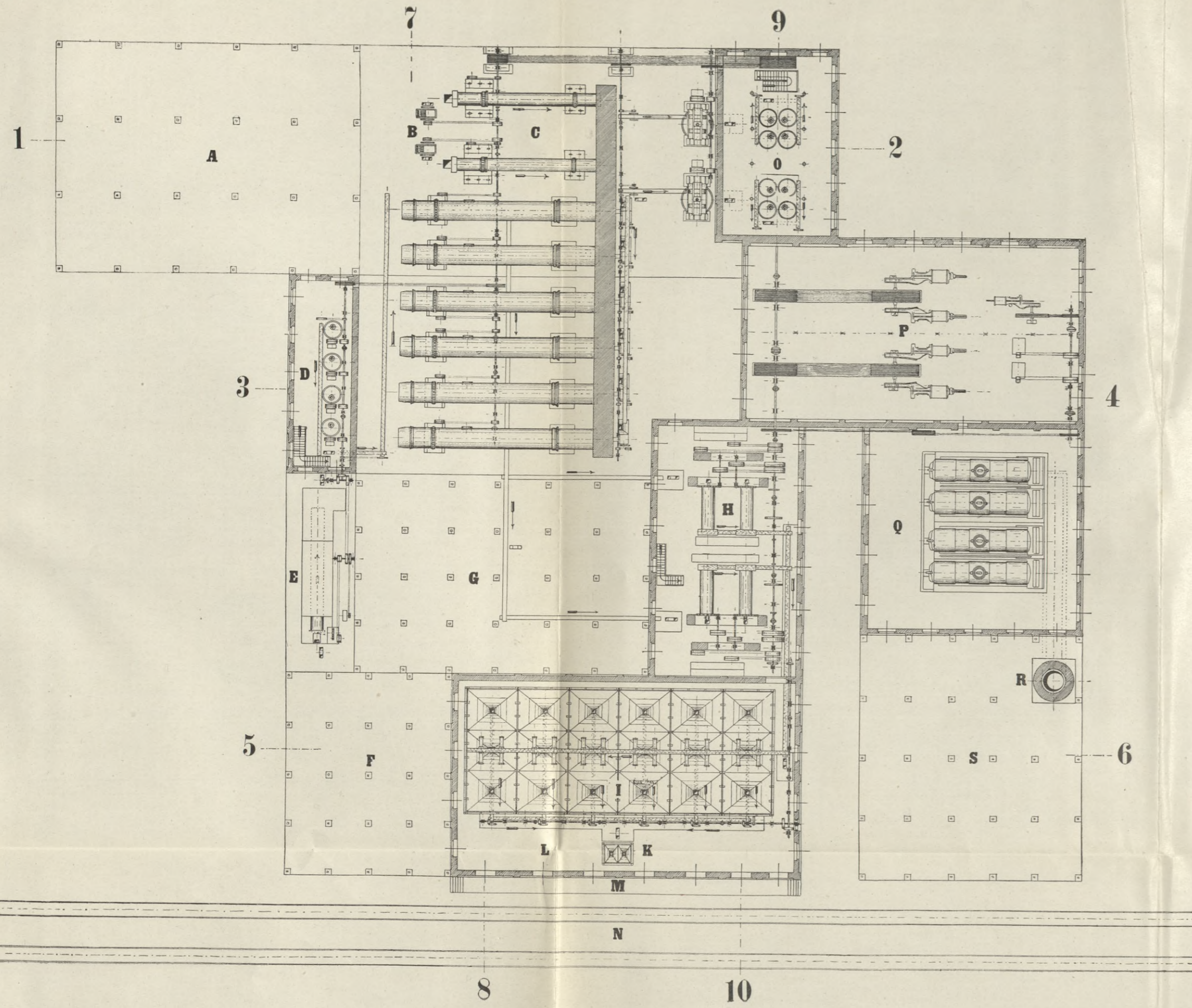


9-10

3  
VI list



# Tafel V.





Telephon Amt IV, 2229. ☎ Telegrammadresse. Trockenprozess Berlin.

# Möller & Pfeifer

Berlin W. 10,

Friedrich-Wilhelm-Strasse 19,

liefern als

**Spezialität**

für die

**Zement-**

**Industrie**

und

**verwandte**

**Betriebe**



**Trockenanlagen**



**Trocken-**

**Trommeln.**

**Trocken-**

**Kanäle.**



**Neues Verfahren**

zur direkten **Herstellung**

**brennfähiger Stücke**

aus Rohschlamm **ohne Pressen.**



**Rotierende Glühtrommeln.**

**Projekte, Anschläge und Pläne kostenlos.**

# Tonindustrie-Zeitung

und **Fachblatt** der  
Zement-, Beton-, Gips-, Kalk- und Kunststeinindustrie.

Herausgeber

**Chemisches Laboratorium für Tonindustrie**

Prof. Dr. H. Seger und E. Cramer.

Schriftleiter

E. Cramer, Dr. H. Hecht, Dr. H. Mäckler.

**Die Tonindustrie-Zeitung erscheint jeden Dienstag, Donnerstag  
und Sonnabend.**

Die Tonindustrie-Zeitung ist das angesehenste Fachblatt, welches durch seine **ausgedehnte** und **einflussreiche** Verbreitung sowie sein häufiges Erscheinen **sichersten** und **schnellsten** Erfolg gewährleistet bei Geschäftsempfehlungen, Käufen, Verkäufen, Stellungsgesuchen und Stellungsangeboten.

Die Tonindustrie-Zeitung ist

## Organ

der **Töpferei**-Berufsgenossenschaft,  
der **Ziegelei**-Berufsgenossenschaft,  
des Deutschen Vereins für **Ton-, Zement-  
und Kalkindustrie**,

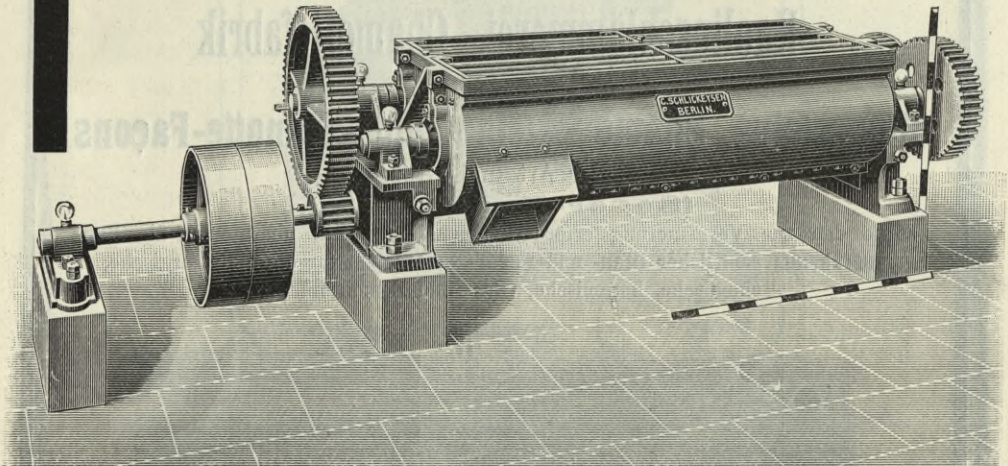
des Vereins deutscher Fabriken **feuerfester Produkte**,  
des Vereins deutscher **Portland-Zement-Fabrikanten**,  
des Verbandes deutscher **Tonindustrieller**,  
des Deutschen **Beton**-Vereins,  
der Unfallhaftpflichtgenossenschaft der Besitzer von  
**Ziegeleien** und verwandten Betrieben,  
des Deutschen **Gips**-Vereins,  
des Vereins der **Kalksandsteinfabriken**,  
des Verbandes der **Zementdachstein-Fabrikanten** Deutsch-  
lands,  
des Schutz-Vereins der **Berliner Bauinteressenten**.

————— **Probenummern kostenfrei.** —————

# C. SCHLICKEYSEN BERLIN-RIXDORF

Maschinen-Fabrik für Ziegel-, Torf-,  
Tonwaren- und Mörtel-Fabrikation  
am Bahnhof Rixdorf.

Seit 1884 auf grossen Bauten des In- und Auslandes  
im Gebrauch. Arbeitet vollständig automatisch und kontinuierlich.  
Auf Wunsch mit Elevator.



## Beton-Maschine Nr. 2.

Diese Betonmaschinen werden in 4 Grössen zu 3, 6, 10  
und 20 Kubikmeter Leistung in 1 Stunde angefertigt.

**Energischste Mischung. Dichteste Beton-Blöcke.**

Sie mischt zuerst Sand und Zement trocken, dann das Gemisch  
mit Wasser und presst es zuletzt in einen grossen kräftigen  
Misch- und Imprägnier-Apparat, der es mit Kies oder Steinschlag  
energisch zusammenknetet und auspresst.

Diese Beton-Maschinen geben durch energische Knetung und  
Mischung die widerstandsfähigsten Beton-Blöcke bei der höchsten  
Leistungsfähigkeit, gegenüber dem alten Verfahren des Mischens  
aller Materialien durch Durcheinander-Schütteln derselben.

Mehrere Exemplare stets auf Lager.





# ADOLFS-HÜTTE

vorm.

Gräfl. Einsiedel'sche

**Kaolin-, Thon- und Kohlenwerke, Akt.-Ges.**

**Crosta b. Bautzen**

Post Merka, Bahnstation Quoos der Linie Bautzen-Königswartha.

**Kaolinschlämmerei, Chamottefabrik**

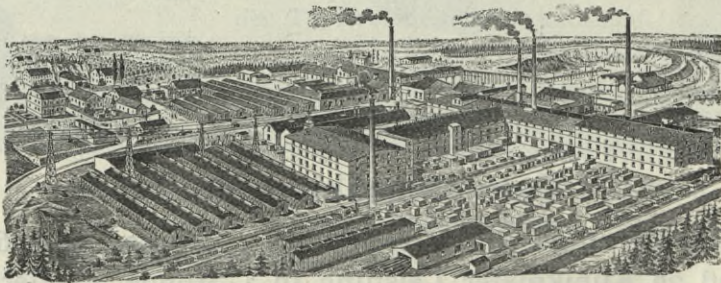
empfiehlt

**Dinasteine, Chamottesteine und Chamotte-Façons**

jeder Art und Grösse

**(Seg'er-Kegel No. 35)**

sowie den zur Vermauerung erforderlichen Mörtel und übernimmt die **Bauausführung** sämtlicher **Ofen- und Feuerungsanlagen** für die metallurgische, chemische, keramische, Glas- und Zementindustrie.



Spezialität: **Gasfeuerungs-Anlagen.**

**Chamottesteine und Chamottewaren mit 45% Tonerdegehalt,**

Klebesand, plastischer Ton

und geschlammter Kaolin von höchster Feuerbeständigkeit.

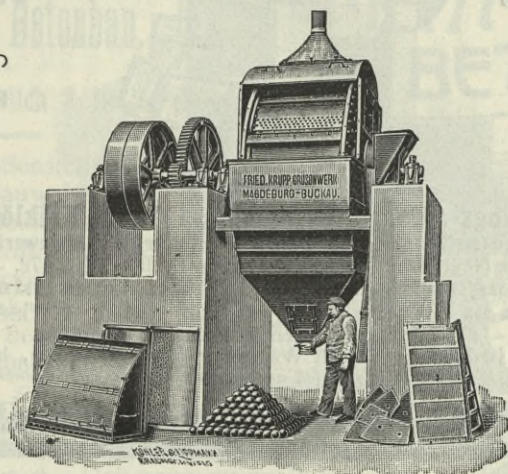
Jährliche Leistungsfähigkeit:

35 Millionen Kilo feinst geschlammter Kaolin,

40 Millionen Kilo gebrannte Chamotte-Fabrikate.

# Zerkleinerungs-Maschinen

Steinbrecher, einfache und doppelte Walzenmühlen,  
Trocken- und Nasskollergänge, Schraubenmühlen,  
Kugelmühlen, Mahlgänge, Griesmühlen usw.



Kugelmühle mit stetiger Ein- und Austragung.  
Ueber 2800 Mühlen geliefert.

**Mischmaschinen, Kies- und Sand-Waschmaschinen,  
Sortiertrommeln, Siebzyylinder,  
Misch-Kollergänge für Mörtel, Beton usw.  
Förderschnecken, Becherwerke.**

Vollständige maschinelle Einrichtungen  
für

**Zementfabriken \* Schamottefabriken \* Mörtelmühlen,  
Gips-, Trass- und Kalkmühlen.**

Fertige Achsen mit Rädern und Lagern, Weichen, Herz- und  
Kreuzungsstücke, Drehscheiben, Wendeplatten.

**Krane, Transport- und Umlade-Vorrichtungen für  
Massengüter.**

**FRIED. KRUPP Akt. Ges. GRUSONWERK**  
Magdeburg-Buckau.

# Gebrüder Sachsenberg

Gesellschaft m. b. H.

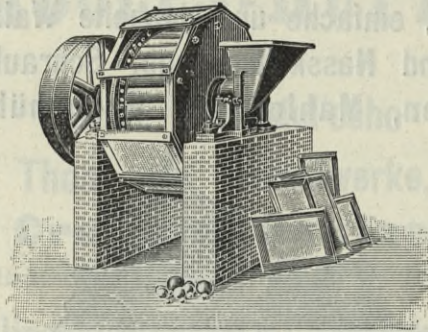
Gegründet 1844.

**Rosslau a. d. Elbe**

Circa 1000 Arbeiter.

— liefern als langjährige Spezialität: —

**komplette  
maschinelle  
Ein-  
richtungen  
für**



**kostenlose  
Vorschläge  
und  
Kataloge  
für**

**Hartzerkleinerungs-Anlagen, Förderungs-Anlagen, Kalklöschtrommeln,  
Kugelmühlen, Beschickungs-Apparate, Walzwerke.**  
Griesmühlen zum Feinmahlen D. R.-P. 132 572.  
**Kollergänge, Steinbrecher, Knetmaschinen etc.  
Dampfmaschinen jeder Grösse.**  
Spezialität: Schnellläufer für elektrische Betriebe.  
**Dampfkessel jeder Art, auch Wasserröhrenkessel, hydraul. genietet.**  
*Restektanten belieben sich auf diese Annonce zu beziehen.*

## Schamotte-Material

für  
**Zement-Schacht-Oefen,  
Dietzsch' Etagen-Oefen,  
Ringöfen u. s. w.**

Freienwalder  
Quarzsand  
für Zementstein-  
Fabrikation.

**Konstruktions-  
Bureau  
für industrielle  
Feuerungsanlagen.**

**Bauausführung  
durch geschulte Ofenmaurer.**

**Freienwalder Chamottefabrik  
Henneberg & Co.  
Freienwalde a. d. Oder.**

# Zement und Beton

Illustrierte Monatsschrift  
für  
Zement- und Betonbau.

Bezugspreis jährlich 8 M.

Der sich offensichtlich ausbreitenden Bauweise mit Zement und Beton dient diese Monatsschrift in anerkannt hervorragender Weise und ist den Baukreisen ein **Bedürfnis**, den besonderen Fachleuten **unentbehrlich** geworden, da sie zur intensiveren Ausnutzung des noch zu wenig geschätzten Portlandzementes anregt. Ueberaus wertvoll für jeden Fachmann ist ferner die in jeder Nummer lieferungsweise enthaltene Beigabe, die wesentlich erweiterte deutsche Uebersetzung von „le beton armé“, des vorzüglichen, grundlegenden und maßgebenden Werkes von Paul Christophe, „Der Eisenbeton und seine Anwendung im Bauwesen“.

Probenummern kostenfrei.



VERLAG : TONINDUSTRIE-ZEITUNG  
BERLIN · N.W. · KRUPPSTR. 6

Maschinenfabrik

## L. Schmelzer in Magdeburg

liefert als Spezialität seit 1861 für Zementfabriken

### Ziegeleimaschinen

neuester Konstruktion mit Kompensationsschnecken  
und kontrespiralförmigen Stäben „Patent“.

Unter anderen lieferte ich Ziegelmaschinen an die Zementfabriken in Itzehoe, Stettin, Lebbin, Wolgast, Porta, Halle a. S., Oppeln, Groschowitz, Wunstorf, Lengerich, Lauffen a. N., Finkenwalde, Lagerdort, Neustadt (Westpr.), Podol, Ledecz, Labatlan, Dillingen, St. Sulpice, Podolsk, Lazy, Ponte Chiasso, San Sebastian, Poerto Real u. s. w.

# Brück, Kretschel & Co.,

Osnabrück,

Maschinenfabrik und Eisengiesserei,

liefern

vollständige maschinelle Einrichtungen zur Fabrikation von



## **Kalksandsteinen**

unter weitgehendster Garantie eines sicheren ungestörten Betriebes bei Herstellung eines in jeder Beziehung einwandfreien Materials, sowie einzelne Maschinen.

**Zweckentsprechender Umbau veralteter Anlagen.**

Spezialität:

## **Kalksandsteinpresse**

neuer,  **verstärkter**  Konstruktion.

Prospekte, sowie eine die Herstellung der Kalksandsteine eingehend behandelnde Broschüre stehen jedem Interessenten kostenfrei zur Verfügung.

## Pfälzische Chamotte- und Thonwerke A.-G.

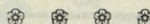
Grünstadt (Pfalz).

60

### Feuerfeste Steine

hochbasisch

bis 45 %  $Al_2O_3$



hochsauer

bis 96 %  $SiO_2$

bis Seger-Kegel 36

für allerhöchste Beanspruchungen, jeder Art u. Façon.

**Hochfeuerfester Mörtel. Feuerzement.**

### Uebernahme

kompletter Ofenhauten nach eigener oder gegebener Zeichnung.

### Ia. Rohmaterialien und Halbfabrikate

für die gesamte keramische und verwandte Industrie.

Telegramm-Adresse: Palatina Grünstadt.

# Wilhelm Eckardt

Cöln a. Rh.

G. m. b. H.

Berlin. W. 30.

Geschäftsgründung 1870.

Projekte und Bauausführung

von

vollständig eingerichteten Dampfziegeleien, Ton-, Kalk- und Zement-Werken,  
einschliesslich Lieferung und Montage der maschinellen Einrichtungen.

**Brennöfen**

für

Zement und Kalk.

**Ringöfen und Schachtöfen**

eigenen Systems

und für

beliebige Leistungen.

Oefen mit Gasfeuerung.

Gasfeuerung

für Drehrohröfen!

**Mehrschenkelöfen**

mit 2, 3, 4 und 5 Feuern.

Unerreichte Leistungen

und

Betriebsersparnisse.



1600 Oefen und Anlagen gebaut!

**Kammerringöfen**

und

**Gasringöfen**

für Verblender, Dachziegel,  
alle Schamotte-Fabrikate  
und Eisenklinker.

**Trockenanlagen für Zement-, Ziegel- und Tonwaren.**

Technische Gutachten, Bodenanalysen und Prüfungen.

## **Fabrikschornsteine:**

Neubau und Reparaturen, letztere auch ohne Betriebsstörung.

Kesseleinmauerung aller Systeme, Maschinenfundamente in präzisester Ausführung.

**Garantie-Uebernahme! — Feinste Referenzen!**

Besichtigung ausgeführter Anlagen gestattet!

Verlag der Tonindustrie-Zeitung  
Berlin NW 5                      Kruppstr. 6.

---

## **Apparate und Geräte**

zur

### **Prüfung von Portland-Zement.**

Mit über 100 Abbildungen.

Geh. 1 M.

---

Paul Christophe,

## **Der Eisenbeton und seine Anwendung im Bauwesen.**

Wesentlich erweiterte Uebersetzung des Werkes

„Le beton armé et ses applications.“

Geb. M. 35.—

---

## **Die Kalksandsteinfabrikation.**

Von Ernst Stöffler, Ing.

Geb. M. 5.—

Genaue Darstellung des Ganges der Kalksandsteinfabrikation und der dazu erforderlichen Materialien und Maschinen nach dem neuesten Stande dieser Industrie.

---

## **Adressbuch**

der

### **Zementfabriken Deutschlands nebst ihren Fabrikmarken.**

Geb. M. 3.—

Beim Einkaufe von

# Abschneidedraht

verlangen Sie von Ihrem Lieferanten  
= unsere altbewährten Sorten =

Marke



„Röslau“.

Lieferung erfolgt durch alle besseren, einschlägigen Handlungen, wo nicht, direkt durch:

## Stahl- und Drahtwerk Röslau,

— Röslau in Bayern. —

Höchstprämiert auf vielen Weltausstellungen.



Wasser-Reinigung,  
Dampfmaschinen,  
Armaturen,  
Pumpen.

**A. L. G. Dehne** Maschinen-  
Fabrik,

**Halle. S.**



**Mechanische Treibriemen-Weberei und Gurtfabrik**  
VON

**Mühlen Sohn, Rheydt**

Feinste  
Referenzen  
aus der Ton-  
Industrie!  
Weitgehende  
Garantie!



(Rheinland)

Gegründet 1880

liefert

**seit 1880**

in unerreichter  
Qualität:

**Gewebe imprägnierte Baumwoll- und Kamelhaarriemen  
für alle Zweige der Industrie.**

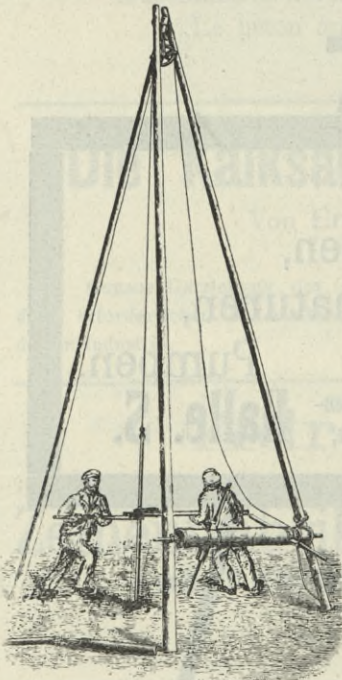
**Spezialitäten :**

Kamelhaarriemen aus reinem Kamelhaargarn, ohne Zusatz von  
Baumwolle.

Dichtgewebe Baumwoll-, Transport- und Elevator-Gurte, vorteil-  
haftester Ersatz für Hanfgurte, Kautschukbänder etc.

Langjährig erprobte Riemenspanner. Riemenverbinder eigenen Systems.

D. R. G. M. 51037 u. 54979. Muster und Preislisten auf Verlangen.



**Bohrwerkzeuge aller Art.**

**Tellerbohrer  
Spiralbohrer  
Löffelbohrer  
Krätzer  
Flachmeissel  
Spitzmeissel  
Bohrröhren**

mit Innen- und  
Aussengewinde

**Abfangegabel  
Zahn muffen  
Gestänge  
Schlamm-  
büchsen  
Schappen  
Felsenbohr-  
werkzeuge**

usw.

**Chemisches Laboratorium für Tonindustrie**

Prof. Dr. H. Seger & E. Cramer,

**Berlin NW 5, Kruppstrasse 6.**

# Theod. Thomas      Leipzig      Carl Scholtze

Verlagsbuchhandlung      Inh. W. Junghans      Verlagsbuchhandlung

## **Heusinger von Waldegg, Die Ton-, Kalk-, Zement- und Gipsindustrie.**

Ein Hand- und Hilfsbuch für Fabrikanten und Techniker.

I. Teil. **Die Ziegel- und Röhrenbrennerei.** 5. neubearbeitete Auflage, herausgegeben von Ingenieur **L. Schmelzer.** Mit 484 Abbildungen. Brosch. M. 20.—, in Halbfranz gebd. M. 23.—.

II. Teil. **Die Kalkbrennerei und Zementfabrikation.** Mit einem Anhang „Die Fabrikation der Kalksandsteine“. 5. gänzlich neubearbeitete Auflage, herausgegeben von Oberingenieur **Carl Naske.** Mit 236 Abbildungen und 1 grossen Tafel. Brosch. M. 10.—, in Halbfranz geb. M. 12.50.

III. Teil. **Die gesamte Gipsindustrie.** Neubearbeitet von Dr. **Albert Moye.** (In Vorbereitung.)

**Hans Issel, Illustriertes Handlexikon der gebräuchlichsten Baustoffe.** Ein Handbuch für das gesamte Baugewerbe. Mit 473 Abbildungen und 13 Tafeln. Brosch. M. 10.—, geb. M. 12.—. Das Werk kann auch in 10 Lieferungen à M. 1.— bezogen werden. Einbanddecke M. 1.50. Dies Werk wurde von der gesamten Fachpresse glänzend besprochen.

**Carl Naske, Die Portlandzementfabrikation.** Ein Handbuch für Ingenieure und Zementfabrikanten. Mit 183 Abbildungen und 3 grossen Tafeln. Brosch. M. 10.—, eleg. gebd. M. 11.50.

**Otto Bock, Der Ziegelofen.** Konstruktion und Bauausführung von Brennöfen, Ofengebäuden und Schornsteinen für Ziegeleien. Mit 22 Abbildungen. 2. neubearbeitete Auflage. Brosch. M. 1.50.

**W. Castner, Der Zement und seine rationelle Verwertung zu Bauzwecken mit Berechnungsbeispielen und für die Praxis brauchbaren Mörtel-, Concret- und Betontabellen.** 3. Auflage. Brosch. M. 1.20.

**William W. Maclay, Der Portlandzement.** Prüfung und Verwendung desselben. Mit der Norman Medal preisgekrönte Schrift. Brosch. M. 2.—.

**C. Arldt, Die Funkentelegraphie.** Nebst einem Vorwort: Wert der Funkentelegraphie für die moderne Schifffahrt von Professor Oswald Flamm. Mit 75 Abbildungen. Brosch. M. 1.80.

**Georg Osthoff, Die Klinker und die Klinkerstrassen.** Brosch. M. 1.20.

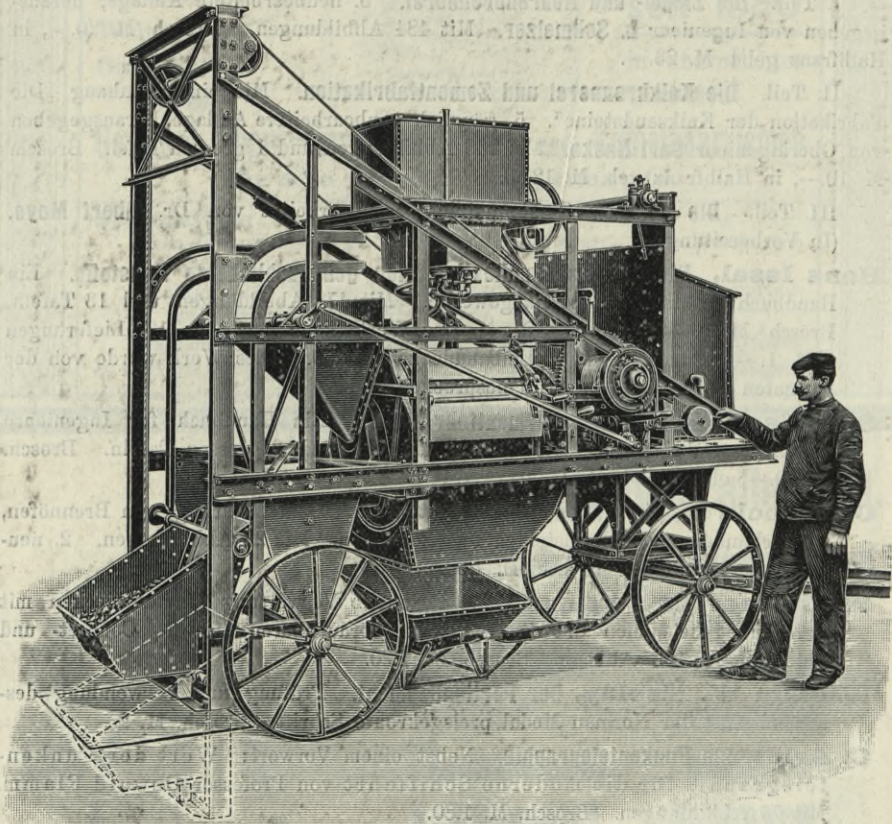
---

**Ausführliche illustrierte Prospekte und Kataloge über diese und andere Verlagsartikel werden auf Verlangen gratis und franko versandt.**

---

Die Werke sind durch alle Buchhandlungen sowie direkt gegen Einsendung oder Nachnahme des Betrages von der von der Verlagsbuchhandlung und von der Tonindustrie-Zeitung, Berlin NW5, zu beziehen.

Maschinenfabrik Rhein und Lahn  
**Gauhe, Gockel & Cie.**  
OBERLAHNSTEIN a. Rh.



fahrbare **Betonmaschine** mit selbsttätigem Hebewerk D. R. P.  
Haupterzeugnisse:

**Hebevorrichtungen und Baumaschinen**  
aller Art zum Mischen und Heben.

Düsseldorf 1902: Silberne Medaille. — Staatsmedaille.

# Chemisches Laboratorium für Tonindustrie

Prof. Dr. H. Seger & E. Cramer

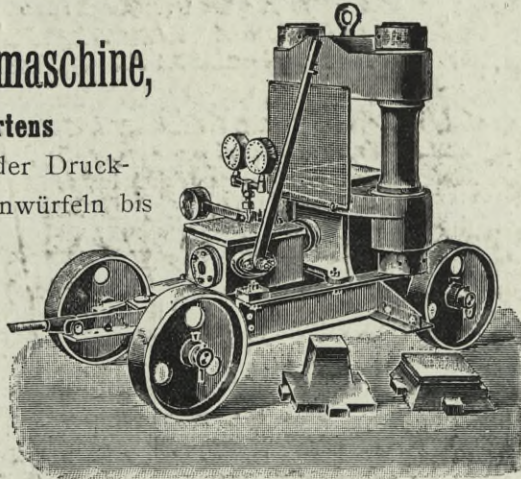
Berlin NW5

Kruppstrasse 6

## Betonprüfungsmaschine,

### System Martens

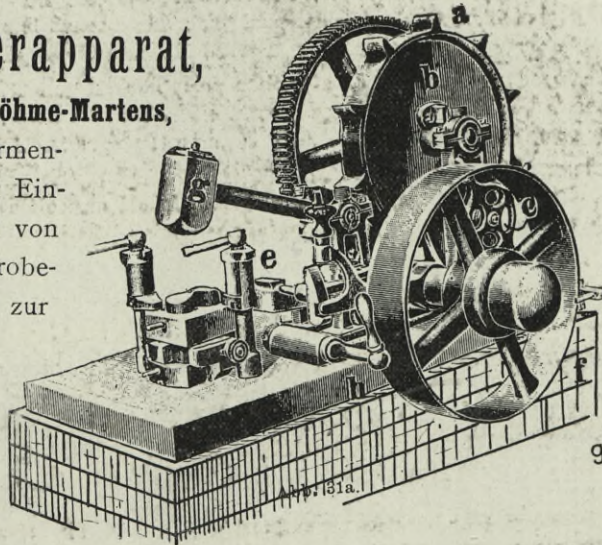
zur Ermittlung der Druckfestigkeit von Betonwürfeln bis 300 mm Kantenlänge. Die Presse ist für einen normalen Druck von 300 000 und 400 000 kg gebaut.



## Hammerapparat,

### Bauart Böhme-Martens,

zum normenmässigen Einschlagen von Zementprobestkörpern zur Ermittlung der Zug- und Druckfestigkeit.



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300386