Wärme erfahren und welche man nach Art des Überfangglases vereinigt hat, sodaß die Röhren usw. aus zwei Schichten bestehen.

Dieses Glas kann z. B. auf Temperaturen von mehr als 200° erhitzt werden und sofort in kaltes Wasser fallen, ohne zu springen. Das ist praktisch von Bedeutung, weil z. B. Wasserstandsgläser auf Lokomotiven, die recht heiß werden, dadurch springen, daß Schnee oder Eis von außen darauf fällt und bei »Verbundglas« solche Übel vermieden werden. Es eignet sich auch für Lampenzylinder und chemische Apparate.

Viel wichtiger aber ist, im allgemeinen festzuhalten, daß das Glas kein chemisches Individuum ist und schon deshalb keine ganz bestimmten Eigenschaften hat.

Die letzteren hängen, wie in der Einleitung gezeigt, von der Zusammensetzung und von physikalischen Verhältnissen ab. Man hat also in dem Glase einen Stoff unter Händen, an dem sich noch manches ändern und verbessern läßt, wenn die Vorgänge, die zu dieser oder jener Eigenschaft führen, richtig erkannt und dann beeinflußt werden.

Es ist nun zweckmäßig, an die allgemeine Einteilung der Silikate zu erinnern. Dabei wurden als erste Klasse diejenigen der Alkalien, das Wasserglas aufgeführt. Auch in der zweiten Klasse spielen die Alkalien noch eine wichtige Rolle. Das »Glas« enthält regelmäßig Alkali.

Allerdings wurde ein Bleisilikat, welches ungefähr der Formel $PbSiO_3$ entspricht, mit angeführt und erwähnt, daß Thallium die Alkalien vertreten kann. Aber diese Ausnahmen bestätigen nur die Regel des Alkaligehalts.

Wie nun viele Vorzüge des Glases, namentlich die Schmelzbarkeit, damit zusammenhängen, so ist andererseits das Glas der Einwirkung von Wasser in der früher erörterten Weise zugänglich, eben weil es Alkalien enthält.

Die Beständigkeit gegen Wasser wird bei den nun folgenden alkalifreien Silikaten so groß, daß sie unter allen Umständen genügt. Silikate des Calciums allein haben schon diese Eigenschaft; dazu kommen Silikate von Calcium und Aluminium. Die einfacher und die verwickelter zusammengesetzten spielen ihre Rolle in der dritten Gruppe, die bei der allgemeinen Einteilung angeführt wurde, bei

Mörtel und Zement.

Der gewöhnliche Luftmörtel, der ganz allgemein mit dem Erfolge verwendet wird, daß er erhärtet und die Bausteine miteinander fest

verkittet, besteht aus gelöschtem Kalk und Sand. Bei dem Prozesse des Erhärtens wirkt natürlich Calciumhydroxyd auf die Kieselsäure ein; die Silikatbildung erfolgt aber sehr langsam und hat in diesem Zusammenhange keine Bedeutung.

In der Tat erhärtet der Luftmörtel, weil der Kalk Kohlensäure anzieht. Das entstehende Karbonat wird unter Abgabe von Wasser hart wie Marmor, und die Hauptmenge der Kieselsäure wird eingeschlossen, so daß eine feste, dauerhafte Masse entsteht.

Diese Masse bildet den gewöhnlichen Überzug einer jeden gemauerten Wand; da das Festwerden stattfindet, indem das Wasser durch Kohlensäure verdrängt wird, so werden die von gemauerten Wänden umschlossenen Räume erst bewohnbar, wenn der Prozeß zu Ende ist. Bis dahin ist die Abgabe von Feuchtigkeit zu stark.

Anders verläuft der Prozeß, wenn Ätzkalk auf Kieselsäure bei Abwesenheit von Kohlensäure, aber unter Mithilfe von Wasserdampf und zwar bei höherer Temperatur reagiert. Dann ensteht ein Kalkhydrosilikat.

Die in den letzten Jahren zu besonderer Bedeutung gekommene Kalksandsteinindustrie macht hiervon Gebrauch. Die in und bei Berlin befindlichen Hartsteinwerke fertigen alljährlich allein 400 Millionen Steine aus Sand und Kalkhydrat im Verhältnisse von etwa 10 : 1, indem sie das Gemenge durch Schlagstempelpressen in Formen schlagen und die Steine nachher in Druckgefäßen, die zur Aufnahme von 1—2000 Steinen eingerichtet sind, einen Dampfdruck von 10 Atmosphären aussetzen.

Dabei spielt die Kieselsäure bzw. das gebildete Silikat schon nicht mehr bloß eine Nebenrolle. Außerdem treten die Silikate in den Vordergrund bei den sogenannten Zementen.

Das Wort caementum ist altlateinisch; der Vorgang des Erhärtens gewisser natürlicher Zemente war den Römern geläufig, wie in römischen Bädern zu sehen ist.

Die Erklärung des Vorgangs aber gehört der Neuzeit an und ist etwa folgende. I. Wenn Aluminiumsilikate und zwar solche, die natürlich vorkommen, durch Erhitzen mit Kalk zerlegt werden, so hat man z. B.:

$$\underset{\text{Kalk}}{2\,CaO} + \underset{\text{(Disthen)}}{SiO_5Al_2} = \underset{\text{Calciumsilikat}}{SiO_3Ca} + \underset{\text{Calciumaluminat,}}{Al_2O_4Ca}$$

oder auch:

$$\underset{\text{Ton}}{Si_2O_7Al_2} + \underset{\text{Kalk}}{6\,CaO} = \underset{\text{Dicalciumsilikat}}{2\,(SiO_4Ca_2)} + \underset{\text{Dicalciumaluminat.}}{Al_2O_5Ca_2}$$

also im Allgemeinen Bildung eines Calciumsilikats und eines Aluminats.

Auf solche Gemenge wirkt das Wasser ein, und zwar auf beide

Bestandteile derselben. Es folgt der Übergang des Silikats in Hydrosilikat, welches gallertartig ist und die Masse verbindet. Zum Beispiel hat man:

$$\underset{\text{Calciumsilikat}}{SiO_4Ca_2} + \underset{\text{Wasser}}{2H_2O} = \underset{\text{Calciumhydrosilikat}}{SiO_4CaH_2} + \underset{\text{Kalkhydrat.}}{Ca(OH)_2}$$

Die Menge des Kalkhydrats wird noch dadurch vermehrt, daß die Aluminate in wäßriger Lösung zerfallen. Wenn dann die Luft zutreten kann, so wird Kohlensäure gebunden, was ebenso zum Festwerden der Masse beiträgt.

Aus dem losen Pulver wird also eine feste Masse; diese verkittet zwei Steine miteinander oder haftet als fester Überzug an einer aus Steinen gebildeten Unterlage.

Natürlich nimmt dieser Vorgang Zeit in Anspruch. Das sogenannte »Abbinden« des Zements, d. h. das erste Festwerden tritt bald ein; aber es dauert lange, bis daraus die bekannte steinharte Masse, ein brauchbarer Zementboden geworden ist.

Nach dieser Erklärung des Vorgangs versteht man das natürliche Vorkommen der Zemente.

Vorgänge, wie die bezeichneten, können in der Natur leicht zustande kommen. Wenn ein Gestein, dessen wesentliche Bestandteile Kalkstein und Ton sind, durch vulkanische Tätigkeit erhitzt wird, entweicht zunächst Kohlensäure und es bleibt ein Gemenge zurück, welches weiterer Veränderung zugänglich ist.

Diese ist aber von den Umständen abhängig. Hört die Erhitzung auf und tritt Wasser zu, so zerbröckelt das Gestein, weil kaustischer Kalk, wenn er Wasser aufnimmt, sein Volumen so vermehrt, daß Sprengwirkung eintritt, wie bei Besprechung des Kalks erwähnt wurde. Hält aber die hohe Temperatur noch an, so wirkt der kaustische Kalk im Sinne der gegebenen Gleichungen. Dann entsteht ein natürlicher Zement, und zwar, wenn der Kalk in genügender Menge vorhanden ist, durch die ganze Masse hindurch brauchbarer Zement, d. h. ein Gemenge, welches anfängt festzuwerden, wenn man Wasser und Luft zubringt.

Als solche zum Teil schon von Griechen und Römern benutzte, noch heute unerschöpfte Vorkommen sind zu nennen:

1. Santorinerde. Sie stammt von den griechischen Inseln Santorin, Therasia, Asprosini usw., die wesentlich aus einem Gemenge der erwähnten Silikate bestehen und allmählich abgetragen werden. Die Inseln sind durch vulkanische Tätigkeit gehoben worden.

2. Puzzuolane, pulvis puteolanus von Puteoli bei Neapel,

ähnlich zusammengesetzt, schon von den römischen Kaisern benutzt; pulvis Bajanus von Bajae.

3. Traß oder Duckstein aus dem Brohl- und Nettetal in der preußischen Rheinprovinz, aus dem vulkanischen Herde der Eifel stammend.

Daran schließt sich eine dem allgemeinen Bedarf entsprechende, sehr große Fabrikation, welche Aluminiumsilikate durch Glühen mit Kalkstein aufschließt, nach dem Vorbilde des durch Vulkane bewirkten Prozesses. Dazu dient z. B. ein absichtlich hergestelltes Gemenge von Ton und Kalkstein. Auch kommen Gesteinarten vor, welche ungefähr diesem Verhältnis entsprechen und daher beim Brennen hydraulischen Mörtel liefern. Zum Beispiel ist der Ammonitenkalk ein solches Gestein.

Indem man dieses benutzt, vermeidet man alle die Unregelmäßigkeiten, welche bei dem Naturprodukt infolge der ungleichen Mischung entstehen. Es wird nicht nur vor dem Glühen zerkleinert, sondern zugesetzt oder ergänzt, was an richtigem Verhältnis fehlt.

Also ergeben sich folgende, in großem Umfange auszuführende Arbeiten.

Alles ist zunächst ganz fein zu pulverisieren, in manchen Fällen — wenn Kieselsteine u. dgl. vorhanden sind — durch Schlämmen zu reinigen und gewöhnlich in geeignetem, durch die Analyse festgesetztem Verhältnis zu vermischen.

Dann werden etwa 10 % Wasser zugesetzt und eine knetbare Masse hergestellt, die in Ziegelform gepreßt und in dieser Form gebrannt wird. Man geht bis zur Weißglut und erhält klinkerartige Massen, die pulverisiert werden und Pulver von großer Dichtigkeit liefern.

Das sind Arbeiten, welche schon häufig erwähnt wurden, und welche bei den Tonwaren noch in mancher Beziehung zu erläutern sind.

Was die Brennöfen betrifft, so ist dies ein großes Anwendungsgebiet für rotierende Öfen, die zuerst bei Soda Erwähnung fanden, geworden. Die Beheizung der »Drehrohröfen« erfolgt der Regel nach durch Einblasen eines Gemenges von Kohlenstaub und Luft, dem die pulverförmige Zementrohmasse entgegenströmt. Hierbei ist es freilich nicht zu vermeiden, daß ein nicht unerheblicher Teil der letzteren aus dem Drehrohrofen wieder herausgetrieben wird und deshalb in besonderen Kammern aufgefangen werden muß. Die Anwendung einer Entstaubungsanlage [1]) dürfte sich auch in diesem Falle wohl empfehlen.

Auf die Messung der Temperatur ist bei Tonwaren einzugehen.

---

[1]) Vgl. Seite 319.

Das Produkt heißt, sofern es aus Aluminiumsilikat und Calciumkarbonat, d. h. aus Ton und Kalkstein oder Kreide, erhalten wurde: Portlandzement, weil diese Fabrikation sich zuerst in Portland entwickelte.

Aluminiumsilikate entstehen nun aber auch als Rückstände anderer Industrien. Namentlich der Hochofenbetrieb liefert große Mengen von Schlacken, welche, wie bei Eisen erörtert wurde, Silikate sind und nicht selten natürlich vorkommenden Silikaten gleichkommen.

Daher kommt jetzt auch sogenannter Eisenportlandzement in Aufnahme, d. h. ein mit Benutzung der Schlacke der Eisenhütten hergestelltes Produkt. Die Schlacke kann mit Wasser granuliert oder mit Kalk bzw. Magnesium- oder Eisensulfatlösung in feuerflüssigem Zustande abgespritzt werden. Doch ist allgemeiner gebräuchlich, dem Schlackensande Kalkstein zuzusetzen und im Schachtofen zu brennen.

Anwendung und Untersuchung der Zemente.

Der Vorzug des Zements gegenüber dem gewöhnlichen Kalkmörtel besteht in der großen Beständigkeit gegenüber dem Wasser. Der Kalkmörtel unterliegt zufolge seiner größeren Porosität dem Angriffe des Wassers, namentlich wenn es Kohlensäure enthält. Es bilden sich lösliche Bikarbonate. Zement ist dagegen ein dichtes Gefüge unlöslicher Silikate und anderer, dem Eindringen des Wassers in das Innere sich widersetzenden Verbindungen.

Es werden deshalb alle Behälter und Leitungen, bei denen es auf Dichtigkeit ankommt, zementiert. Jedoch ist Widerstandsfähigkeit gegen Säuren nach der Zusammensetzung der Zemente nicht zu erwarten. Am meisten greifen diejenigen Säuren an, welche mit Kalk lösliche Salze bilden, Salzsäure, Essigsäure usw.

Schwefelsäure bildet zunächst schwerlöslichen Gips, lockert aber doch den Zusammenhang des Ganzen. Deshalb sind, um ein Beispiel zu nehmen, zementierte Behälter und Leitungen für Nitroglyzerin gut, wenn es entsäuert ist, aber nicht, solange es Reste der Nitriersäuren enthält.

Eine besondere Anwendung des Zements ist die schon bei den Dynamitmagazinen erwähnte Herstellung von »Beton«. Mit grobem Kies oder zerschlagenen Steinen bildet der Zement durch allmähliches Abbinden eine feste Wand. So werden Fundamente für Leuchttürme und für Wasserbauten aller Art durch große Quadern aus Beton hergestellt, auf denen sich dann das übrige, ebenfalls mit Zement zusammengefügt, anschließt.

Die Untersuchung der Zemente hat ihre allgemeine Bedeutung

und ist mit Rücksicht auf die unbestimmte Zusammensetzung der Rohstoffe und der Produkte durch Vereinbarung festgesetzt worden.

Diese bezieht sich auf Abbindezeit, Beständigkeit des Volumens, Zug- und Druckfestigkeit.

Die Sache steht wie bei dem Schießpulver: die Wirkung hängt nicht allein von dem Mengenverhältnis der Bestandteile, sondern auch von der physikalischen Beschaffenheit ab. Denn auch der Zement ist kein lockeres Gemenge. Wie das Schießpulver durch Pressen und Gelatinieren, so wird der Zement durch den bis zum Sintern ge-

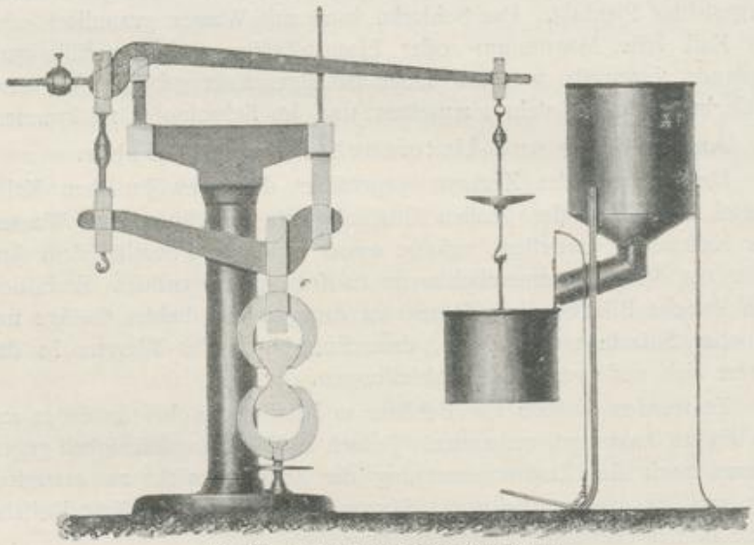

Fig. 88. Apparat zur Prüfung von Zement.

triebenen Glühprozeß stark verdichtet. Deshalb ist auch hier die Probe auf das Verhalten beim Gebrauch unerläßlich.

Ein lemniskatenförmiges Stück aus Zement wird zwischen zwei Bügel eingespannt und zum Zerreißen gebracht, indem man Schrot in das durch Vermittlung eines Wagebalkens damit verbundene Gefäß fließen läßt. Sobald das Stück reißt, sinkt das Gefäß und schiebt dadurch eine Platte vor das zufließende Schrot. Das Gewicht gibt also jedesmal den Maßstab für die Zugfestigkeit.

Dazu dient ein Apparat wie der in Figur 88 gezeichnete.

Die Zugfestigkeit, welche passend geformte Stücke zeigen, wird ermittelt nachdem sie erst einen Tag an der Luft gelegen haben und dann während drei bis vier Wochen unter Wasser erhärtet sind.

Ähnliche Apparate dienen zur Ermittlung der Druckfestigkeit. Im ganzen gibt es viele, sehr genau ausgearbeitete Proben auf diesem Gebiete.

Tonwaren.

Endlich bleiben in der Gruppe der Silikate nach der gegebenen Einteilung die Aluminiumsilikate als solche zu besprechen. Sie bilden die Grundlage der ganzen Keramik, d. h. sie sind Hauptbestandteile aller Tonwaren. Die Keramik ist nicht nur eine selbständige und vielseitig entwickelte Industrie; sie hat so viel Rücksicht auf künstlerische Anforderungen zu nehmen, daß hier nur Allgemeines über Rohstoffe, Apparate und Arbeitsmethoden Platz finden kann.

Ein Zweig der Keramik erscheint geeignet, vorangestellt zu werden, weil er die einfachsten Betriebsverhältnisse hat und deshalb für viele andere maßgebend ist.

Als solchen Zweig kann man die Porzellanindustrie ansehen, weil sie erstens die reinsten Aluminiumsilikate verarbeitet und zweitens auch in den Zusätzen, die zu machen sind, im ganzen Maß hält, so daß sich daran anknüpfend allgemeine Gesichtspunkte aufstellen lassen.

Mit besonderer Rücksicht auf diese folgen daher:

I. Die wesentlichen Eigenschaften der Aluminiumsilikate.

Die häufig mit dem chinesischen Namen »Kaolin« und dem deutschen Namen »Tone« bezeichneten Naturprodukte sind Hydrate und als solche zu unterscheiden von wasserfreien Silikaten, wie sie bisher in die Gleichungen eingesetzt wurden.

Man hat gewöhnlich $Si_2O_9Al_2H_4$ und kann diese Verbindung als eine Aluminium-Kieselsäure auffassen,[1]) entsprechend der Formel:

$$\begin{array}{l} \qquad\qquad\quad OH \\ HO \cdot SiO_2 - Al \diagdown \\ \qquad\qquad\qquad\quad O \\ HO \cdot SiO_2 - Al \diagup \\ \qquad\qquad\quad OH. \end{array}$$

Sie saugt begierig Wasser ein und zeigt dann die für alle Benutzungen wesentliche Eigenschaft der Plastizität.

Man kann das mit Wasser richtig durchgearbeitete Aluminiumsilikat mit glatten Flächen versehen, indem man schneidet, und zwar geschieht dies in der Praxis nicht mit Messern, welche natürlich viel Widerstand finden, sondern mit gespannten Drähten; man kann zwei Stücke wieder vereinigen, ohne daß die Verbindung zu erkennen ist; man kann auswalzen und abformen oder auch freihändig Form geben.

[1]) Vgl. W. Pukall, Berichte der Deutschen Chemischen Gesellschaft, **43**, 2100 (1910).