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).

Alles dies erinnert zunächst an das beim Gips Vorgeführte. Man hat wieder eine plastische Masse. Das Verhalten des Aluminiumhydrosilikats ist aber von dem des Calciumsulfats zu unterscheiden, insofern die Masse nicht erstarrt, auch nicht eine bestimmte Menge von Wasser chemisch gebunden wird. Das Wasser bleibt mechanisch beigemengt, die Masse bleibt zunächst weich. Sie kann aber viel fester gemacht werden als Gips in irgendeiner Form.

Die dem plastischen Kaolin, dem Gemenge von Hydrat und Wasser gegebene Form bleibt beim Trocknen erhalten, ohne recht fest zu werden, beim Glühen aber wird sie steinhart und ist dann sehr beständig.

Mit dem Übergang in diese steinharte Masse findet eine Veränderung des Silikats statt:

$$Si_2O_9Al_2H_4 = 2\,H_2O + Si_2O_7Al_2 \text{ d. i. } Si_2O_5(AlO)_2.$$

Das Hydrat wird in Anhydrid verwandelt. Diese Veränderung ist mit besonders wichtiger Verschiebung der Eigenschaften verbunden. Die Masse verliert ihre Weichheit und wird sehr hart. Der Übergang ist außerdem mit merklicher Zusammenziehung verbunden, die man das »Schwinden« nennt. Reiner Kaolin schwindet beim Glühen um ein Sechstel, unreine Tonarten verkleinern ihr Volumen um 20—40 %. Dieser Vorgang findet bei reinem Kaolin ganz regelmäßig statt, so daß ein geglühtes Stück genau die Eindrücke der Form wiedergibt, nur etwas verkleinert. Bei unreinem Ton kann es natürlich Unregelmäßigkeiten geben, wenn die Nebenbestandteile ungleich verteilt sind.

Die geglühte Masse, das Anhydrid, ist nicht mehr plastisch. Es saugt wohl Wasser ein, wird aber nicht knetbar und formbar.

Geglüht oder nicht geglüht, ist das Aluminiumsilikat in hohem Grade widerstandsfähig gegen chemische Einflüsse; abgesehen von der erwähnten Wasserabgabe auch gegen Hitze. Es wird unter den gewöhnlichen Bedingungen des Gebrauchs und der Verarbeitung weder zersetzt noch geschmolzen.

Auch durch lange Behandlung mit Wasser — beim Schlämmen — wird die Plastizität nur erhöht, sonst nichts verändert.

Vorkommen. Aluminiumsilikate sind in der Natur sehr verbreitet, aber selten rein und weiß. Das hängt mit der Bildungsweise zusammen. Diese ist wichtig, weil sich die ganze umfangreiche Benutzung auf die natürlichen Vorkommen stützt. Besondere Darstellung der Aluminiumsilikate gibt es nicht, sondern nur Reinigung nach besonderen Verfahren und Zurichtung für bestimmte Zwecke.

Was die Entstehung in der Natur betrifft, so ist das Aluminiumsilikat gewöhnlich ein Produkt der Verwitterung von »Feldspat«.

Feldspat ist ein Sammelbegriff wie Alaun; man hat z. B.:

Kali-Feldspat, Orthoklas . . . Si_3O_8AlK
Natron-Feldspat, Albit . . . . Si_3O_8AlNa;

Als Hydrat von zwei Atomen Silicium hat man ferner $Si_2Al_2O_9K_2H_2$.

Das letztere ist so aufzufassen, daß Wasserstoffatome in mit Aluminium verbundenen Hydroxylgruppen vorhanden sind:

$$\begin{array}{l} Si \begin{cases} OK \\ O_2 \cdot Al \cdot OH \end{cases} \\ \quad | \\ Si \begin{cases} O_2 \cdot Al \cdot OH \\ OK. \end{cases} \end{array}$$

Diese Wasserstoffatome sind dann auch noch ersetzbar, da Aluminate in der früher erörterten Weise entstehen können. So gibt es kalium- und calciumhaltige und anders zusammengesetzte Feldspate.

Die Feldspate bilden einen Teil der Schicht des Urgebirges, welches unseren Erdkörper umgibt. Das bedeutet zunächst: sie sind in der ganzen Welt sehr verbreitet. Zugleich hängt damit zusammen, daß selten ein Feldspat frei von Beimengungen ist.

Denn an dem Urgebirge nehmen andere Mineralien teil, z. B. Quarz und Glimmer, d. h. Kieselsäure und Silikat, so daß im ganzen Granit, Syenit, Porphyr als Feldspat enthaltende Gesteinsarten anzunehmen sind. Also sehen die natürlich vorkommenden Feldspate sehr verschieden aus: häufig dunkel, auch mit Farbenspiel auf der geschliffenen Oberfläche, wie z. B. der Labrador, d. i. ein gemischter Feldspat, Natrium und Calcium neben Aluminium enthaltend, also dem Hydrat entsprechend.

Alle diese Feldspate sind nun, da sie Alkalimetalle enthalten, nicht so schwer veränderlich wie die Kaoline. Sie schmelzen bei erreichbaren Temperaturen und zwar, wenn sie rein sind, zu klaren Gläsern bei etwa 1400°. In der Tat weicht die Zusammensetzung des Feldspats von derjenigen des Glases nicht sehr ab, namentlich nicht, wenn Calcium und Alkalien vorhanden sind. Es ist daher noch eine Ähnlichkeit vorhanden: die Feldspate werden durch die Einwirkung des Wassers verändert wie Glas. Sie haben sogar die Neigung, Wasser zu binden und zu verwittern. Dieser wichtige Vorgang führt zu Aluminiumsilikaten, natürlich nicht in kurzen Zeitläuften.

Da aber diese Einwirkung seit Jahrtausenden fortgeht, so kommt sie jährlich bei großen Massen von Feldspat zu einem Abschluß, den man durch folgende Gleichung veranschaulichen kann:

$$\underset{\text{Feldspat}}{2\,Si_3O_8AlK} + \underset{\text{Wasser}}{5\,H_2O} = \underset{\text{Ton}}{Si_2O_9Al_2H_4} + \underset{\text{Wasserglas}}{2\,SiO_3HK} + \underset{\text{Kieselsäure.}}{2\,SiO_3H_2}.$$

Dies wird verwickelter, wenn die Feldspate weniger einfach zusammengesetzt sind, bedeutet aber immer eine Spaltung.

Es bestätigt die allgemeine Regel, daß Doppelsilikate, welche Alkalien enthalten, viel veränderlicher sind als alkalifreie. Da nun durch den Vorgang von neuem ein leicht veränderliches Alkalisilikat, ein »Wasserglas« gebildet wird, so kann eine weitere Spaltung hinzukommen.

Im ganzen entsteht also das Aluminiumsilikat unter wechselnden Bedingungen, erstens weil Feldspat verschieden ist und häufig Beimengungen hat, welche sich wieder dem Aluminiumsilikat beimischen, wenn auch Wasserglas als solches in Lösung entführt wird; zweitens weil Wasserglas weiter an Ort und Stelle zerfallen kann, sodaß ein neues unlösliches Produkt entsteht:

$$2\,SiO_3HK = SiO_2 + H_2O + SiO_3K_2.$$

Dann wird die Menge der freien Kieselsäure größer, als die aus der ersten Gleichung schon abzuleitende ist. Andererseits kann die Kieselsäure völlig entfernt werden, wenn sämtliche Produkte der Verwitterung durch Wasser fortgeschwemmt werden und sich an anderer Stelle wieder absetzen. Denn in diesem häufig eintretenden Falle sondert sich alles nach dem spezifischen Gewicht. Die Kieselsäure und auch vieles andere wird vorher abgesetzt; nachher folgt das Aluminiumsilikat, weil es leicht ist.

Daraus folgt, daß sich die reinsten Tonarten auf sekundärer Lagerstätte finden, und daß im ganzen kein Ton dem anderen völlig gleich ist. Man sieht sogar voraus, daß bei den unreineren, gefärbten Arten von Ton sehr große Unterschiede vorhanden sind. Dies erklärt sich aus der Art und Weise ihrer Entstehung.

Danach ist zu sagen: Kaolin ist das reinste natürlich vorkommende Aluminiumsilikat, aber auch dieses enthält meistens Nebenbestandteile. Die Unterscheidung von der großen Zahl anderer, später zu besprechender, für die Praxis sehr wichtiger Tonarten liegt zunächst darin, daß der Kaolin weiß ist oder sich weiß brennt, wenigstens beim Glühen keine braune oder sonstige Färbung annimmt.

Fundorte solcher Kaoline, d. h. von Aluminiumsilikat, welches außerdem Gesteinsrückstände enthält, aber nach zweckmäßiger Reinigung weiß ist und weiß bleibt, sind z. B.:

1. deutsche: Morl, Sennewitz und Trotha bei Halle. Diese liefern den Rohstoff für die Berliner Porzellanmanufaktur. Löthain Seilitz und andere Orte bei Meißen; dort entnimmt die Meißener Fabrik ihren Bedarf. Beide sind durch Verwitterung von Porphyr entstanden und sich im ganzen sehr ähnlich;

2. österreichische: Zedlitz bei Karlsbad in Böhmen; Brenditz in Mähren; Prinzdorf in Ungarn;
3. französische: St. Yrieux bei Limoges;
4. englische: Cornwall für »cornish stone«;
5. China und Japan.

Mit diesen Vorkommen hängen die meisten im Laufe der Zeit berühmt gewordenen Fabriken von Tonwaren zusammen.

Verarbeitung der Kaoline auf Porzellan. In dem besonderen Zweige der Tonwarenindustrie, der Porzellan herstellt, spielt neben dem Kaolin der Feldspat eine große Rolle, wie sich aus folgender geschichtlichen Entwicklung der Sache ergibt.

Die Bezeichnung »Porzellan« wird wohl am richtigsten auf porcella, den Namen einer Muschel, zurückgeführt. Als muschelartige Gebilde (opera porcellanea) erschienen den Europäern bis zum Anfange des 18. Jahrhunderts gewisse aus China kommende, dünne, weiße Tonwaren, die man lange Zeit vergebens nachzuarbeiten versuchte. In China wurden sie schon seit 6—700 Jahren gemacht (vgl. J. J. Rein, Japan nach Reisen und Studien II, 548).

An solchen muschelartigen Produkten läßt sich in der Tat das Wesen des Porzellans am leichtesten erkennen; sie zeigen, von der Oberfläche aus betrachtet, was man sonst nur auf der Bruchfläche erkennen kann, nämlich daß das Ganze aus mehreren Schichten besteht, einer inneren, weißen, schwach durchscheinenden und einer äußeren, die wasserhell und durchsichtig, wie Glas, die innere vollständig, wie ein Mantel umgibt. Auch ist wohl, wie bei Muscheln, die innere Schicht etwas gewellt, so daß man Rippen unterscheidet. Das Ganze ist durchscheinend, so daß man z. B. den Henkel durch die Tasse sehen kann.

Für den Kenner von Tonwaren liegt nun darin, daß eine Ware aus mehreren Schichten besteht, nichts Besonderes; man sagt, sie besteht aus einer Masse, die mit Glasur überzogen ist. Auch ergab die Analyse, woraus beides bestand: im wesentlichen aus Kaolin und aus Feldspat oder wenigstens aus einem Doppelsilikat dieser Art.

Wenn man aber versuchte, Kaolin und ein solches Doppelsilikat nach den Regeln der europäischen Tonwarenindustrie zu einem solchen Produkt zu verbinden, entstand nichts Gutes.

Kaolin schwindet bedeutend, weil das Hydrat in Anhydrid übergeht. Der Feldspat erfährt keine derartige Veränderung beim Schmelzen. Er kann daher dem Schwinden des Tones nicht folgen, sondern bekommt, wenn er auf einer Tonunterlage erkaltet, lauter Risse und Sprünge.

Es war also noch etwas zu finden, nicht etwa das Porzellan selbst — das war bekannt —, sondern ein für seine Herstellung brauchbares Verfahren, und das hat zuerst ein deutscher Alchimist namens Böttcher 1706 fertig gebracht. Seine ersten als vortrefflich anerkannten Erzeugnisse waren braun, da er einen roten Ton von Okrilla bei Meißen benutzte. Sie fielen auf durch ihre Härte und feine Modellierung. Dann ging Böttcher auf weißen Kaolin über und fand die Möglichkeit, diesen mit einer Glasur aus Feldspat zu überziehen, indem er die Stoffe einander etwas ähnlicher machte. Er setzte dem Kaolin etwas Feldspat zu, so daß er plastisch blieb, und dem Feldspat etwas Kaolin, so daß er immer noch eine durchsichtige Glasur lieferte. Dadurch wurden Masse und Glasur physikalisch ähnlicher; die große Verschiedenheit der Ausdehnung und Zusammenziehung verschwand.

Infolgedessen ist es möglich, die Glasur wie einen dünnen Mantel dem in der Hitze schwindenden Porzellan anzupassen, ohne daß die Feinheit der Modellierung leidet, und ohne daß Riße entstehen.

Auf die Erfahrungen Böttchers begründete der Kurfürst Friedrich August im Jahre 1710 die erste europäische Porzellanfabrik in Meißen. Deren Produkte erregten allgemeine Aufmerksamkeit. Sie sind von echten chinesischen nur durch den Fabrikstempel zu unterscheiden.

Einige Jahre später folgte Wien, 1750 Berlin mit der 1763 von Friedrich dem Großen angekauften, noch im Staatsbesitz befindlichen Fabrik, 1774 Sèvres bei Paris.

Alle diese haben nun ihre Besonderheiten bezüglich der verwendeten Masse und Glasur. Namentlich verwenden sie meistens noch ein Kalksalz, d. i. Gips oder Marmor und Kieselsäure, nämlich Quarzsand. Die Zusammenstellung ihrer Rohstoffe zeigt, daß man nicht nur Kaolin und Feldspat verwendet; aber diese beiden sind die wichtigsten Rohstoffe.

Das Gemeinsame ist die Herstellung

1. einer »Masse«, die vorwiegend aus Kaolin besteht und plastisch ist,
2. einer Glasur, die in ihrer Zusammensetzung dem Feldspat nahe kommt; sie schmilzt wie dieser erst bei hoher Temperatur, aber dann zu einem klaren Glase.

Sie wird, was Ausdehnung und Zusammenziehung in der Hitze und in der Kälte betrifft, der Masse so angepaßt, daß keine Risse und Sprünge entstehen.

Besonders einfache Verhältnisse hat die Berliner Manufaktur für dasjenige Porzellan, welches ausgezeichnet ist durch große Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse und gegen Wechsel der Temperatur,

welche nicht nur bei der Herstellung, sondern auch beim Gebrauch in Betracht kommen.

Die Masse besteht aus:

Kaolin $^3/_4$
Feldspat $^1/_4$;

sie ist plastisch und erfährt bei der hohen Temperatur des Porzellanofens nur die erwähnte Verkleinerung der Form, ohne sich zu verbiegen oder sonst zu verändern.

Bei dieser Temperatur schmilzt aber der Feldspat, so daß die feldspathaltige Masse außerordentlich fest und dicht wird. Wie das allmählich zustande kommt, bleibt noch zu erklären.

Die Glasur dieses durch Beständigkeit ausgezeichneten Berliner Porzellans besteht aus Feldspat, Kaolin, Quarz, Magnesia und Marmor. Sie enthält also die wesentlichen Bestandteile eines Glases, und zwar erzielt man durch Abwägen etwa folgendes Verhältnis:

Auf 79 Teile Kieselsäure, SiO_2, enthält die Glasur
21 Teile Tonerde, Al_2O_3, Kalk, CaO, Magnesia, MgO, und Kali, K_2O.

Kali stammt aus dem Feldspat; Magnesia, in geringen Mengen nachweisbar, ist in irgendeinem Gemengteile, ursprünglich wohl als Dolomit vorhanden. Solche Glasur schmilzt zu einem durchsichtigen Glase und ist hinsichtlich der Ausdehnung und Zusammenziehung der »Masse« so ähnlich gemacht, daß keine Risse und Sprünge entstehen.

Weniger einfach ist die »Masse« für Porzellan, wenn es auf künstlerisch zu formende Gegenstände, von denen keine Haltbarkeit bei verschiedenen Temperaturen, keine Widerstandsfähigkeit gegen Säuren und Alkalien verlangt wird, ankommt. Im allgemeinen findet man höhere Plastizität bei Massen von weniger einfacher Zusammensetzung; die Glasur wird ebenfalls den verschiedenen Zwecken angepaßt.

Da nun auch die Berliner Manufaktur nicht nur an chemische Fabriken und Laboratorien liefert, sondern Kunstarbeiten von jeder Art macht, so braucht sie verschiedene Massen und Glasuren, die mehr oder weniger durchsichtig sind.

Es handelt sich also in jeder Porzellanfabrik um die Herstellung von Massen und Glasuren.

Dazu müssen alle Rohstoffe in mehlfeine Pulver verwandelt werden. Während dies bei den härteren Stoffen, namentlich dem Feldspat und Quarz, dadurch bewirkt wird, daß man die groben Stücke im Steinbrecher zerkleinert, dann sortiert und auf Kollergängen mit schweren

Steinwalzen zermahlt, findet für Kaolin ein besonderes Verfahren Anwendung. Ton ist klebrig und wird am besten mit Wasser angerührt, um von groben Beimengungen befreit und in gleichmäßig feine Massen verwandelt zu werden.

Die Reinigung des Tons und die Zubereitung für die weitere Arbeit erfolgt also durch einen besonderen Prozeß, nämlich durch das schon mehrfach erwähnte und bei anderen Stoffen nicht minder häufig benutzte Schlämmverfahren. Dazu dient ein System von Behältern, die aus Zement hergestellt sind; es sind größere und kleinere Behälter, in welche der mit viel Wasser angerührte Kaolin gebracht wird. Er hat die Fähigkeit, eine milchartige Suspension zu bilden, welche auf einer geneigten Ebene weiterfließt, indem sich schwere Beimengungen

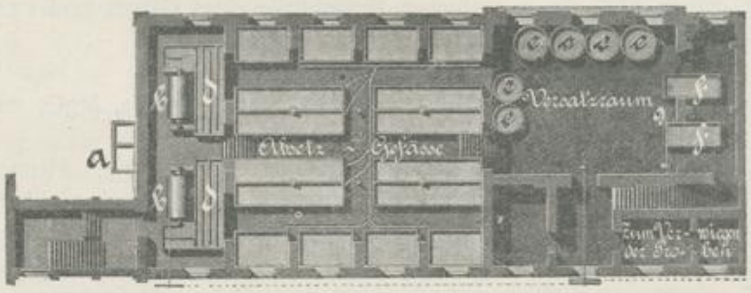

Fig. 89. Kaolinschlämmerei.

a Erdeaufzug; *b* Schlämmtrommeln; *c* Aufgebevorrichtung, *d* gemauerte Rinnen; *e* Vorratsbottiche, *f* Versatzbottiche; *g* Versatzpumpe.

aussondern, ebenso wie ein Fluß die schweren Steine bald absetzt, die suspendierten Teile aber erst, wenn das Wasser zur Ruhe kommt.

Die schweren Beimengungen des Kaolins sind gewöhnlich Kieselsäure, Feldspat usw.. Aber auch Schwefelkies und andere Einschlüsse kommen vor. Alles dies bildet schwere Stücke, die sich bei diesem Verfahren von dem leichten Ton bald trennen. Der Schlämmprozeß ist also ein Trennungsverfahren. Die Entfernung der Beimengungen erfolgt dadurch, daß man die Masse im Wasser völlig verteilt, daß sie durch Trommeln in kräftige Bewegung versetzt wird und dann einen langen Schlangenweg durchläuft.

Das sind die Bedingungen des Schlämmprozesses, der für jede Art von Ton und für viele Mineralfarbstoffe das Hauptreinigungsverfahren bildet. Dabei werden auch lösliche Stoffe mit dem Wasser entfernt. Die erforderlichen Apparate sind nun in der mannigfaltigsten Weise ausgeführt und jedesmal dem besonderen Betriebe angepaßt. Wie wir

aber sahen, daß feine Goldpartikel, die sich infolge des größeren spezifischen Gewichts als Treibsand der Flüsse wohl hätten absetzen können, bis ins Meer verschleppt werden, so kommt es natürlich auch vor, daß Eisenmineralien bis in die Absatzgefäße für Ton mitgehen. Dann brennt sich der letztere nicht weiß, sondern bekommt Flecke. Namentlich wird dies durch Eisenpartikel von den Maschinen veranlaßt. Deshalb führt man die Suspension noch durch Kanäle, in welchen Elektromagnete angebracht sind.

Die »Absitzgefäße« für geschlämmten Kaolin und die ganze Einrichtung der Schlämmerei sieht man auf der Fig. 89.

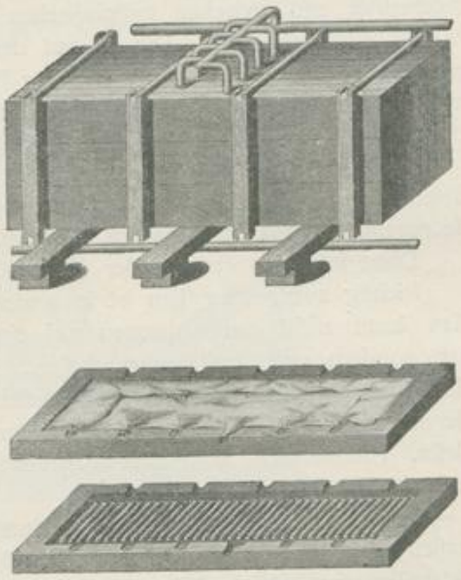

Fig. 90. Filterpresse für Kaolin.

Der so gereinigte, vollkommen gleichmäßig beschaffene Kaolin wird in nassem Zustand unter Umrühren mit Feldspat usw. vermischt, worauf man wieder absitzen läßt.

Im einfachsten Falle sind zu vermischen: drei Teile Kaolin und ein Teil Feldspat zur Herstellung der plastischen Masse für widerstandsfähiges, haltbares Porzellan.

Um dieses Verhältnis richtig zu treffen, wenn beide Stoffe mit Wasser aufgerührt sind, füllt man Flaschen, deren Inhalt bekannt ist, also Maßflaschen, mit der Suspension an, bestimmt deren Gewicht mit Inhalt und berechnet daraus, wieviel Kaolin, Feldspat usw. in einem Liter der Suspension enthalten ist.

Danach wird durch Zusammenfließen das Gemenge hergestellt; eine solche Masse ist dann von der Hauptmenge des Wassers zu befreien.

Ganz trocken darf man die zu formende Masse nicht machen; sie behält ihre volle Plastizität nur, wenn sie feucht bleibt. Sie wird also auf den richtigen Feuchtigkeitsgehalt gebracht. Dazu dienen Filterpressen, d. h. Vorrichtungen, in denen man unter gesteigertem Druck durch widerstandsfähige Tücher filtrieren kann. Meistens haben diese

Tücher die Gestalt von flachen Säcken und besitzen einige Mundstücke. Sie liegen in mehreren, beispielsweise acht Abteilungen eines starken Kastens, und zwar so, daß sie nicht ausweichen können.

Führt man nun die breiige Masse durch die Mundstücke zu und gibt nachher Druck in die zuführende Rohrleitung, so findet die Hauptmenge des Wassers ihren Weg durch die Tücher und fließt ab.

Der Abfluß wird geregelt durch eingeschaltete, mit Rinnen versehene Holzrahmen, die wie alles übrige auf der Fig. 90 zu erkennen sind.

Nachher wird die trockener gewordene Masse mit anderen Tüchern geschichtet und zwischen hydraulischen Pressen so weit entwässert, wie es erforderlich ist. Die so auf den richtigen Feuchtigkeitsgrad gebrachte »Masse«, d. h. eine knetbare Pasta, kann gleich verarbeitet werden. Sie gewinnt aber, vielleicht durch die Arbeit von Bakterien, an Plastizität, wenn sie einige Zeit lagert.

Man bringt sie also in zementierte, geschlossene Kellerräume, in welchen ein weiteres Austrocknen nicht stattfinden kann, und verarbeitet sie regelmäßig erst nach einigen Wochen.

Dann folgt das Formen der »Masse«.

Richtig zubereiteter Ton ist in weiterem Sinne formbar als Gips. Man kann nicht nur abformen auf einer Unterlage irgendwelcher Art, sondern auch freihändig arbeiten. Dadurch wird die Keramik, die Arbeit mit Ton (Κέραμος), eine selbständige Kunst, während die Herstellung der Gipsabgüsse immer nur ein Hilfsmittel der Kunst bleibt. Um so mehr kommt es aber hier auf die richtige Beschaffenheit der mit Ton hergestellten Masse an.

Bevor man dazu übergeht, die durch längere Lagerung einigermaßen veränderte Masse zu formen, muß man sich überzeugen, daß sie vollkommen gleichmäßig ist und keine Luftblasen einschließt. Die Masse wird deshalb durchgeknetet mit Hilfe von Knetmaschinen, wie sie schon bei Herstellung der rauchlosen Pulver besprochen wurden.

Ist die Masse völlig homogen, so walzt man sie in der Regel wieder zu Platten von beliebiger Stärke aus und verarbeitet diese.

Das erste und wichtigste Hilfsmittel des Formers ist die »Drehscheibe« oder Töpferscheibe, ein drehbarer, runder Tisch, dessen Drehung bei der Formung von abzurundenden Hohlgefäßen wesentliche Dienste leistet. Er nimmt nach Bedarf auch die meist aus Gips hergestellten platten Formen auf, auf welchen flache Gegenstände, z. B. Teller, abzuformen sind, nachdem man die Porzellanmasse zu Platten ausgewalzt hat, wie Kuchenteig.

Dieses Hilfsmittel ist für Tonwaren seit den ältesten Zeiten im

Gebrauch, z. B. in Babylonien schon lange Zeit vor Christi Geburt, wie Fr. Delitzsch neuerdings ermittelt hat[1]).

Wenn der Tisch, auf welchen man die Masse gebracht hat, regelmäßig gedreht wird und der Arbeiter seine Hände wie einen Ring um die Masse legt, wird die Masse rund, und sie behält diese Rundung unter Anwendung der gleichen Hilfsmittel, wenn man übrigens Höhlung anbringt, Erweiterung und Verengerung macht. Ferner kann man durch Drehung des Tisches jede beliebige Stelle der Form zu weiterer Bearbeitung vorbringen.

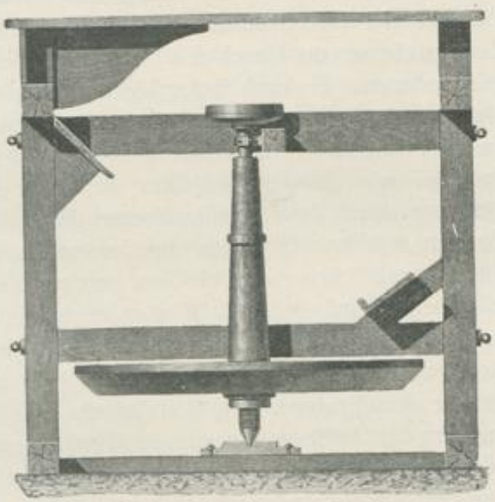

Fig. 91. Töpferscheibe.

Die Töpferscheibe ist also erstens so anzubringen, daß sie sich leicht drehen läßt, und zwar nach dem Belieben des Formers, aber so, daß sie selbst in der Ebene bleibt; zweitens so, daß der Former seine Hände völlig frei behält. Dieser benutzt also entweder einen mechanischen Antrieb irgendwelcher Art, oder er bewegt die Töpferscheibe mit den Füßen. Zu diesem Zwecke ist die Scheibe eingesetzt in einen Holzkasten mit Sitz und hat unten eine Schwungscheibe, die parallel mit der Arbeitsscheibe an senkrechter Welle angebracht ist, wie aus der Fig. 91 hervorgeht.

Man formt also z. B.:

[1]) Vgl. Fr. Delitzsch, Mehr Licht, (Leipzig 1907) 26.

1. eine Kanne aus freier Hand, indem man zunächst eine tiefe Schale bildet und deren Ränder allmählich nach oben zieht bzw. zusammenführt und erweitert. Dabei leistet die regelmäßige Drehung der Scheibe wesentliche Hilfe, weil dadurch die Rundung stets erhalten bleibt, während man die Dimensionen verändert. Dagegen stellt man die Scheibe still, um den Henkel anzusetzen, den Ausguß zu bilden usw.

2. Ein Teller wird »abgeformt«, indem man eine gleichmäßig gewalzte Platte aus Porzellanmasse auf die entsprechende poröse Gipsform, die auf der Töpferscheibe befestigt ist, bringt und sich durch Drehen die Arbeit erleichtert. Der Gips saugt dabei Wasser ab.

Da zwei Stücke der Porzellanmasse sich ohne Schwierigkeit verbinden lassen, so ist ferner der Geschicklichkeit des Arbeiters ein freies und weites Spiel gelassen. Er kann lauter kleine Stücke mit Hilfe von Griffeln, Formen usw. anfertigen, um sie dann zusammenzufügen, so daß Blumen und Verzierungen aller Art entstehen. Verhältnismäßig einfache Hohlgefäße, wie sie der Glasbläser an seiner Pfeife macht, Retorten, Kolben usw. kann der Porzellanarbeiter nicht ohne besonders hergerichtete Formen machen. Diese aus Gips hergestellten Hohlformen bestehen aus mehreren Stücken, wie bei Gips gezeigt.

Die Porzellanmasse wird mit mehr Wasser angerührt, so daß man »gießen« kann, und zwar wird in Formen gegossen, die auseinander genommen werden, nachdem die Hauptmenge des Wassers abgegeben ist, wobei die Porosität der Gipsform ihre Rolle spielt.

Auch kann man mit Hilfe von geeigneten Formen einzelne Stücke machen und diese zusammensetzen, solange die Masse plastisch ist und mehrere Stücke sich verbinden, z. B. zwei Hälften einer Retorte, die genau passen. Alle fertig geformten Gegenstände sind dann zunächst in besonderen Räumen vollkommen lufttrocken zu machen. Nachher erhalten sie den »ersten Brand«.

Wie man zu unterscheiden hat zwischen Masse und Glasur, so sind mindestens zwei Brände, zuweilen noch mehr, hintereinander anzuwenden. Der erste Brand findet bei etwa 900° statt; man kommt dem Schmelzpunkt des Silbers (960°) nahe.

Der zweite Brand findet bei erheblich höherer Temperatur statt, ein dritter oft wieder bei niedrigerer Temperatur. Kurz beim Brennen des Porzellans sind verschiedene und hohe Temperaturen herzustellen. Im ganzen ergibt sich dasselbe Verhältnis wie beim Glase, aber natürlich im einzelnen viel Besonderes.

Zunächst ist über die zu erhitzenden Massen noch folgendes zu bemerken. Die lufttrockenen sowohl wie die einmal gebrannten, die sogenannten »verglühten« Geschirre sind außerordentlich brüchig; man

muß denselben also Halt und Schutz geben durch sogenannte Kapseln. Auch würde die weiße Farbe durch Ruß und Staub leiden, die Geschirre würden bei dem stärkeren Brande sich verbiegen, wenn diese Kapseln nicht geschlossen und der Form angepaßt wären.

Aus diesen Gründen verlangt jedes größere Stück, z. B. jeder Teller, seine besondere Kapsel. Kleinere Grundflächen, wie diejenigen der Untertassen, gestatten ein Zusammenstellen in Zylindern mit Hilfe von »Pinnen«, wobei die Löcher nach dem Einsetzen durch Lehm verstopft werden. Immerhin wird der Betrieb dadurch umständlich und das Verfahren zeitraubend.

Nach dem ersten Brande findet man die Modellierung vollständig erhalten. Die Zusammenziehung hat zwar stattgefunden, aber ohne irgendeinen Schmelzvorgang und deshalb ohne Veränderung, trotz Verkleinerung der in erwähnter Weise vor dem Verbiegen geschützten Form.

Man bezeichnet sie im Betriebe als die »verglühte Porzellanware«. Damit soll nicht etwa etwas Verdorbenes bezeichnet werden. Es gibt aber insofern viel Ausschuß, als diese schwach gebrannten Produkte sehr brüchig sind. Sie haben außerdem eine Eigentümlichkeit, welche sie unbrauchbar macht: sie sind porös wie die Gipsabgüsse und nehmen nicht nur Wasser, sondern auch Öl und mit diesen Flüssigkeiten andere Stoffe in einer durch Waschen nicht zu beseitigenden Weise auf. Den Gegenständen muß also nicht nur mehr Festigkeit, sondern auch eine andere Oberfläche gegeben werden. Das letztere namentlich, die Herstellung einer anderen Oberfläche, macht diesen Abschnitt und die folgenden anderen Brände nötig.

Die größere Festigkeit erzielt man durch stärkeres Glühen. Der zweite Brand erfolgt bei einer Temperatur von etwa 1450°, so daß der Feldspat schmilzt, während der Kaolin unverändert bleibt.

Wenn also, wie angenommen, der Feldspat ein Viertel der Masse ausmacht, so schmilzt dieses Viertel in den Poren der übrigens unverändert bleibenden festen Masse; das Ganze gewinnt Halt und Festigkeit ohne wesentliche Formveränderung und wird dicht auf der Oberfläche. Das ist »Biskuit«, zweimal gebrannte Ware.

Die Schönheit und Dichtigkeit der Oberfläche des Porzellans hat aber auch dieses brauchbare Erzeugnis noch nicht. Dazu kommt man nur, wenn vor dem zweiten Brande die Glasur aufgetragen wird.

Die Glasur schmilzt dann in dem schärferen Feuer, ebenso wie der Feldspat in den Poren der Masse. Infolgedessen überzieht sich die fein modellierte, weiße Ware mit einem durchsichtigen Glase, einem glänzenden, glatten Überzuge; sie wird Porzellan, eine aus mehreren Schichten, aus Masse und Glasur bestehende Ware.

Das Aufbringen der Glasur wird nun gerade dadurch, daß die verglühten Geschirre sehr porös sind und Wasser einsaugen, erleichtert. Bringt man die in Wasser aufgeschlämmte Glasur auf, so wird das Wasser eingesaugt und bleibt eine Glasurschicht haften, die man mit dem Messer oder Nagel ritzen kann.

Um das Geschirr mit Glasur zu versehen, führt man gewöhnlich in die aufgeschlämmte Glasur mit raschem Griffe ein; dann bleiben natürlich die Stellen unglasiert, wo man angefaßt hat. Man faßt deshalb einen Teller von der Rückseite, eine Kanne vom Boden usw. In schwierigeren Fällen, bei sehr feinen und zerbrechlichen Gegenständen kann man auch mit Glasur begießen oder bestäuben.

Die mit Glasur versehenen Gegenstände kommen dann wieder in ihre Kapseln und mit diesen in strengeres Feuer, etwa 1450°. Die Glasurmasse bildet dann, indem sie schmilzt, eine glatte Schicht auf der Oberfläche.

Für beide Arten des Feuers diente früher ganz allgemein eine Ofeneinrichtung, welche als richtiger Vorläufer der Gasfeuerung anzusehen ist und erkennen läßt, wie man auch ohne die neueren Mittel so hohe Temperaturen, wie hier erforderlich sind, herstellen und lange erhalten konnte und kann.

Solche ältere Ofeneinrichtung ist auch jetzt noch für kleinere Betriebe, für Darstellung gewisser Glasuren usw. gebräuchlich. Sie besteht aus mehreren übereinander angeordneten Abteilungen und hat die Eigentümlichkeit, daß die Feuerungen in bestimmter Weise um die unterste Abteilung geordnet sind. Da nun die Luft nur durch diese Feuerungen zutritt, also vorgewärmt wird, so stellt sich tatsächlich in dem unteren Raume eine Gasfeuerung her, weil dort heißes Kohlenoxyd mit heißer Luft zusammentrifft und verbrennt. Der unterste Raum ist der »Scharffeuerraum«; darüber liegt die Verglühkammer. Weiter oben befindet sich eine große Haube, in der schon starke Abnahme der Temperatur zu konstatieren ist; sie dient zum Brennen und Ausglühen der Kapseln.

An diesen Vorläufer schließt sich nun die richtige Gasfeuerung in Form der neueren Porzellanöfen an. Als wesentliche Teile einer solchen Feuerung wurden Gasgeneratoren und Wärmespeicher bezeichnet.

Es ergibt sich nun eine besondere Art der Ersparnis, insofern man nicht nötig hat, Wärmespeicher eigens herzustellen; sie sind vielmehr in diesem Zusammenhange von selbst gegeben, wenn man bedenkt, daß große Massen von Kapseln mit den darin befindlichen Geschirren auf 1000 und 1450° erhitzt werden, und daß man diese Massen nachher abkühlen muß.

Der Ofen selbst, in welchem der Glühprozeß vorgenommen wurde, ist ein großer Wärmespeicher, und es hat kein Bedenken, ihn als solchen zu benutzen, d. h. Generatorgas oder Luft über die Kapselstöße hinzuleiten; denn die Geschirre selbst sind geschützt und werden dadurch in keiner Weise geschädigt.

Natürlich erfordert dies eine besondere Einrichtung. Infolgedessen sieht ein Porzellanofen neuerer Art ganz anders aus wie der Ofen für Glas. Die Grundsätze, nach denen man die erforderlichen Temperaturen herstellt, sind aber dieselben, wie man leicht erkennt.

Um die Wärme der Kapselstöße zum Vorwärmen der Verbrennungsluft zu benutzen, zerlegt man den Ofen in eine Anzahl von Kammern und verbindet jede Kammer in leicht abzusperrender Weise mit den Generatoren, der Luft, den Nachbarkammern und mit dem Schornstein. Der Erfolg ist, daß in jeder Kammer geglüht werden kann, und daß Kammer für Kammer nachher mit anderen derartig verbunden werden kann, daß sie ihre Wärme an Luft oder Gas abgibt, d. h. wie ein Wärmespeicher zur Geltung kommt.

Die Arbeit mit einem solchen Ofen stellt sich daher wie folgt dar.

Wenn einige Kammern durch den fortlaufenden Betrieb heiß geworden sind, stellt man in anderen die erforderliche Temperatur nach den Grundsätzen der Gasfeuerung her.

Im einfachsten Falle geschieht dies so: man entnimmt das Gas unmittelbar vom Generator, also heiß, und läßt die Luft durch Kammern, die durch den Betrieb in Wärmespeicher verwandelt sind, streichen. Heißes Gas und heiße Luft treten zusammen, entzünden sich sofort und geben, was man braucht.

Im weiteren Betriebe läßt sich dies beliebig variieren, auch kann man die Hitze der Verbrennungsgase noch zum Vorwärmen benutzen, statt sie gleich zum Schornstein zu führen.

Deshalb wird das Bild eines richtig für den Betrieb hergestellten Porzellanofens neuerer Art sehr verwickelt. Man sieht an den Kammern viele Einrichtungen für Zutritt und Austritt von Luft, von Gas und von Verbrennungsprodukten. Dies kann nur durch eingehendes Studium einer Beschreibung erkannt werden.

Schließlich ist zu wiederholen, was bei dem Glasofen zuerst gesagt wurde, nämlich daß alle diese Einrichtungen wesentlich besser würden, wenn wir Sauerstoff an Stelle von Luft verwenden könnten. Denn es wird ja sehr viel Wärme unnütz verwendet, um die große Menge des Stickstoffes, die durch den ganzen Betrieb mitzunehmen ist, auf die erforderlichen hohen Temperaturen zu bringen, und die ganze

Anlage würde sehr viel kleiner, wenn man diesen Ballast ausscheiden könnte.

Daß aber auch hier die Bedingungen zur Herstellung und zur Unterhaltung hoher Temperaturen und verschiedener Grade gegeben sind, ist klar.

Tatsächlich wird in den Porzellanöfen die Temperatur von etwa 1450° bis zu einer Dauer von 18 Stunden erhalten. Außerdem kommt die erwähnte Temperatur von 900° und weiter zu besprechende Temperaturen in Anwendung.

Es stellt sich also wieder die Aufgabe, verschiedene Temperaturen herzustellen und natürlich auch zu messen. Was die Messungen betrifft, so ist durch einen deutschen Technologen, Seger, ein großer Fortschritt bewirkt worden durch die Einführung der nach ihm benannten Segerkegel, welche bedeutend leichter anwendbar sind als alle bekannten Pyrometer.

Die Segerkegel bestehen aus Silikaten, deren Schmelzpunkt mit Hilfe aller zur Verfügung stehenden Mittel ein für allemal genau bestimmt ist. Von solchen Silikaten sind nun etwa sechzig verschiedene im Gebrauch.

Man formt daraus Tetraeder von allmählich abnehmender Schmelzbarkeit. Eine richtige Zusammenstellung solcher Tetraeder wird in den Ofen eingesetzt, so daß man sie von außen durch eine Glimmerplatte beobachten kann. Wenn die Hälfte der Tetraeder niedergeschmolzen ist, während die andere Hälfte noch steht, hat man die Temperatur, welche dem Schmelzgrade des zuletzt niedergebogenen Tetraeders entspricht.

Auch ein einzelnes dieser Tetraeder gibt schon einen Anhalt. Man weiß, wenn es niedergeschmolzen ist, daß eine gewisse Temperatur erreicht wurde; aber man ist nicht so sicher, daß sie nicht überschritten wurde wie bei der ganzen Reihe.

Im ganzen hat sich diese Messung so eingebürgert, daß man allgemein sagt, man heizt bis zu Segerkegel Nummer soundso.

Zum Beispiel gibt Nr. 0,22 den Anhalt für das zu besprechende Schmelzen der Porzellanfarben, Nr. 16 für Porzellan und Zement, Nr. 42 für Prüfung der Tonarten auf Feuerfestigkeit, d. h. darauf, daß sie bei den anzuwendenden Temperaturen nicht erweichen.

Auch bei den Porzellanwaren mit Glasur ist die Abkühlung zu regeln wie bei Glas; sie dauert mehrere Tage.

Nach dem Glühprozesse dauert die Abkühlung mehrere Tage. Man begreift also die Schwierigkeit der Arbeit bei älteren, weniger leicht und sicher zu regulierenden Einrichtungen.

Das so hergestellte weiße Porzellan ist, wie aus dem Ganzen hervorgeht, ein aus mehreren Schichten bestehendes Erzeugnis, welches die Feinheit seiner Form der Plastizität des in der Masse enthaltenen Kaolins verdankt, den Glanz und die Festigkeit seiner Oberfläche der Glasur.

Diese Glasur war dem Kaolin bezüglich der Ausdehnung so anzupassen, daß sie keine Risse bekam. Infolgedessen ist die Oberfläche so dicht wie ein geschmolzenes Doppelsilikat.

Sie ist ferner chemisch so unveränderlich wie dieses Silikat und endlich vollkommen unschädlich, wenn etwa mechanisch beim Gebrauche Angriffe erfolgen und kleine Partikel sich den Speisen oder Getränken beimischen. Alles dies ist wesentlich.

Mit der Eigentümlichkeit, aus mehreren Schichten in zwei aufeinanderfolgenden Bränden hergestellt zu werden, ist nun die Möglichkeit von zweierlei Verzierungen verbunden. Ihrem Wesen nach entsprechen die Verzierungen des Porzellans durch Farben denjenigen der Glasmalerei. Sie kommen dadurch zustande, daß farbige Glasflüsse aufgeschmolzen werden.

Man kann aber die Farben aufbringen:

1. auf das poröse, aus dem ersten Brande hervorgehende Geschirr und sie dann mit der Glasur bedecken. In diesem Falle liegt die Verzierung nach dem zweiten Brande unter der Glasur. Sie ist nicht so erhaben, daß man sie fühlen könnte; sie scheint nur durch, weil die dünne Schicht der Glasur durchsichtig ist. An der Widerstandsfähigkeit des Porzellans im chemischen Sinne ist dadurch nichts geändert; denn den äußeren Angriffen steht nach wie vor die Glasur gegenüber. Es ist aber klar, daß nicht alle bei dem Glase anzuwendenden Farben in dieser Weise zu gebrauchen sind. Denn es handelt sich erstens um eine Temperatur von 1400° während längerer Zeit. Dadurch werden viele Farbstoffe verändert oder verflüchtigt. Außerdem wurde das Glas in vielen Fällen selbst durch den Farbstoff gefärbt, und die Glasur ist etwas Ähnliches wie Glas. Sie soll aber klar bleiben, und die farbige Zeichnung soll ebenfalls deutlich bleiben, wenn sie auch etwas an den Rändern ausfließt. In der Tat ergibt sich, daß im ganzen nur wenig Farbstoffe für diese solide Art der Verzierung geeignet sind. Außerdem kann man nun

2. Farben auf das fertige Porzellan bringen und sie anschmelzen wie auf Glas. Dies geschieht dann durch einen dritten, mäßigen Schmelzprozeß in Muffeln und ist leicht durchzuführen. Dabei kommt natürlich eine größere Zahl von Farbstoffen, die mäßige Hitze ver-

tragen, in Gebrauch. Namentlich lassen sich buntere Verzierungen herstellen, weil die Farben bei der mäßigen Hitze nicht ineinanderfließen.

Zugleich aber werden leicht Verzierungen hervorgerufen, deren Widerstandsfähigkeit zweifelhaft ist. Man muß also prüfen. Wenn die Farben in dünner Schicht aufgetragen und gut aufgebrannt sind, so daß man sie nur mit Mühe als besondere Schicht fühlen kann, wird eine mittlere Haltbarkeit zu erwarten sein. Sind sie aber dick und ungleichmäßig aufgeschmolzen, so hat das vielleicht künstlerisch bessere Wirkung und ist für rein dekorative Gegenstände gut. Gebrauchsgegenstände werden aber solche Verzierungen nicht lange unverändert behalten. Ein Teller, der gebraucht und gereinigt wird, gibt schon infolge der Reibung, also auf mechanischem Wege leicht vortretende Teile ab.

Außerdem ist natürlich in beiden Fällen das chemische Verhalten zu beobachten; denn der Schutz durch die Glasur fehlt. Wasser, wenn es heiß ist, Essigsäure und andere Bestandteile der Speisen können auf die Farbstoffe allmählich einwirken. Deshalb liegt ein grundsätzlicher und wesentlicher Unterschied bezüglich der Farben für Porzellan vor.

Man hat erstens Scharffeuerfarben und zweitens Muffelfarben. Die Scharffeuerfarbe par excellence ist das blaue Kobaltsilikat. Es gibt seine Farbe immer in derselben Weise zu erkennen. Man kann es sogar der Porzellanmasse beimischen; der Prozeß des Verglühens hat ebensowenig Einfluß wie derjenige des Aufschmelzens der Glasur; die ganze Platte erscheint unter der Glasur blau, soweit eben die Zumischung stattgefunden hat.

Bei den anderen Farben sind meistens gewisse Einschränkungen zu machen; es gelten aber als Scharffeuerfarben Silikate von Chrom (grün), Eisen (rot bis rotbraun), Mangan (braun), Nickel (olivengrün). Ferner ist Titanoxyd für Gelb zu benutzen, Goldpurpur für Rosa, Iridium sowie Platin für Grau bis Schwarz, auch Uranoxyd für Schwarz.

Viel reicher und glänzender ist die Farbenskala, die man bei niederer Temperatur auf der fertigen Glasur anschmelzen kann, ebenso wie bei der Glasmalerei auf der Glasplatte.

Dazu bedient man sich besonders hergerichteter, kleiner Öfen, der sogenannten Muffelöfen.

Die aus Kapselton gefertigte Muffel (vgl. die Figur 92) hat eine abnehmbare Wand, die nach Einsetzen der bemalten Waren verkittet wird. In der Wand ist eine Glimmerplatte, so daß man hineinsehen kann, und oben ein Abzugsrohr für die durch Verbrennen des Bindemittels der Farben entstehenden Dämpfe.

Die darin vorzunehmenden Brennarbeiten sind völlig unabhängig von der Herstellung des glasierten Porzellans und den dazu erforderlichen Temperaturen. Es handelt sich um einen dritten, vierten usw. Brand, der nur den Zweck hat, die Farben und andere Verzierungen auf der Glasur zu fixieren.

Die Temperaturen bei dem Muffelbetriebe werden also derartig bemessen, daß die Farben richtig anschmelzen, aber nicht geschädigt werden, vielmehr »im Feuer« richtig zur Geltung kommen. Dazu genügen Temperaturen von 600—900°, entsprechend dreizehn verschiedenen Segerkegeln. Dabei halten auch weniger einfach zusammengesetzte Farbstoffe, wie Chromate und Antimoniate, aus. Meistens sind es Borosilikate mit Metalloxyden, d. h. also gefärbte Gläser, die zur Anwendung kommen.

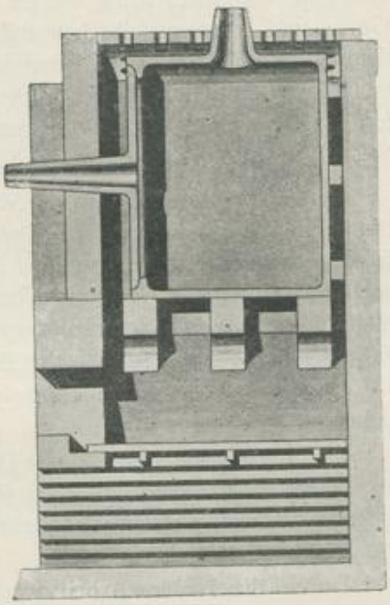

Fig. 92. Muffelofen.

Hauptsächlich entsteht:
Blau durch Kobaltverbindungen,
Grün durch Kupfer und Chrom,
Gelb durch Bleiantimoniat, Titanoxyd, Uranoxyd,
Gelbrot durch Eisenoxyd,
Rot (Pinkfarbe) durch chromsaures Zinnoxyd,
Karminrot durch Goldpurpur,
Violett durch Manganpräparate,
Braunschwarz durch Manganverbindungen,
Schwarz durch Uranoxyd, Iridium (Metall) sowie durch Oxyde von Kobalt, Kupfer, Eisen und Mangan,
Weiß durch Zinnoxyd.

Die Zubereitung der Farben ist eine äußerst sorgfältige. Zunächst schmilzt man zusammen mit Quarz, Borax und Mennige. Dadurch wird ein Bleiborosilikat gebildet und das farbengebende Metall tritt endweder mit in den Bestand dieses Silikats ein, oder es verschmilzt damit zu einer homogenen Masse.

Dann wird diese Masse in ein mehlfeines Pulver verwandelt. Dazu läßt man sie im geschmolzenen Zustande tropfenweise in Wasser fallen, um sie »abzuschrecken«, d. h. mürbe zu machen. Nachher folgt das Pulverisieren in geeigneten Trommeln wie beim Schwarz-

pulver. Doch sind hier sowohl die Trommeln wie die Kugeln aus Porzellan; sie werden in drehbare Behälter gelegt und mit diesen längere Zeit umgetrieben.

Endlich sind die Farbstoffe mit Terpentin oder anderem, ohne Rückstand verbrennenden Bindemittel aufzutragen und in der Muffel zu fixieren; es folgen meistens noch mehrere Brände, indem man die schwerer schmelzenden Farben zuerst aufbrennt, die leichter fließenden nachher.

Eine besondere Rolle bei der Verzierung des Porzellans spielt das Gold, und zwar metallisches mit seiner Naturfarbe, abgesehen von dem durch Goldpräparat erzeugten Rosa oder Purpur. Auch das metallische Gold ist in der Muffel bei mäßiger Temperatur auf dem fertigen, glasierten Porzellan anzubringen, und zwar dienen dazu wesentlich zwei Verfahren.

1. Feuervergoldung. Man bringt das Gold mit geeignetem Bindemittel auf das Porzellan. Dann muß das Metall fein verteilt sein. Es wird entweder mit schwefliger Säure aus Goldsalzen ausgefällt und nachher mit etwa 25 % Quecksilberoxyd verrieben, oder man benutzt Blattgold, d. h. zu dünnen Blättchen geschlagenes Metall. Im letzteren Falle kann man die Abfälle der Buchbindereien benutzen, überhaupt Abfälle, die bei der Verwendung von geschlagenem Golde in anderen Industrien erhalten werden.

Das metallische fein verteilte Gold wird mit völlig verbrennlichen Bindemitteln angerieben, mit dem Pinsel aufgetragen und in der Muffel aufgebrannt. Es erscheint dann zunächst matt und wird mittels Achatstift usw. poliert.

Durch die letztere Arbeit werden die feinen Partikel des metallischen Goldes untereinander und mit dem Porzellan fest verbunden, so daß die sogenannte Feuervergoldung eine dauerhafte ist.

2. Außerdem kann man Goldchlorid, Schwefelgold oder Knallgold mit reduzierenden Mitteln in Terpentinöllösung auftragen und durch Einbrennen auf Porzellan erst die Reduktion des Metalls bewirken. Dies führt gleich zu »Glanzvergoldung«. Die letztere ist aber leichter durch feine Reibung wieder fortzunehmen als die erstere. Sie eignet sich also für rein dekorative Gegenstände, für Vasen u. dgl., aber nicht für Teller und andere Gebrauchsgegenstände.

Dieser Unterschied ist bezüglich der Farben auf Porzellan schon gemacht worden und tritt bei der Vergoldung in den Vordergrund.

Die große Zahl der Farbenverzierungen und der Vergoldungen auf Porzellan ist meistens nach einmal hergestelltem Muster zu verviel-

fältigen; abgesehen von einzelnen Kunstwerken handelt es sich meistens um Dutzende von gleichen Objekten, und zwar:

1. mit einfarbigem Muster, welches im Scharffeuer unter der Glasur eingebrannt wird. Dazu wird das Muster in Stahl graviert, wie früher für Bilder angegeben. Wie dieses Bild auf Papier übertragen wird, indem man eine für Papier passende Farbe in die Vertiefungen der Stahlplatte sorgfältig hineinbringt und dann durch Pressung auf Papier überträgt, so daß ein »Stahlstich« entsteht, so kann von dem Papier auf Porzellan übertragen werden, wenn passende Farben benutzt werden. Dazu ist nur ein dünnes und vollkommen verbrennendes Papier anzuwenden. Mit diesem nimmt man also das Bild auf, welches in eine Stahlplatte, in einen lithographischen Stein usw. eingraviert wurde und mit Porzellanfarbe bedeckt ist. Dann wird das Papier mit der noch feuchten Farbe, z. B. Kobaltsilikat und Terpentinöl, und zwar mit der Farbenseite auf verglühtes Geschirr gelegt und haftet dort gleichmäßig an.

Bei geeignetem Brande, der in einer Muffel vorgenommen wird, verbrennen das Papier und das Terpentinöl oder anderes Bindemittel, während die Farbe genügend am Porzellan haftet, um das Auftragen der Glasur zu gestatten und dann das Scharffeuer zu ertragen, in dem sie blau wird.

So werden Dutzende von Tellern mit genau gleichem Muster angefertigt; so erklärt sich der Vorzug blauer Verzierung.

Ebenso kann man für Muffelfarben und für Gold, das auf der Glasur anzubringen ist, Schablonen und andere Mittel der Vervielfältigung benutzen, photographische Bilder übertragen usw.

Sogar gewisse Fehler des Betriebes haben zu Verzierungen geführt, z. B. der Umstand, daß die Glasur Risse bekommt, wenn sie der »Masse« nicht angepaßt ist. Man kann absichtlich Glasur von abweichenden Ausdehnungskoeffizienten anwenden, dadurch eine gesprungene Oberfläche herstellen, muß diese aber mit glatter Schicht überschmelzen, um »Craquelé« zu bekommen. Ebenso kann man die Farben so leicht schmelzbar herstellen, daß sie etwas ineinander übergehen. Dann entstehen unsichere und phantastische Dekorationen, auch alle Arten von Übergangsfarben, wenn man zweierlei oder mehr übereinander aufträgt: »flammartige« Bilder.

Natürlich sind dies Mittel, die nur bei künstlerisch richtiger Verwendung guten Erfolg haben. Dem Bedürfnis, etwas Neues zu bringen, ist aber, wie aus diesen Andeutungen hervorgeht, auch bei dem Porzellan in mancherlei Weise zu entsprechen.

Auch hier gibt es »Mode«, wie bei Anwendnng von Farbe und Verzierung überhaupt. Diesem Bedürfnis nach Neuem entsprechen auch die kristallinischen Glasuren, welche wie Eisblumen aussehen. Sie werden mit Hilfe von Titanoxyd oder von Zinksilikat hergestellt. Doch ist erforderlich, das Zinksilikat mit oxydierender Flamme auf das fertig glasierte Porzellan aufzubrennen. Dies geschieht in einer Muffel, welcher durch Schamotteröhren beständig Luft zugeführt wird. Man schmilzt solche Glasuren, die vorher fertig gemacht sind, und läßt sie durch feine Öffnungen auf die zu verzierende Vase überfließen.

Das Porzellan ist im ganzen nur ein Beispiel für diejenigen, hauptsächlich aus Aluminiumsilikat bestehenden Produkte, die man Tonwaren nennt. Es ist weder die älteste noch die künstlerisch am meisten vollendete Tonware. Aber es war als Muster voranzustellen, weil bei seiner Darstellung von dem reinsten Ton ausgegangen wird und demgemäß einfache Verhältnisse und bestimmte Regeln den ganzen Betrieb beherrschen.

Auf dieses Muster kann man sich nun beziehen, um einige allgemeine Andeutungen bezüglich der übrigen Tonwaren zu geben. Solche wesentlich aus Aluminiumsilikat bestehende Produkte sind:

1. Gegenstände des allgemeinen Gebrauchs: Mauerziegel, Tonröhren, Töpfergeschirr usw.,
2. künstlerisch geformte Tonwaren: Terrakotta, Fayence, Majolika usw.

Gebrannte Ziegel sind wohl das älteste Erzeugnis dieser Art; man kann deren Herstellung schon in Zeiten, die um viele Tausende von Jahren zurückliegen, annehmen. Auch die künstlerische Verzierung von Tonwaren hat schon im Altertum stattgefunden und im Mittelalter hohe Vollendung erreicht, namentlich in Italien, und zwar in einer von dem Porzellan unabhängigen Weise.

Im ganzen also werden seit langer Zeit aus Ton sehr wichtige und sehr hochstehende Erzeugnisse gemacht.

Der in so vielfältiger Weise benutzte Ton ist meistens von dem Kaolin verschieden. Weißer und sich weiß brennender Ton dient außer für Porzellan nur für Nachahmungen des Porzellans, die weniger hohe Temperatur erfordern, und für andere Verwendung, z. B. für Tonpfeifen, schwach gebrannte, unglasierte, poröse Waren. Der demgemäß mit dem Namen »Pfeifenton« belegte, sich weiß brennende Ton enthält viel mehr Kieselsäure als Kaolin, z. B.:

74 % Aluminiumsilikat,
25 % Quarz,
1 % andere Bestandteile.

Infolgedessen würde er im Scharffeuer weich werden. Man brennt ihn bei bedeutend geringerer Temperatur und erhält natürlich ein weniger festes Produkt als das entsprechende aus Kaolin und Feldspat hergestellte Biskuit, obwohl auch dieses unglasiert ist und sehr ähnlich aussieht.

Auffallender weichen andere Tonarten von Kaolin ab.

Die Hauptmenge des natürlich vorgefundenen und verwendeten Tones ist gefärbt. Er erscheint von Hause aus gelb, rot, braun und schwarz. Dies ist bei der geschilderten Entstehung des Aluminiumsilikats nicht wunderbar und beruht auf Beimengungen, die im Gewicht nicht unbedeutend sind, und die durch Schlämmverfahren oder durch andere Reinigung nicht zu entfernen sind. Sie beeinflussen daher die Eigenschaften des Tons, und zwar namentlich folgende:

1. die Plastizität. Das reine Aluminiumsilikat wird an Bildsamkeit von vielen anderen Tonarten übertroffen. Man kennt besonders plastische oder fette Tonarten, die für künstlerische Arbeit viel geeigneter sind als Kaolin.

Wenn man daher einen Bildhauer modellieren sieht, so wird man nicht finden, daß er mit weißem Kaolin arbeitet, obwohl sein Werk nachher in weißem Marmor auszuführen ist. Er hat grauen, roten oder sonst gefärbten Ton unter den Händen, und dieser enthält außer färbenden Bestandteilen auch schleimige, organische Stoffe, die ihn für das Modellieren besonders geeignet machen.

2. Nebenbestandteile des Tons beeinflussen ferner die Farbe, welche beim Brennen entsteht. Diese hängt davon ab, welches der Grund der natürlichen Färbung ist. Es können schwere Metalle, wie Eisen, als Silikate vorhanden sein, aber auch andere anorganische und organische Stoffe. Danach tritt beim Glühen gewöhnlich Veränderung der Farbe ein, und man sieht erst dann, ob der Ton nur für Produkte, bei denen es auf die Farbe nicht ankommt, zu verwenden ist, oder ob die beim Brennen entstehende Farbe als solche einen Vorzug hat, z. B. für Terrakotta.

3. Außerdem haben die Nebenstoffe noch einen nicht unwesentlichen Einfluß. Der Dichtigkeitszustand und die Festigkeit des Produktes hängen damit zusammen. Kaolin und andere Tonarten, die bei Weißglut nicht schmelzen, nennt man feuerfest. Es gibt aber viele, die bei

hoher Temperatur erweichen und dadurch eine dichte Oberfläche erhalten.

Während die Porzellanmasse durch den ersten Brand bei etwa 900° brüchig und porös wird, so daß etwa 1450° erforderlich sind, gibt es Tonarten (grauer Ton von Klingenberg am Main), die bei 1050—1200° vollständig dicht werden, und andere, die so viel schmelzende Bestandteile enthalten, daß die Masse bei dem ersten Brande nicht bloß dicht wird, sondern auf der Oberfläche schwach glasiert erscheint. Dies ist für viele Verwendungen zweckmäßig. Deshalb wird lehmhaltiger und kieselsäurereicher Ton als solcher gesucht und benutzt, für Hähne u. dgl.

Auch werden gewisse Beimengungen des Aluminiumsilikates beim Glühen so verändert, daß die Anzahl der Moleküle sich verringert und die Masse porös wird. Hat man z. B. ein Gemenge von Aluminiumhydrosilikat und Calciumkarbonat, so schwindet beim Glühen die Anzahl der Moleküle von 7 auf 5, indem Kohlensäure und Wasser entweichen, ohne weitere Einwirkung:

$$5\,Si_2O_9Al_2H_4 + 2\,CaCO_3 = 4\,Si_2O_7Al_2 + Si_2O_9Al_2Ca_2 + 2\,CO_2 + 10\,H_2O.$$

Es entstehen also Lücken. Die Masse bekommt die Beschaffenheit eines Filters und läßt Wasser durch.

Das Beispiel ist absichtlich übertrieben. Es brauchen nicht 7 : 5 Moleküle zu sein, damit der Erfolg eintritt.

Von diesem Erfolge aber macht man von alters her Gebrauch, weil die porösen Behälter, indem sie etwas Wasser durchlassen und zur Verdunstung bringen, den Inhalt lange Zeit kühl erhalten.

Bei Kenneh in Oberägypten findet sich ein solcher Ton, und noch heute werden daraus poröse Wasserkrüge hergestellt, die auf keinem Tisch in Kairo fehlen, ebenso wie sie auf dem Lande seit undenklicher Zeit verbreitet sind. Auch in anderen heißen Ländern ist diese Benutzung eine ganz allgemeine.

Also die Beschaffenheit des Tones, d. h. die Beimengungen des Aluminiumsilikates haben einen Einfluß auf die Plastizität, Farbe und Dichtigkeit, welcher zu bestimmter Benutzung führt und häufig die Glasur entbehrlich macht. Außerdem wird die Glasur auch absichtlich in anderer Weise hergestellt, als beim Porzellan.

Leichter im Feuer erweichende Tonarten können natürlich keine so schwer schmelzende Glasur aufnehmen, wie es der Kaolin tut, und viele gut zu modellierende, aber unschön in der Farbe bleibende Tonarten werden mit leicht schmelzenden, undurchsichtigen und weißen Glasuren überzogen.

Stellt man aber Glasuren her, die bei niedriger Temperatur fertig schmelzen und durchsichtige Gläser bilden, so lassen sich wieder mehr Unterglasurfarben anwenden, wie es z. B. bei dem Weichporzellan geschieht.

Dadurch kommt im ganzen eine große Mannigfaltigkeit der Tonwaren zustande. Um diese kurz zu charakterisieren, ist es am besten zu sagen: Das Porzellan, wie es besprochen wurde, ist eine Tonware, bei welcher Masse und Glasur gleiche Bedeutung haben. Daran schließen sich naturgemäß zwei große Gruppen von Erzeugnissen, die im wesentlichen dieselbe Art von Rohstoffen zur Grundlage haben und in ähnlicher Weise entstehen, an, nämlich:

1. Tonwaren, die gar keine Glasur haben, oder bei denen die Glasur Nebensache ist: Ziegel, Tonröhren usw., die im Großbetriebe unter Benutzung von Maschinen für den allgemeinen Gebrauch hergestellt werden;

2. Tonwaren, bei denen die Glasur und überhaupt Verzierung die Hauptrolle spielen: porzellanartige Produkte, Fayence, Majolika usw.

Zu der ersten Gruppe gehören naturgemäß diejenigen Tonwaren, die man zuerst und mit den einfachsten Mitteln hergestellt hat. Denn die Anwendung von Glasuren setzt schon die Kenntnis von Tonwaren überhaupt voraus.

Die ältesten Baudenkmäler, von denen man nachweisen kann, daß sie aus Ziegeln gemacht wurden, sind in Ägypten aufgefunden. Namentlich ist dies der Belustempel, dessen Altar auf 12000 Jahre geschätzt wird. Die bekannten Pyramiden, z. B. diejenige des Cheops, bestehen aus natürlichen Steinen von bedeutender Größe. An der Pyramide des Asychis aber befindet sich eine Steintafel mit der Inschrift: »Halte mich nicht gering im Vergleich mit den steinernen Pyramiden; denn ich rage vor ihnen hervor wie Zeus vor den Göttern. Mit der Stange in den See stechend, sammelten sie, was von Schlamm an der Stange hängen blieb, strichen Ziegel daraus und erbauten mich auf solche Weise.«

Man sieht also, daß man schon damals passenden Ton auswählte. Man begnügte sich nicht, wie gewöhnlich angenommen wird, mit dem Nilschlamm, sondern verschaffte sich in ziemlich mühsamer Weise geeigneten Ton aus Landseen.

Der gewöhnliche Ziegel ist eine poröse Tonware, die bis zum beginnenden Sintern gebrannt ist und keine Glasur hat. Der dazu benutzte Ton weicht von dem reinen Aluminiumsilikat so weit ab, daß letzteres in günstigen Fällen 75 %, meist aber noch weniger ausmacht.

Die übrigen 25 oder mehr Prozent kommen also sehr in Betracht und sind gewöhnlich Quarz, Feldspat, Kalk- und Eisenverbindungen, sonst auch Glimmer und andere Mineralien, wie Schwefelkies usw. Von diesen wirken Glimmer, Feldspat, Eisenoxyd und Kalk insofern günstig, als sie das Zusammensintern erleichtern, natürlich nur, wenn sie fein verteilt sind und der Menge nach so zurücktreten, daß die Plastizität des Tons nicht beeinträchtigt wird.

Kieselgerölle, grobe Stücke von Calciumkarbonat usw. wirken aber störend, weil sie sich beim Brennen aufblähen, während der Ton schwindet, so daß der Zusammenhalt des Ganzen gelockert wird. Viel Schwefelkies macht den Ton unbrauchbar, weil das Eisensulfid nachher in Eisenvitriol übergeht und auswittert. Solche Auswitterungen entstehen auch, wenn infolge des Vorhandenseins von Chlornatrium Reaktionen beim Brennen eintreten; es können dabei Chlorcalcium, Chlormagnesium und andere hygroskopische Salze entstehen. Diese verhindern dann das Festwerden des Mörtels, halten die Wand feucht und veranlassen die Ansiedlung von Algen und Pilzen, welche durch Fäulnis und Verwesung ungesund wirken.

Man muß also immer die Nebenbestandteile des Tons durch Analyse feststellen. Dann kommt die Frage, ob man korrigieren kann. Das geschieht einerseits durch Zusatz von Sand oder Silikaten, welche den Prozeß des Sinterns erleichtern, andererseits, aber selten, dadurch, daß man verschiedene Tonsorten miteinander vermengt oder grobe Stücke aussondert; auch wohl durch Schlämmen. Allgemein erfolgt die Zubereitung wie beim Porzellan: Durchkneten, bis die Masse völlig homogen ist, und Stehenlassen mit Wasser, wobei Erhöhung der Plastizität wohl durch Mitwirkung von Bakterien erfolgt.

Dann erst beginnt der Prozeß des Formens; dieser erfolgt im Großbetriebe schon lange nicht mehr von Hand, sondern durch Maschinen von mancherlei Art, deren Gemeinsames etwa wie folgt sich darstellt.

Um Ziegel gewöhnlicher Art zu formen, läßt man den Ton, der gleichmäßig durchgeknetet und vorgeschoben wird, aus einer Öffnung von viereckiger Form kontinuierlich vortreten. Es erscheint ein endloser, viereckiger Stab aus Ton, von dem man durch die allgemein anwendbare Schneidevorrichtung, d. h. mit straff gespanntem Draht, einzelne Stücke in Form der Ziegelsteine abschneidet.

Liegen nun mehrere solcher Öffnungen nebeneinander, so lassen sich auch mit jedem Schnitt mehrere Ziegel schneiden.

Die Figur 93 läßt das Hervortreten des Tons und die Art des Abschneidens der Ziegel erkennen. Links oben sieht man vier Ziegel zugleich abschneiden.

Sind in der Austrittsöffnung viereckige Stäbe aus Eisen derartig angebracht, daß sich der Ton um diese formen muß, indem er austritt, so bildet sich ein Stab aus Ton mit Höhlungen, aus dem man Hohlziegel schneidet. Ist die Austrittsöffnung rund, und hat man in derselben einen runden »Dorn«, so schiebt sich eine Röhre vor, die in beliebiger Länge abzuschneiden ist.

Man sieht also, daß einfache Formen, die für den täglichen Gebrauch unendlich oft zu wiederholen sind, alle in dieser Weise entstehen, und zwar sowohl massive wie hohle.

Was nun Ziegel betrifft, so haben alle Maschinen noch etwas Gemeinsames, nämlich die Größe der Formen für die Ziegel. Diese

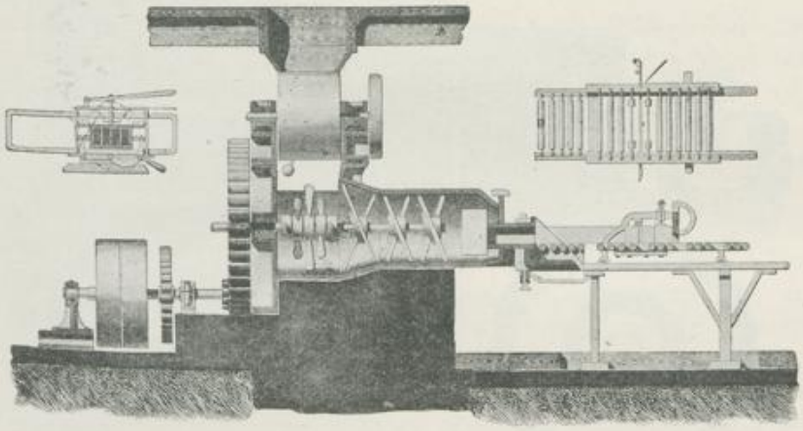

Fig. 93. Ziegelpresse mit Schneideapparat.

sind so bemessen, daß der gebrannte Ziegel in Deutschland »Normalziegel« ist, entsprechend den Maßverhältnissen von 25 : 12 : 6,5 cm. Dadurch bekommt es einen allgemein verständlichen Sinn, wenn man sagt: die Wand ist einen Ziegel (oder Stein) stark, zwei Ziegel stark usw.

Ebenso ausgebildet wie die Formerei ist dann das Brennen der Ziegel. Wie das Porzellan werden alle diese Tonwaren lufttrocken gemacht, bevor man sie brennt. Da sie aber viele Nebenbestandteile enthalten, so bekommen die Ziegel Risse, wenn man sie nachher plötzlich in die hohe Temperatur bringt, welche schließlich für die Sinterung erforderlich ist. Also stellt sich eine neue Aufgabe; die Hitze muß allmählich gesteigert werden. Dies erreicht man durch eine Art von Gasfeuerung in den »Ringöfen«.

Die Ringöfen zerfallen in eine große Anzahl von Abteilungen, 12—20, welche kreisförmig angeordnet sein können. Dies ist für die Erklärung am einfachsten; in Wirklichkeit ist die Anordnung jetzt meist, derjenigen des Porzellanofens entsprechend, eine ovale.

Die Art der Heizung ist diejenige einer Gasfeuerung. Wie aber schon bei dem Porzellanofen die Wärmespeicher nicht nach dem allgemeinen Schema der Gasfeuerung hergestellt waren, so ist hier das gleiche von den Generatoren zu sagen. Bei dem Ringofen hat man

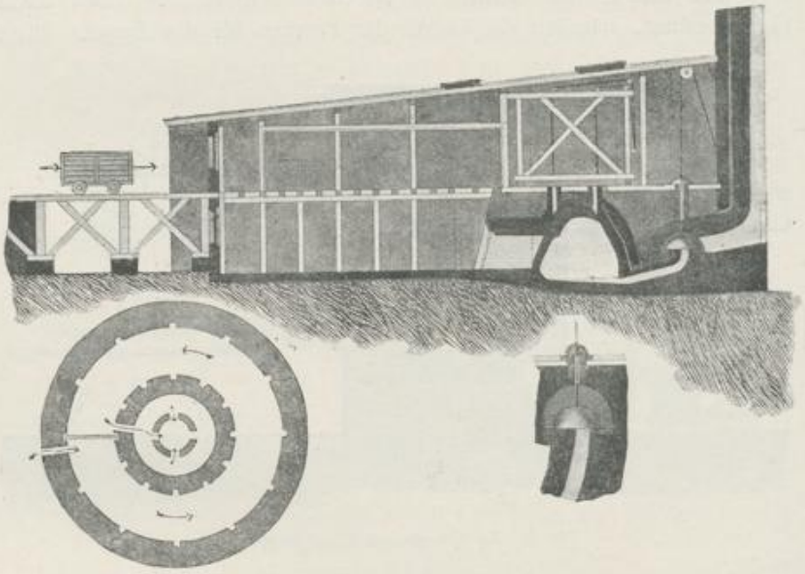

Fig. 94. Ringofen von Hoffmann.

keine besonderen Generatoren, und doch sind die wesentlichen Hilfsmittel der Gasfeuerung in Benutzung: 1. man heizt vor und zwar hauptsächlich die Luft; 2. man verbrennt kohlenoxydreiche Gase, die aus dem Brennmaterial selbst entwickelt werden.

Beides ist nicht mehr nach dem zuerst gegebenen Schema miteinander vereinigt, sondern mit Rücksicht auf den besonderen Zweck — allmähliche Steigerung der Temperatur — in folgender Weise bewirkt.

Sämtliche Abteilungen des Ringofens sind gleichartig gebaut und miteinander verbunden, jedoch so, daß jede einzelne von der anderen durch Papier oder eiserne Schieber getrennt werden kann (vgl. Fig. 94).

Diese Schieber spielen bei dem Betriebe ein große Rolle, weil

während des Betriebes zwar in allen Kammern Ziegel sind, aber Ziegel in sehr verschiedenen Zuständen, was die Temperatur betrifft.

Das Ganze zerfällt demnach in drei Gruppen:

1. die Ziegel sind fertig gebrannt und noch heiß, etwa 800° abgebend an Luft;

2. stark vorgewärmt, so daß sie die Erhitzung auf 1000° ertragen, ohne Risse zu bekommen;

3. lufttrocken, aber noch vorzuwärmen, und zwar durch den Strom der Verbrennungsprodukte.

Ist nun der Schieber niedergelassen vor der Abteilung der heißen, fertig gebrannten Steine und hinter der Abteilung der kalten, lufttrocknen, so verfährt man in folgender Weise:

1. Man öffnet die Tür da, wo fertig gebrannte Steine sind. Die Luft erhitzt sich also, indem sie über die heißglühenden Steine hinstreicht und kühlt die Steine gleichzeitig ab;

2. man streut Brennmaterial ein, wo die Steine schon stark vorgeheizt sind, so daß sie hohe Glut vertragen können, also in den mittleren Abteilungen des Ringofens. Dort werden also bei geringem Luftzutritt kohlenoxydreiche Gase erzeugt und die Steine nun fertig gebrannt;

3. man leitet die Verbrennungsgase über neu eingebrachte, nur getrocknete Steine, so daß diese vorgeheizt werden und die Gase erst dann zum Schornstein ziehen.

Da nun sämtliche Abteilungen ein Ganzes bilden, so finden keine schroffen Übergänge statt, sondern allmähliche Steigerung der Hitze. Das ist das Eigentümliche bald nach Beginn, wenn die fertigen Steine ausgeräumt und neue zum Brennen eingestellt werden. Entsprechend der veränderten Stellung des Schiebers findet nun Einstreuen des Brennstoffs an anderer Stelle und der Abzug der Verbrennungsgase an der nun am weitesten entfernten Stelle statt (vgl. Fig. 94 unten links).

Der Betrieb wird also ein ununterbrochener, der Herstellung eines großen Verbrauchsgegenstandes entsprechend. Man macht in jedem Ringofen täglich Tausende von Steinen fertig, in den größten Ziegeleien mit wenigen Öfen 30—40 000 Steine.

Dabei ist das Maximum der allmählich zunehmenden Temperatur etwa 1000°, und dieses Maximum liegt stets an einer von der Arbeitsöffnung entfernten Stelle.

Von den so hergestellten Ziegeln verlangt man in erster Linie Festigkeit und Dauerhaftigkeit, während die Verzierung nur etwas Nebensächliches ist. Aber die Verzierung ist auf Produkten aus Ziegelton

anzubringen, und dadurch wird der Übergang zu Tonwaren gemacht, die bedeutend höher stehen, obwohl sie immer noch ohne Glasur sind.

Dies sind mit der Hand geformte oder auf Formen abgezogene Tonwaren, die eine gewisse Farbe zeigen, z. B. Terrakotten (Terra cotta bedeutet gebackene Erde).

Der Ton dafür ist sorgfältig geschlämmt und häufig zur Erzielung einer gewissen Farbe besonders hergerichtet; man mischt dunkelbrennenden mit hellbrennendem Ton oder setzt Eisenhammerschlag, Braunstein usw. vor dem Brennen zu, so daß rote und braune Farbe entsteht. Die nach Art des Porzellans geformte und gebrannte Masse liefert nicht nur Figuren und Reliefbilder; sie dient in größerem Umfange für Bauornamente der verschiedensten Art.

Dadurch kommt man schon ziemlich weit. Aber eigentliche Kunstwerke auf dem Gebiete der Keramik kommen erst mit Hilfe von Glasuren zustande. Dieses Hilfsmittel ist also jetzt in eingehender Weise zu bezeichnen.

In der Tat ist beim Porzellan nur eine besondere Art von Glasur, und zwar eine durchsichtige erwähnt; es gibt aber viele und namentlich undurchsichtige, weiße und farbige Glasuren. Undurchsichtige Überzüge machen natürlich die darunter liegende Masse unkenntlich. Während die durchsichtige Glasur des Porzellans Kaolin durchscheinen läßt, bewirkt eine undurchsichtige Glasur, daß die Farbe und Beschaffenheit der »Masse« verschwindet, während die Glasur dem Ganzen ihr Gepräge gibt. Also muß man die Glasuren vor allem in durchsichtige und undurchsichtige einteilen.

Was die erste Gruppe betrifft, so ist neben der Porzellanglasur noch eine durchsichtige zu erwähnen, die zufällig auf dem Ton selbst zustande kommt. Kieselreicher Ton selbst bildet eine Glasur, wenn ihm Alkalien in geeigneter Weise zugeführt werden. Solchem Aluminiumsilikat fehlt ja nur Alkali, damit sich wieder Feldspat bildet, und dieser schmilzt wie ein Glas.

Deshalb bildet man häufig und mit gutem Erfolge eine Glasur, indem man Kochsalz während des Brandes im Ofen aufstreut. Dabei bleibt dann der gelbe und braune Ton erkennbar wie der Kaolin unter der Porzellanglasur.

Anders stellt sich die Sache bei der Anwendung von undurchsichtigen Glasuren. Dann wird der Ton zum Träger einer völlig anders erscheinenden Substanz. Dies geschieht in der einfachsten Weise, wenn man Platten aus gewöhnlichem Ton herstellt und mit weißer oder farbiger Glasur bedeckt. Dann erscheint die so hergestellte »Ofenkachel« wie Porzellan; sie ist aber ihrem Wesen nach etwas ganz

anderes. Dasselbe geschieht, wenn man gewöhnliche, aus geringem Ton geformte Töpferwaren mit irgendeiner farbigen Glasur bedeckt.

Überhaupt sind dadurch zwei Mittel an die Hand gegeben, welche zu einer Wirkung zu vereinigen sind, nämlich erstens die Plastizität des gewöhnlich gelben oder braunen Tons, welche es leicht möglich macht, naturfarbige Form herzustellen und ferner Belebung und Verzierung dieser Form durch Glasuren.

Diese Mittel sind vom Kunsthandwerk und von Künstlern von jeher benutzt. Für das erste geben Beispiele: alte Perlen und Zierrat aus glasiertem Ton, neue Perlen mit Schmelz und Tonplatten mit Muster jeder Art. Höher stehende Kunstarbeiten sind zuerst für den Kultus in gleicher Weise hergestellt worden: Götterbilder und symbolische Figuren, namentlich ägyptischen Ursprungs, mit feiner, aber außerordentlich widerstandsfähiger Glasur, die zum Teil Jahrtausende alt sind. Man erkennt an jeder kleinen Verletzung den plastischen Ton von brauner Erdfarbe, der die Hauptmasse bildet, und es ist festgestellt, daß die feine, harte Glasur aus Kieselsäure, Alkali und einem Oxyd der schweren Metalle (oder mehreren solchen Oxyden) besteht.

Bei diesen alten Arbeiten spielt die Handgeschicklichkeit eine große Rolle. Man nimmt an, daß die feine Schicht der Glasur mit dem Pinsel aufgetragen ist, nachdem man sie mit einem Firnis aus Wachs und Mastix zubereitet hatte.

In der gleichen Weise erklären sich viele künstlerisch hochstehende Arbeiten auf Ton, insbesondere die Glasuren auf Majolika und Fayencearbeiten des Mittelalters. Diese sollen ihre Bezeichnung dem Umstande verdanken, daß sie zuerst auf der Insel Majorka und in der Stadt Faënza in Oberitalien hergestellt wurden — mit einer gewissen Kunstfertigkeit, die Aufsehen erregte.

Sie sind die Typen von Arbeiten auf Ton, die in der ganzen Welt verbreitet sind und zum Teil sehr geschätzt werden. Das Wesen der Sache ist das gleiche; man erkennt auf der Rückseite oder auf dem Bruch den unschönen Ton, dessen Plastizität dem Künstler gedient hat. Darauf sind weiße und farbige Glasuren angebracht, ziemlich mangelhaft als solche, aber mit guter Gesamtwirkung.

Auch ist der gewöhnliche Ton mit einer weißen oder schwach gefärbten Glasurschicht überzogen und dann bemalt, so daß man erst glaubt, Porzellanmalerei vor sich zu haben. Diese Glasuren auf einem schneller erweichenden, nicht feuerfesten Ton sind aber meistens leicht schmelzende und weniger widerstandsfähige als die Feldspatglasur, für welche als Normalbestandteile gelten:

79 Teile SiO_2 (Kieselsäure)

21 Teile $\begin{cases} Al_2O_3 \text{ (Tonerde)} \\ K_2O \text{ (Kaliumoxyd)} \\ CaO \text{ u. } MgO \text{ (Calciumoxyd und Magnesiumoxyd).} \end{cases}$

Das entspricht ungefähr der Zusammensetzung eines Feldspats; eine solche Glasur wird daher richtig als »Spatglasur« bezeichnet. Sie schmilzt sehr schwer und paßt eben nur für eine im Feuer nicht nachgebende Masse, bei Herstellung eines im ganzen sehr widerstandsfähigen Produktes, wie es Porzellan ist.

Macht man eine solche Glasur undurchsichtig, indem man Zinnoxyd oder Calciumphosphat hinzufügt, so schmilzt sie natürlich noch schwerer, allerdings dann zu einem weißen Email. Im ganzen schmilzt sie so schwer, daß sie auf einem nachgiebigen, plastischen Ton zur Herstellung einer Majolikaarbeit nicht anzuwenden ist.

Darin liegt der Grund, weshalb sich neben der Spatglasur viele andere eingebürgert haben. Man hat ja keine Schwierigkeit, leichter schmelzende Glasuren herzustellen. Sobald mehr Alkali und außerdem passende Bleiverbindungen benutzt werden, bilden sich Bleisilikate; diese schmelzen, wie beim Glase gezeigt, ganz leicht, auch indem sie Zinnoxyd usw. aufnehmen. Deshalb sind fast alle neueren Glasuren, die dem Produkt ein gefälliges Aussehen geben, sowohl weiße als farbige: Bleiglasuren.

Diese haben nun eine wesentlich andere Zusammensetzung; z. B. hat eine Ofenkachelglasur:

auf 100 Teile SiO_2 (Kieselsäure)

84 Teile $\begin{cases} 11 \text{ „ } Al_2O_3 \text{ (Tonerde)} \\ 13 \text{ „ } K_2O+Na_2O \text{ (Kalium und Natriumoxyd)} \\ 60 \text{ „ } PbO \text{ (Bleioxyd)} \end{cases}$

und außerdem 34 „ SnO (Zinnoxyd).

Eine solche Glasur mit hohem Alkali- und Bleigehalt ist natürlich lange nicht so haltbar wie die Spatglasur. Dieser Unterschied wird kaum bemerkt bei Gegenständen, die nur den Angriff der Atmosphärilien auszuhalten haben, aber nicht eigentlich gebraucht werden. Es muß schon eine mit Blei überladene oder sonst ganz unrichtig zusammengesetzte Glasur sein, die auf einer fest angebrachten Platte dem Angriff der Atmosphärilien nachgibt, z. B. auf einer Ofenkachel.

Ebenso hat die Sache keine Bedeutung bei Kunstgegenständen, weil man damit vorsichtig umzugehen pflegt. Wohl aber hat die Angreifbarkeit ihre Bedeutung bei Gebrauchsgegenständen, und doch wird

gerade für diese nicht am wenigsten Gebrauch von solchen Glasuren gemacht. Wie man sieht, geben sie einer geringen Tonware das Aussehen von Porzellan. Es liegt also nahe, mit diesem Hilfsmittel Teller und Tassen, überhaupt alle aus Porzellan herzustellenden Gebrauchsgegenstände nachzuahmen.

Das geschieht in größtem Umfange, indem man Pfeifenton, der von Kaolin zu unterscheiden ist, schwach brennt und mit Bleiglasur überzieht. Dies sind leichte Arbeiten im Vergleich mit den für Porzellan auszuführenden; demgemäß erhält man ein minderwertiges Produkt.

Die Täuschung wird dadurch vollständiger, daß man vom Porzellan übernommene Verzierungen anbringt. So kommt die große Masse der porzellanartigen Produkte zustande, die man als Steingut, Steinzeug, Weichporzellan oder Frittenporzellan usw. bezeichnet. Diese Produkte sind erstens brüchiger als Porzellan, weil die Masse anders zusammengesetzt oder nicht so hart gebrannt ist, auch nicht so hell klingt, zweitens chemisch veränderlicher, weil die Glasur, die Verzierung oder beides, viel Alkali und Blei enthält. Infolgedessen werden viele schon durch häufige Wirkung von heißem Wasser verändert, viele durch Essig oder andere, in Speisen oder Getränken enthaltene Säuren.

Auch ist es klar, daß solche Glasur den chemischen Prozessen, die man in Tiegeln und Schalen aus echtem Porzellan ohne Bedenken vornimmt, nicht standhalten würde. Es wird bei höherer Temperatur eine je nach der chemischen Natur der Präparate verschiedene Reaktion auf die ziemlich veränderliche Substanz der Glasur eintreten.

Deshalb ist es zunächst wesentlich festzustellen, wo Blei vorhanden ist; denn als Verzierung kommen bleihaltige Farben auch auf Porzellan vor. Diese Unterscheidung wird dadurch ermöglicht, daß Blei durch Reduktion ausgeschieden wird, wenn man die Bleisilikate erhitzt und Wasserstoff überleitet.

Gegenstände, welche Bleiglasuren haben, werden also bei dieser Probe auf der ganzen Oberfläche dunkel, während nur schwarze Stellen entstehen, wenn mit bleihaltigen Farben Verzierung hergestellt ist. Dann folgt die genauere Untersuchung auf Alkali und Blei.

Mit der Anwendung dieser Bleiglasuren ist auch wohl eine Schädigung verbunden, so daß man bleifreie Produkte »Gesundheitsgeschirr« nennt. Dabei ist jedoch nicht an den Gebrauch zu denken, weil die Menge der jedesmal abgehenden Substanz zu gering ist. Es handelt sich um das Verstäuben der feingepulverten Glasuren bei der Fabrikation. Dies ruft bei den Arbeitern die »Töpferkolik« hervor, wenn das Blei der Glasuren zur Wirkung kommt.

Alles dies drängt auf Verbesserungen hin. Es handelt sich darum, Glasuren anzuwenden, die erheblich leichter schmelzen als Porzellanglasur, die aber kein Blei enthalten und chemisch so beständig sind, daß sie in Apotheken, in Fabriken, im Hausgebrauch bei niederer und höherer Temperatur unverändert bleiben.

Dafür gibt es ein wesentliches, mehr und mehr in Aufnahme kommendes Mittel, nämlich die Anwendung von Borsäure neben der Kieselsäure, z. B. in Form von Calciumborat.

Natürlich muß neben der Beständigkeit ein gutes Aussehen, der sogenannte Schmelz der Glasur erzielt werden; insofern sind die Bleiglasuren nicht ganz leicht zu verdrängen. Es gelingt aber schon bei Anwendung von Borsäure innerhalb folgender Grenzen:

SiO_2 (Kieselsäure)	100 Teile	bis zu		100 Teile	
K_2O (Kaliumoxyd)	4 „			7,5 „	
CaO (Calciumoxyd)	16 „		32 Teile	17,5 „	37,5 Teile.
Al_2O_3 (Tonerde)	12 „			12,5 „	
B_2O_3 (Borsäure)	20 „			12,5 „	

Man sieht also, daß man durch eine gewisse Erhöhung des Alkaligehalts ebenfalls wirken kann. Im ganzen bedarf diese, sehr großer Anwendung fähige Sache noch der eingehenderen Bearbeitung.

Zu den Anwendungen solcher Glasuren gehört auch die Herstellung von Druckkesseln, sogenannten Autoklaven, welche als »emaillierte« bezeichnet werden. Eiserne Druckkessel für die Farbenindustrie, in denen mit Salzsäure, Schwefelsäure usw. gearbeitet wird, sind im Innern mit Glasur überzogen. Dazu wird die Metallfläche mit einer Grundglasur, die aus Borax, Feldspat, Sand, Ton und Magnesia besteht, überschmolzen. Auf dieser ersten Schicht wird dann eine zweite Glasur, die keine Tonerde, aber Zinnoxyd und Calciumphosphat enthält, aufgeschmolzen.

Bei beiden ist erforderlich, was zu Anfang erwähnt wurde, nämlich die Anpassung bezüglich der Ausdehnung in der Hitze und Zusammenziehung in der Kälte. Denn sobald Risse entstehen, hat das Ganze keinen Wert. Die zweite muß außerdem chemisch widerstandsfähig sein, damit man mit Chloriden, die sich in der Hitze spalten, mit Sulfosäuren, mit kaustischen Alkalien usw. arbeiten kann, wie es die heutige Technik verlangt.

Damit schließt die Beschreibung der Silikate.