IV. Glas, Tonwaren, Mörtel und Kunststeine.

Glas, Tonwaren und die meisten zur Mörtelbereitung benützten Stoffe besitzen das Gemeinsame, daß es sich um Verbindungen der Kieselsäure, um Silikate handelt. Die Gläser sind zumeist kalk- oder bleihaltige Alkalisilikate, die Tonwaren bestehen aus kieselsaurer Tonerde, die die Eigenschaft besitzt, sich mit Wasser zu einem bildsamen Teige formen zu lassen, der beim Austrocknen, noch mehr aber beim Erhitzen auf höhere Temperaturen, sich zusammenzieht, „schwindet" und dicht und hart wird. Die Mörtelmaterialien sind teils selbst Silikate, wie die Zemente, und besitzen die Eigenschaft, unter Wasseraufnahme zu erhärten, teils bilden sie mit dem ihnen beigemengten Quarzsande Silikate. Darauf beruht z. B. die Wirkung des bekannten Kalkmörtels. Zur Kunststeinfabrikation benützt man entweder Zemente, denen andere, harte Stoffe, wie Sand, Granitstückchen etc. beigemengt werden und die man unter starkem Druck in Formen preßt, oder das eben erwähnte Verhalten des Ätzkalks zur Kieselsäure (Kalksandsteine). Auch die Zinkoxydchloridmassen und ähnliche Verbindungen, ebenso der Gips gehören in diese Gruppe, obwohl hier die Erhärtung nicht auf der Bildung von Silikaten, sondern von anderen chemischen Verbindungen beruht.

1. Glas.

Die Glasmasse besteht vorzugsweise aus Verbindungen, in denen Kieselsäure an zwei Basen, deren eine ein Alkali ist, gebunden erscheint. Als wesentlichste Bestandteile sind demnach außer Kieselsäure ein Alkali (Kali oder Natron) und Kalk oder Bleioxyd, zuweilen auch Tonerde zu betrachten. Doch wird in manchen Gläsern die Kieselsäure teilweise durch Borsäure oder Fluor vertreten, und neben den genannten Basen kommen auch Baryt, Wismutoxyd, Zinkoxyd, Thalliumoxyd, dann verschiedene zufällige Verunreinigungen, wie Magnesia-, Eisen- und Manganoxyde etc. vor. In den gefärbten Gläsern wird die Färbung durch Zusatz verschiedener Verbindungen anderer Metalle hervorgerufen, die sich in dem Glasflusse auflösen. In neuerer Zeit hat man es übrigens verstanden, durch besondere Zusätze dem Glas bestimmte wertvolle Eigenschaften, wie z. B. Schwerlöslichkeit, geringes Ausdehnungsvermögen, hohes Lichtbrechungsvermögen etc. zu erteilen und so Spezialgläser für gewisse Zwecke zu schaffen.

Das Glas ist durchaus keine chemische Verbindung mit konstanter Zusammensetzung, es ist vielmehr ein Gemenge, in dem Silikate die Hauptrolle spielen. Sie besitzen bei höherer Temperatur, also in geschmolzenem Zustande die Fähigkeit, sowohl weitere Mengen Kieselsäure, als auch Basen aufzulösen und in dieser Hinsicht können wir das Glas schließlich als eine erstarrte Lösung von Kieselsäure und Basen in kieselsauren Salzen auffassen, die mit bestimmten physikalischen Eigenschaften begabt ist. *W. Ostwald* definiert das Glas sogar als eine Flüssigkeit mit sehr großer innerer Reibung, also so großer Zähflüssigkeit, daß sie bei gewöhnlicher Temperatur die Eigenschaften eines festen Körpers besitzt. Für diese Auffassung spricht auch die Tatsache, daß das Glas keinen scharfen Schmelz- und Erstarrungspunkt besitzt, sondern zunächst beim Erhitzen weich und endlich flüssig wird und unter normalen Verhältnissen auch nicht kristallisiert.

Je nach den Eigenschaften und der Zusammensetzung lassen sich verschiedene Glassorten unterscheiden. So dient das leicht schmelzbare *Natronglas*, das neben Kieselsäure und Kalk Natron enthält, zur Anfertigung des gewöhnlichen Fensterglases, der weißen ordinären Flaschen und Trinkgläser usf. Im *Kaliglas*, das bei weitem schwerer schmelzbar ist, ist an Stelle des Natrons Kali enthalten, gewöhnlich enthält es auch mehr Kieselsäure, meist wird es als „*böhmisches Glas*“ bezeichnet. Es ist gegen die Einwirkung von Kohlensäure und Wasser widerstandsfähiger als Natronglas. Die unreinste Glassorte ist das „*Bouteillenglas*“, das neben Kieselsäure, Natron, Kali und Kalk auch Magnesia, Tonerde und Eisen enthält; diese Stoffe stammen aus den zu seiner Darstellung verwendeten unreinen Sandsorten her. Die meist grüne oder braune Färbung wird durch die Gegenwart von Eisensilikaten erzeugt, Eisenoxydulsalze färben den Glasfluß grün, Eisenoxydsalze braun.

Außer den Kalkgläsern werden auch *Bleigläser* angefertigt, in denen das Kalziumoxyd durch Bleioxyd vertreten ist. Sie zeichnen sich durch besonders starken und lebhaften Glanz und hellen Klang aus, besitzen dagegen nur geringe Widerstandsfähigkeit gegen chemische Agenzien. Das sogenannte *Kristallglas* und jene Glassorte, die zur Herstellung von Edelsteinimitationen dient, ist ein Bleiglas. Edelsteinimitationen fertigt man übrigens auch aus Gläsern an, in denen das Blei ganz oder zum Teile durch das ihm nahe verwandte Element Thallium

ersetzt ist. Auch zu optischen Zwecken wird ein Bleiglas, das sich durch hohes Lichtbrechungsvermögen auszeichnet, das sogenannte *Flintglas*, benützt, während eine andere Glassorte, das *Crown-* oder *Kronglas*, als ein besonders reines und farbloses Natronglas bezeichnet werden muß.

Die chemische Zusammensetzung guter Gläser geht aus der folgenden Zusammenstellung von *Weber* hervor. Mit 1, 2 und 3 sind verschiedene Fenstergläser, mit 4 Spiegelglas bezeichnet, 5 ist böhmisches Kristallglas, 6 und 7 Hohlglas, 8 optisches Glas.

	Kieselsäure	Tonerde	Kalk	Magnesia	Kali	Natron	Verhältnis von $SiO : CaO$:
1.	71·23	1·70	16·39	0·20	—	10·78	4·0 : 1 : 0·6
2.	73·35	0·73	11·91	0·71	—	13·12	5·3 : 1 : 0·9
3.	72·66	0·95	15·20	0·25	—	10·94	4·4 : 1 : 0·6
4.	70·58	1·01	16·07	0·80	—	11·77 (*PbO*)	3·8 : 1 : 0·6
5.	74·58	1·23	5·57	0·14	17·90	0·34	12·5 : 1 : 2
6.	72·13	1·41	11·51	—	5·66	10·16	5·8 : 1 : 1
7.	75·23	2·12	8·00	0·03	6·38	8·84	8·8 : 1 : 1·5
8.	70·07	1·02	12·13	0·32	15·03	2·00	5·2 : 1 : 0·85

Als *Rohmaterialien* der *Glasfabrikation* sind alle jene Stoffe anzusehen, welche die im Glase enthaltenen Bestandteile in der größten möglichen Reinheit enthalten. Diese Bestandteile sind vornehmlich Kieselsäure, Natron, Kali, Kalk und Bleioxyd.

Die Kieselsäure, die prozentisch die Hauptmasse des Glases bildet, wird entweder in Form eines reinen Quarzsandes oder als Quarz in die Hütte gebracht und muß in jedem Falle noch einer Aufbereitung unterzogen werden. Quarzsande werden mit Wasser gewaschen und geschlämmt und zum Zwecke der Zerstörung der organischen Substanz und der Überführung von Eisenoxydul in Eisenoxyd geglüht. Quarzstücke werden in Flammöfen geglüht und hierauf in kaltem Wasser abgeschreckt, um sie leichter zerkleinern zu können. Andere Rohstoffe sind Soda, Pottasche, Glaubersalz, Kalk, Flußspat, Borax, Kalisalpeter, Bleioxyd, Zinkoxyd usf.

Aus diesen genügend zerkleinerten Rohstoffen wird die zur Herstellung einer Glassorte erforderliche Mischung, der *Glassatz*, bereitet. Das Schmelzen der Glasmasse geschieht in großen feuerfesten Tongefäßen, den *Hafen*, die gewöhnlich in der Glashütte selbst bereitet werden. Auf ihre sorgsame Anfertigung ist besonderes Gewicht zu legen, damit nicht durch allzufrühes Unbrauchbarwerden Betriebsstörungen und Verluste entstehen.

Auch die *Glasöfen* werden, gleich den Hafen, aus feuerfestem Material aufgeführt, doch stellt man nicht alle Teile gleichmäßig her, sondern berücksichtigt die verschiedenen Temperaturen, denen sie ausgesetzt sind. Die älteren Öfen waren für Holzfeuerung eingerichtet, weil nur diese direkte Feuerungsart die Erzielung eines schönen Glases ermöglicht. Doch wurde die Holzfeuerung durch die Gasfeuerung verdrängt, wobei man jedes Brennmaterial, wie Steinkohle, Braunkohle und Torf verwenden kann. Gleichzeitig wendet man bei den modernen Glasöfen das *Siemens*sche *Regenerativverfahren* an, um die tunlichste Ausnützung der Wärme

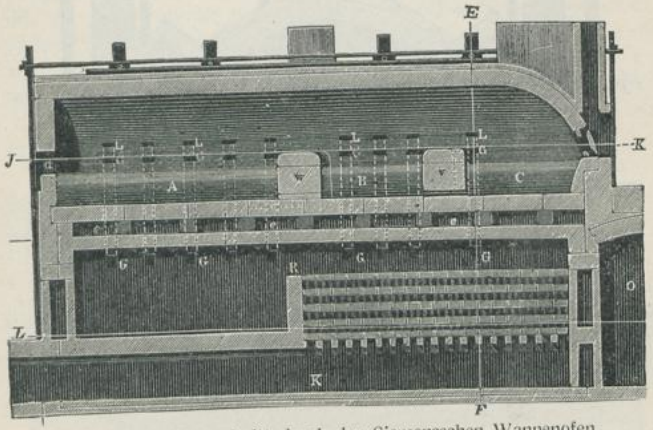

Abb. 61 a. Längsschnitt durch den Siemensschen Wannenofen.

zu ermöglichen. Ein weiterer Fortschritt bestand darin, das Schmelzen des Glases in den Hafen ganz aufzugeben und das Glas unmittelbar auf der zu diesem Zwecke besonders gestalteten Sohle des Schmelzofens zu schmelzen. Dies ist allerdings nur für besondere Fabrikationszweige der Glasindustrie durchführbar, während andere auf die Arbeit aus den Hafen angewiesen sind, deren Inhalt so bemessen wird, daß ein Arbeiter in der Schicht den Inhalt auszuarbeiten vermag.

Den Längs- und Querschnitt durch einen *Siemens*schen ununterbrochen arbeitenden *Wannenofen* zeigt die Abb. 61 *a* und *b*. Die Kammer *Rr* bildet das eine, die Kammer *R'r'* das zweite

Regeneratorenpaar. In den Kammern *RR'* wird das Generatorgas, in den Kammern *rr'* der Luftstrom erhitzt. Das Gas gelangt aus *RR'* durch die Kanäle *G*, die Luft von *rr'* durch die Kanäle *L* durch die Ausströmungsöffnungen in den Ofen, wo die Verbrennung erfolgt. Die Luftausführungsgänge sind hier unmittelbar über den gasführenden Gängen angebracht, wodurch man erreicht, daß die Flamme mehr gegen die Wannenfläche gerichtet wird.

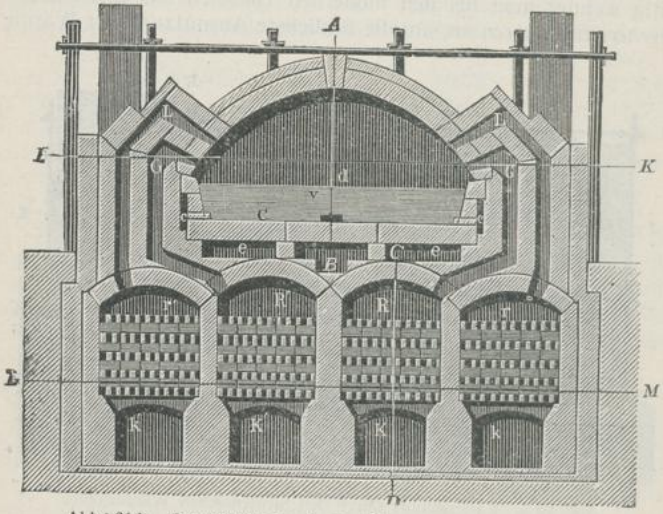

Abb. 61 b. Querschnitt durch den Siemensschen Wannenofen.

Die Kammern *RR'* stehen durch die Leitungen *KK'* mit der Gaszuführungswechselklappe, die Kammern *rr'* durch die Leitungen *kk'* mit der Luftzuführungswechselklappe in Verbindung. Durch den Raum *O* sind die Kammern zugänglich, um Reparaturen ausführen zu können.

Der Raum *A* ist der Schmelzraum, er wird durch das Eintragloch *d* beschickt. Aus dem Schmelzraume gelangt das Glas durch kleine Kanäle *a*, welche die Querwand *w* durchsetzen, in den Läuterraum und von hier durch eine unten an der Sohle befindliche Öffnung in den Arbeitsraum, in dessen Umfassungs-

mauer zehn Arbeitslöcher *c* vorhanden sind. Die Luftkanäle *ee* haben den Zweck, die Außenseite der Wanne abzukühlen, wodurch ihre Haltbarkeit und Dauer bedeutend verlängert wird. Bekommt nämlich die Wanne einen Riß, durch den Glas auszufließen vermag, so kühlt es sich an der Außenseite ab, erstarrt und verschließt den Sprung.

Bei der Bereitung des Glases durch Schmelzen der innig gemengten Rohstoffe findet auch eine chemische Umsetzung statt. Die Kieselsäure verbindet sich mit den Basen, wobei Kohlensäure, bzw. Schwefelsäure aus dem Glaubersalz ausgeschieden wird. Um die freie Schwefelsäure unschädlich zu machen, fügt man Kohle zu, wodurch die Schwefelsäure zu schwefliger Säure reduziert und die Kohle oxydiert wird. Die Gase entweichen aus der Glasmasse, versetzen sie in Wallung und tragen dadurch zur innigen Mischung bei. Der Schmelzprozeß zerfällt in drei Stadien, in die eigentliche Schmelzung, die Läuterung und die Kühlung oder das Abstehenlassen des Glases.

Während der Ausarbeitung des Glases muß die Ofentemperatur gemindert werden, vor Beginn der neuen Schmelze muß daher der Ofen wieder aufgeheizt werden. Erst bis er wieder helle Weißglut besitzt, wird das Glasgemenge in die Hafen eingetragen. Die *Schmelzung* verläuft unter lebhaftem Brodeln der Masse, die schon geschmolzene Masse sinkt zu Boden. Hat die Gasentwickelung nachgelassen und sich eine genügende Menge geschmolzenen Glases angesammelt, so wird neuerdings Glassatz eingetragen und in dieser Weise solange fortgefahren, bis die Hafen nahezu gefüllt sind.

Mitunter erscheint auf der Oberfläche der geschmolzenen Masse eine dünnflüssige, eigentümliche Substanz, die *Glasgalle*, die aus Kali-, Natron- und Kalkverbindungen mit Chlor und Schwefelsäure besteht. Sie wird durch Abschöpfen entfernt oder durch Reduktion mit Kohle „ausgebrannt".

Enthält das Gemenge keine ungeschmolzenen Massen mehr, so schreitet man zur *Läuterung* des Glases. Man läßt den Ofen noch heißer gehen, um die Glasmasse dünnflüssig zu machen. Durch das „*Heißschüren*" entweichen die Gasblasen aus dem Inhalte der Hafen, und er gerät in lebhafte Bewegung, wodurch gründliches Durchmischen der Masse erzielt wird. Mitunter wird auch mit einem grünen Holzscheite umgerührt, um durch das verdampfende Wasser das Aufwallen zu befördern.

Ist endlich das Glas soweit geläutert, daß dem Hafen entnommene Proben keine Blasen mehr enthalten und sich zu reinen, knotenfreien Fäden ausziehen lassen, so folgt das *Abstehen*. Die Ofentemperatur wird gemäßigt, die Glasmasse zäher und dickflüssiger und nun kann mit dem Ausarbeiten begonnen werden.

Fehler des *Glases* können durch unachtsame Leitung des Schmelzprozesses bedingt werden. So besteht das „Wellig- und Ranzigwerden" in dem Auftreten von Bändern und Adern im Glase, das dann auch stellenweise ein anderes Lichtbrechungsvermögen besitzt. Meist ist es auf den Zusatz nicht oder nur schwer verglasbarer Substanzen zurückzuführen oder auf das Abschmelzen von Hafenmasse oder auch zu niederer Temperatur. Das „Blasig- oder Gipsigwerden" wird durch zu hohe oder zu niedere Temperatur während des Läuterns hervorgerufen, „sandiges Glas" enthält kleine, weiße Sandkörner, das „Krätzigwerden" ist auf beginnende Entglasung zurückzuführen. Seit der Einführung der Gasheizung kommen jedoch solche Fehler nur selten vor und lassen sich auch leicht beheben, weil man die Einhaltung der richtigen Temperatur viel besser in der Hand hat.

Zum Zwecke der *Entfärbung der Glasmasse* werden verschiedene Mittel verwendet. Sie kann auf optischem Wege erfolgen, indem man z. B. schwach gelblich gefärbten Gläsern eine Spur blaues Glas zusetzt, wodurch die Farbe rein weiß erscheint, oder durch chemisch wirkende Entfärbungsmittel. Solche sind z. B. Braunstein, Nickeloxydul, Zinkoxyd und besonders arsenige Säure. Sie wird bei Gegenwart oxydierbarer Substanzen in der Glasmasse zu Arsen reduziert, das sich verflüchtigt, doch reduziert sie selbst auch sauerstoffhaltige Substanzen, wie z. B. im Überschusse vorhandenes Mangansilikat, das das Glas violett färben würde, wobei Arsensäure entsteht.

Gefärbte Gläser werden durch Zusatz verschiedener Stoffe (Metalloxyde) erzeugt. Eisen wird verwendet, um billige Gläser grün oder rotbraun zu färben, Mangandioxyd ruft violette, Kupferoxyd blaugrüne, Kupferoxydul blutrote Färbungen hervor. Kobaltverbindungen färben das Glas prächtig blau (Smalte), Chromoxydsalze gelbgrün. Uranoxyd verleiht dem Glase eine prächtige gelbgrüne Fluoreszenz, Uranoxydul färbt es dagegen schwarz, man bedient sich seiner zur Herstellung von Schmelzfarben für die Glasmalerei. Silbersalze, besonders das Chlorid oder das Nitrat, färben Glas gelb, besonders Bleigläser sind zu dieser Art der Färbung geeignet. Das echte *Rubinglas* oder der

Goldpurpur wird durch Goldsalze erzeugt, wobei sich metallisches Gold in feinster Verteilung in dem Glase abscheidet.

Um Gläser undurchsichtig zu machen, wendet man Verbindungen an, die sich nur in geringer Menge im Glase aufzulösen vermögen. Solche sind z. B. Zinnoxyd und Kalziumphosphat, die zur Herstellung des „*Milchglases*" dienen. *Opalgläser* werden mit Fluorkalzium erzeugt, ähnlich verhält sich Kryolith.

Wie schon früher erwähnt, lassen sich die Gläser in Kalkgläser und Bleigläser einteilen. Je nach der Art der Fabrikation, der Form und dem Zwecke kann man diese beiden Hauptklassen des Glases wieder in die folgenden Gruppen trennen:

1. *Kalkgläser:*
   - *a*) Hohlglas. Hierher gehören Flaschen, Becher, Glasröhren, Glasstäbe, Uhrgläser und die gepreßten Glassorten;
   - *b*) Tafelglas (Fenster- und Spiegelglas);
   - *c*) Hartglas, d. i. durch besondere Operationen gehärtetes Glas, Drahtglas etc.
2. *Bleigläser:*
   - *a*) Kristallglas;
   - *b*) Flint- oder optisches Glas;
   - *c*) Straß für Edelsteinimitationen;
   - *d*) Buntglas;
   - *e*) Besondere Erzeugnisse der Glasindustrie, wie Glasperlen, Filigran- und Millefioriglas, Eisglas, Glasmosaik etc.

Die Besprechung der weiteren Verarbeitung der Glasmasse würde uns zu weit führen, doch sei bemerkt, daß man mit Erfolg bestrebt ist, die schwere und unhygienische alte Art der Glasmacherei durch das Blasen an der Pfeife nach Möglichkeit durch Maschinen zu ersetzen. Große Glasplatten werden gegossen, Flaschen etc. mit besonderen Maschinen erzeugt und es ist zu erwarten, daß es binnen kurzer Zeit gelingen wird, die Hand- und Lungenarbeit im weitgehendsten Maße einzuschränken.

Das schon kurz erwähnte *Hartglas* wird durch rasches Abkühlen des heißen Glases hergestellt, indem man es in ein Öl- oder Paraffinbad taucht. Die Härtung beruht darauf, daß sich die oberste Schichte rasch zusammenzieht, doch entstehen dadurch Spannungen im Glase, die sich häufig durch eine geringfügige

Erschütterung oder Verletzung auslösen und zur explosionsartigen Zertrümmerung führen. Von der Erzeugung der Hartgläser ist man daher ganz abgekommen und stellt das *Siemens*sche *Drahtglas* her, wobei in die gegossene, flüssige Glasmasse ein Drahtgewebe eingewalzt wird.

Die gewöhnlichen Gläser besitzen gegen kochende verdünnte Mineralsäuren, selbst schon gegen kochendes Wasser, nur geringe Widerstandsfähigkeit. Sie sind daher für viele chemische Zwecke nicht geeignet, weil Glasmasse bzw. Kieselsäure gelöst wird, auch sind sie gegen raschen Temperaturwechsel sehr empfindlich. Endlich ist auch der hohe Ausdehnungskoeffizient hervorzuheben, der besonders bei Glas, das zur Anfertigung der Thermometerröhren dient, sehr störend wirkt, weil dadurch Fehler in der Anzeige der Thermometer bedingt werden. Dies alles führte zur Herstellung besonderer Gläser, die diese nachteiligen Eigenschaften nicht oder doch nur in sehr vermindertem Maße besitzen. Fast alle diese epochalen Erfindungen sind auf die Arbeiten von *Schott* in Jena zurückzuführen.

So zeichnet sich das *Schottsche Verbundglas* durch eine vier- bis siebenmal größere Widerstandsfähigkeit gegen Druck, raschen Temperaturwechsel, chemische Agenzien etc. aus, wertvolle Eigenschaften, die das *Duraxglas* in noch höherem Grade besitzt. *Jenaer Normalglas* und *Jenaer Borosilikatglas* besitzt die folgende Zusammensetzung:

	Normalglas	Borosilikatglas
Kieselsäure	67·3	72·0
Borsäure	2·0	12·0
Natriumoxyd . . .	14·0	11·0
Kalziumoxyd . . .	7·0	—
Zinkoxyd	7·0	—
Tonerde	2·5	5·0
Manganoxyduloxyd	0·2	—

Beide Gläser sind sehr schwer schmelzbar und besitzen nur einen sehr geringen Ausdehnungskoeffizienten, sie eignen sich daher besonders zur Anfertigung von Thermometern für wissenschaftliche Zwecke. Da das Borosilikatglas selbst Temperaturen von 500° verträgt und der kubische Ausdehnungskoeffizient nur 0·0000177 gegen 0·00003 gewöhnlicher Gläser ausmacht, können die wertvollen Eigenschaften dieses Glases wohl kaum mehr übertroffen werden.

Die Borsäure bewirkt auch eine weit größere Widerstandsfähigkeit der Gläser gegen schroffen Temperaturwechsel, eine Eigenschaft, die besonders für die Zylinder der Auerbrenner wichtig ist, auch das für chemische Zwecke vorzüglich geeignete *Jenaer Geräteglas* ist ein Boratglas. Endlich wurden auch Spezialgläser für elektrische Isolation, die alkalifrei sind und Gläser mit besonders großer Durchlässigkeit für ultra-violette Strahlen hergestellt. Diese kommen für Röntgenlampen und für Quecksilberlampen in Betracht; durch besonders hohe Durchlässigkeit zeichnet sich das *Zschimmersche Jenaer Uviolglas* aus.

Wasserglas ist eine in Wasser lösliche Glassorte, und zwar Natron- oder Kaliglas. Seine Darstellung kann auf verschiedene Weise erfolgen, entweder durch Verschmelzen von Kieselsäure und Pottasche oder durch Behandlung von Kieselsäure mit Kali- bzw. Natronlauge unter Druck. Die Schmelze ist in Wasser löslich, leitet man in die Lösung Kohlensäure ein, so wird gallertartige Kieselsäure gefällt. Darauf beruht die wichtigste Anwendung des Wasserglases zur Imprägnierung von Kunststeinen und zur Imprägnierung feuergefährlicher Gegenstände, die Ausfällung der Kieselsäure erfolgt hier durch die Kohlensäure der Luft.

Kieselsäureglas, und zwar sowohl undurchsichtiges, wie durchsichtiges, wird durch Verschmelzen von reinem Quarz (Bergkristall) hergestellt. Seiner enormen Widerstandsfähigkeit wegen findet es immer ausgedehntere Anwendung in der Industrie, besonders seit man gelernt hat, auch große Gegenstände, wie Röhren, Schalen, Muffeln usf. aus diesem Materiale herzustellen. Über die Methoden ist fast nichts bekannt, jedenfalls sind zur Schmelzung sehr hohe Temperaturen nötig, die auf mindestens 2000° zu veranschlagen sind.

Email, das zur Verzierung von Metallgegenständen dient (Goldschmiedeemail), jedoch in ausgedehntem Maße auch zur Herstellung schützender Überzüge auf Metallgegenständen, wie Gußeisen etc., verwendet wird, ist meist ein leicht schmelzbares Glas, das durch besondere Zusätze, wie Zinnoxyd, Knochenasche etc. undurchsichtig gemacht wurde und außerdem, wenn erforderlich, noch Metalloxyde als färbende Zusätze erhält. Man trägt die auf das feinste gepulverte Emailmasse auf dem Gegenstande auf oder trägt sie in Vertiefungen (Zellenschmelz, Email-cloisonné ein, worauf die Masse in Muffelöfen geschmolzen wird.

2. Tonwaren.

Die Verarbeitung des in der Natur vorkommenden Tones, der kieselsauren Tonerde, ist die Aufgabe der keramischen Industrie, wobei je nach dem angewendeten Verfahren und der Reinheit des Materiales die verschiedensten Erzeugnisse erhalten werden. Die gewöhnlichen Backsteine, die Mauerziegel sind ebenso keramische Erzeugnisse, wie die feinsten Porzellangegenstände.

Der *Ton* bildet eine Gruppe von Körpern, die wohl alle aus einem und demselben Material, aus dem Feldspat durch Verwitterung entstanden sind. Die Grundsubstanz bildet immer die kieselsaure Tonerde, die großen Unterschiede, die z. B. zwischen einem Ziegelton (Lehm) und der besten, weißen Porzellanerde bestehen, werden nur durch Beimengungen, wie Eisenoxyd, kohlensauren Kalk, Sand, Gesteinstrümmer etc. hervorgerufen. Die *Verwitterung* der Feldspate, als deren Produkt die Tone resultieren, beruht darauf, daß die Feldspate, die aus kieselsaurer Tonerde in Verbindung mit Alkalisilikaten bestehen, durch Wärme und Kälte in ihrem Gefüge gelockert werden. In die feinen Risse und Sprünge dringt Wasser ein, das im Vereine mit Kohlensäure die weitere Zersetzung bewirkt, wobei die kieselsauren Alkalien gelöst und fortgeführt werden und Tonerde hinterbleibt. Wird dann der Ton von fließendem Wasser fortgetragen, dabei mit anderen Mineralien gemengt und schließlich abgelagert, so entstehen die verschiedenen, mehr oder minder reinen Varietäten, in denen die Tonerde in der Natur vorkommt.

Die reinste Sorte von Ton führt den Namen „*Porzellanerde*“ oder „*Kaolin*“ und bildet eine weiße, leicht zerreibliche und an der Zunge haftende Masse. Je nachdem nun die Tonerde in größeren oder geringeren Mengen andere Substanzen beigemengt enthält, entstehen die unreinen Sorten, wie Ton, Lehm, Löß usf., die sich sowohl hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung, wie der physikalischen Eigenschaften wesentlich voneinander unterscheiden. Doch sind für die Bearbeitung des Tones die physikalischen Eigenschaften fast wichtiger als die chemischen, denn sie bestimmen die Eignung eines Tones für die verschiedenen Zweige der Keramik.

Als wichtigste *physikalische Eigenschaften* sind die Bildsamkeit und die Schwindungsfähigkeit zu bezeichnen. Die *Bildsamkeit* oder *Plastizität* ist jene Eigenschaft, durch welche der mit Wasser vermengte Ton eine teigartige Masse bildet, die sich formen läßt.

Die *Schwindungsfähigkeit* bedingt, daß eine mit Wasser zu einem Teige angemachte Tonmasse während des Austrocknens, noch mehr aber durch das Brennen ihr Volumen vermindert, sich stark zusammenzieht und dabei fest, dicht und hart wird. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß die Tone bei hohen Temperaturen das chemisch gebundene Wasser verlieren, gleichzeitig werden auch die chemischen Eigenschaften verändert. Während z. B. ungebrannter Ton durch Behandlung mit Schwefelsäure unter Abscheidung der Kieselsäure aufgeschlossen wird, wird gebrannter Ton durch Säuren nicht mehr verändert. Auch Farbenveränderungen sind oft mit dem Brennen verbunden, die rote Farbe, die viele Tone nach dem Brennen zeigen, ist auf einen Gehalt an Eisenoxydul oder Eisenoxydulhydrat zurückzuführen, das durch das Brennen in Eisenoxyd übergeht.

Ganz reine Tonerde widersteht selbst hohen Temperaturen und kann daher praktisch als „feuerfest" bezeichnet werden. Ein Gehalt an Kieselsäure bewirkt schon eine gewisse Schmelzbarkeit, dagegen sind Tone, die Kalk enthalten, sehr strengflüssig. Ist aber neben Kalk noch Quarzsand vorhanden, so nimmt die Schmelzbarkeit wieder zu. Es bildet sich dann bei genügend hohen Temperaturen eine Verbindung, die ihrer Zusammensetzung nach einem Glase mit sehr hohem Schmelzpunkte gleicht und aus einem Doppelsilikate aus kieselsaurer Tonerde und kieselsaurem Kalk besteht.

Nur in seltenen Fällen ist der Ton in dem Zustande, wie er sich in der Natur vorfindet, für keramische Zwecke, besonders zur Herstellung besserer Erzeugnisse, brauchbar. Meist erhält er, abgesehen von der mechanischen Bearbeitung, gewisse Zusätze, durch die sowohl seine physikalischen Eigenschaften, als auch sein Verhalten bei höheren Temperaturen beeinflußt werden. Nicht plastische Substanzen, die „*Magerungsmittel*", werden dem Tone deshalb zugemengt, um entweder einen sehr „fetten" Ton minder bildsam, magerer zu machen, oder um ihm eine größere Feuerbeständigkeit zu erteilen. Als *Magerungsmittel* benutzt man gewöhnlich Kieselsäure, Schamotte, Scherben von Tongefäßen, Ziegelmehl, Steinkohlenasche, Magnesia, Graphit, Holzkohle usf. Die Zugabe von Kieselsäure hat oft auch den Zweck, einem kieselsäurearmen Ton jene Menge zuzuführen, um ihn bei höherer Temperatur zum Sintern zu bringen. Schamotte ist gebrannter, feuerfester Ton, der wieder in feines Mehl verwandelt wurde.

Der Zusatz von „*Flußmitteln*“ bezweckt, die Tonmasse minder porös zu machen. Wird nämlich reiner Ton gebrannt, so entsteht eine poröse Masse. Fügt man dagegen dem Ton einen Körper bei, der bei hohen Temperaturen in der Weise zersetzend auf die kieselsaure Tonerde einwirkt, daß eine schwer schmelzbare, frittende oder sinternde Masse entsteht, so erhält der Ton durch das Brennen ganz andere Eigenschaften. Die Tonteilchen werden durch das Flußmittel gewissermaßen verklebt und die Porosität verringert. Als Flußmittel kommen die verschiedensten Stoffe in Betracht; in der Keramik werden z. B. verschiedene Feldspatvarietäten, Granit, Granitstaub, dann Kalk, Kreide, Mergel, Gips, Knochenerde, Phosphorit, Speckstein, Magnesit, endlich Hochofenschlacken bestimmter Zusammensetzung, Eisenerze, Eisenhammerschlag usf. verwendet.

Alle Tonwaren sind mehr oder minder porös; um ihnen die Porosität vollständig zu nehmen, werden sie mit *Glasuren* überzogen. Die Glasuren sind Massen, die große Ähnlichkeit mit dem Glase besitzen; man kann sie daher auch als Gläser ansehen, deren Zusammensetzung und Schmelzbarkeit jenen Massen angepaßt ist, die glasiert werden sollen. Durch die Glasur soll jedoch oft auch die natürliche Farbe des Tones verdeckt und ihm ein gefälliges Aussehen erteilt werden, auch kunstvolle Verzierungen werden mittels der Glasuren hervorgebracht, zu welchem Zwecke man sie mit verschiedenen Metalloxyden färbt.

Soll eine Glasur haltbar und dauerhaft sein, so muß sie womöglich das gleiche Ausdehnungsvermögen besitzen, wie die darunter liegende Tonmasse. Man kann im allgemeinen zwei Arten von Glasuren unterscheiden, die bleifreien Alkali- und Alkali-Erdenglasuren und die bleihaltigen Glasuren, die entweder nur aus kieselsaurem Blei bestehen oder neben diesem noch Borsäure, Alkalien, Zinnoxyd, Antimonoxyd etc. enthalten und sich hinsichtlich der Zusammensetzung und den Eigenschaften den Emails nähern.

Die *Alkaliglasuren* sind gewissermaßen Natrongläser, die kieselsaure Tonerde enthalten und dadurch zu den schwer schmelzbaren und widerstandsfähigen Glassorten gehören. Auf Steinzeuggegenständen lassen sich solche Glasuren durch ein sehr einfaches Mittel hervorbringen. Man wirft, sobald sich die Geschirre im Ofen in starker Glut befinden, Kochsalz in den Ofen. Es verdampft und der Dampf wird in Berührung mit der Kieselsäure der zu glasierenden Gefäße in der Weise zerlegt, daß

kieselsaures Natron entsteht, das sich mit einem Teile der vorhandenen kieselsauren Tonerde zu einem Doppelsilikate, also zu einem Glase vereinigt. Auch schwefelsaures Natron kann als Glasurmittel dienen, dunkelfarbige Glasuren werden durch Mengen von Soda oder Pottasche mit Basaltmehl dargestellt usf.

Die *Erdalkaliglasuren* enthalten neben Alkalisilikaten und kieselsaurer Tonerde auch noch kieselsauren Kalk. Sie zeichnen sich besonders durch ihre Widerstandsfähigkeit gegen chemische Agenzien, sowie durch die Schwerschmelzbarkeit aus. Vorzugsweise werden sie zum Glasieren von hartem Porzellan verwendet und aus Quarzmehl, Kaolin, Feldspat, Gips und Porzellanmehl bereitet.

Die *Bleiglasuren* sind verhältnismäßig leicht schmelzbar, doch auch wenig widerstandsfähig. Zu ihrer Darstellung dient entweder gemahlener oder geschlämmter Bleiglanz oder Mennige, auch Bleiweiß wird verwendet. Häufig setzt man den Bleiglasuren auch noch Zinnoxyd oder Antimonoxyd zu. Man erhält dadurch Bleinatron- oder Bleialkaligläser, in denen das Zinnoxyd oder Antimonoxyd in sehr feiner Verteilung eingelagert ist und die Undurchsichtigkeit und die weiße Farbe der Glasurmasse bedingt. Solche Glasuren werden häufig angewendet, um Tongegenständen aus gelbem oder dunklem Material ein gefälliges Aussehen zu erteilen, die bekannten weißen „Kachelöfen“ sind meist mit solchen Glasuren versehen. Ihres Bleigehaltes wegen sind sie jedoch zum Glasieren von Tonwaren, die zu Speisezwecken dienen sollen, nicht geeignet.

Hecht teilt die Tonwaren nach der Beschaffenheit des „Scherbens“ folgendermaßen ein:

I. *Poröse Tonwaren.* Scherben saugend, an der Zunge haftend, porös; Bruch erdig.

1. Der Scherben ist wenig klingend; glasiert oder unglasiert:
   a) leichtflüssig: Mauerziegel.
   b) schwerflüssig: feuerfeste Fabrikate.

2. Der Scherben ist ziemlich klingend, gelblich bis rötlich und leichtflüssig:
   a) Glasur undurchsichtig oder durchsichtig: Töpferware, unglasiert Terrakotta;
   b) Glasur undurchsichtig, weiß oder gefärbt: Zinnglasur oder ordinäre Fayence.

3. Der Scherben ist ziemlich klingend, weiß oder nahezu weiß und schwerflüssig:

a) Steingut, feine Fayence.

II. *Dichte Tonwaren.* Scherben nicht mehr saugend, sondern geschlossen, d. h. gesintert, dicht; Bruch muschelig.

1. Der Scherben ist nicht weiß und fast nicht durchschimmernd, bzw. nicht durchscheinend:

a) Unglasiert: Wedgwood, Klinker usf.;
b) glasiert: Steinzeug.

2. Der Scherben ist weiß und durchscheinend, glasiert oder unglasiert:

a) Biskuitporzellan;
b) Weichporzellan;
c) Hartporzellan.

Die *Mauerziegel* werden aus verhältnismäßig unreinem Ton, dem Lehm, angefertigt. Ehe er verarbeitet werden kann, muß er einer mechanischen Bearbeitung unterzogen werden, die im Schlämmen und Homogenisieren besteht. Dies geschieht mittels Knetmaschinen, den *Tonschneidern*, die eine ähnliche Einrichtung besitzen, wie die zur Formung des Torfes benutzten „Torfformmaschinen" (s. d.). In den Ziegelpressen wird der Lehm dann entsprechend geformt, z. B. zu Ziegeln, Drainröhren, Dachfalzziegeln usf. und dann nach dem Trocknen an der Luft gebrannt, was meist in den modernen *Ringöfen* geschieht. Diese bestehen aus einem elliptischen Kanale ohne Ende, der durch zahlreiche Heiztüren zugänglich ist, in Zwischenräumen führen Kanäle nach dem Schlote, um die Feuergase abzuleiten. Die gewölbte Decke dieses Kanales ist an vielen Stellen durchlöchert, diese Öffnungen sind mit eisernen Glocken überdeckt. Man schichtet nun die zu brennenden Rohziegel in einem Teile des Ofens auf, wirft durch die erwähnten Öffnungen in der Decke Brennmaterial ein und entzündet es. Durch die Hitze werden die Ziegel gebrannt, gleichzeitig führt man die abziehenden heißen Gase durch den folgenden Teil des Ofens, der ebenfalls schon mit ungebrannten Ziegeln gefüllt ist. Sie werden dadurch vollständig trocken und langsam vorgewärmt. Sind endlich die Ziegel in der ersten Abteilung gargebrannt, so füllt man Brennmaterial in die nächste Abteilung, leitet das Feuer zu diesem usf. Mithin wird immer eine Partie der Ziegel gebrannt und eine andere vorgewärmt,

derart, daß das Feuer im Ofen weiterrückt und nach einer gewissen Zeit wieder an dieselbe Stelle zurückkehrt. Ist die mit gargebrannten Ziegeln gefüllte erste Abteilung erkaltet, so wird sie geöffnet und ausgeräumt, um, sobald die Reihe wieder an sie kommt, neuerdings gefüllt zu werden. Eine andere Ofenkonstruktion ist z. B. der *Bock*sche Kanalofen, wobei das Brenngut auf Wagen langsam durch den Ofen geführt wird und endlich an die heißeste Stelle gelangt.

Feuerfeste Tonwaren müssen meist neben der Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen auch gegen chemische Einflüsse widerstandsfähig sein. Man stellt sie aus Ton her, dem man verschiedene Magerungsmittel, wie Schamotte, Quarzsand etc. zufügt, nach dem innigen Mischen mittels des Tonschneiders werden dann die Stücke bei sehr hohen Temperaturen gebrannt.

Gewöhnliche Töpferware und *ordinäre Fayence* unterscheidet sich von dem Steingute, der feinen Fayence, eigentlich nur dadurch, daß diese aus einem sich weißbrennenden Tone hergestellt wird, während man für ordinäre Fayence und gewöhnliche Töpferwaren einen Ton verwendet, der auch nach dem Brennen eine gelbe bis rötliche Farbe behält.

Auf die Herstellung des *Steingutes* wird sowohl hinsichtlich der Rohstoffe, als auch der Glasur viel mehr Sorgfalt verwendet, als bei der gewöhnlichen Töpferware. Die Massen werden aus gut geschlämmtem Ton nebst Kalk und Quarzsand hergestellt. Der bedeutende Kalkgehalt, meist 10 bis 20%, macht die Masse leicht schmelzbar, die Formgebung geschieht auf der Töpferscheibe oder in Formen. Auch wird Steingut immer zweimal gebrannt, und zwar ist der erste Brand, der *Verglüh-* oder *Schrühbrand*, dazu bestimmt, die eigentliche Geschirrmasse zu brennen, während bei dem zweiten, dem *Glattbrand*, die Glasurmasse aufgeschmolzen wird. Da das Verglühen geringere Hitze benötigt als der Glattbrand, so wendet man meistens Öfen mit zwei Geschossen an, wobei im oberen Geschosse, das durch Öffnungen, durch die die Feuergase streichen können, mit dem unteren in Verbindung steht, das Verglühen ausgeführt wird. Soll Steingut mit feineren, künstlerisch ausgeführten Glasuren versehen werden, so werden diese in feuerfesten Kapseln eingebrannt, um die Ware vor der Berührung mit der Flamme oder dem Anfliegen von Asche zu bewahren.

Die unglasierten Steinzeugwaren, *Wedgwood* und *Klinker*, werden aus einem fetten, ziemlich feuerbeständigen Tone, der sich

nahezu weiß brennt, verfertigt. Zur Herstellung der Klinkerplatten verwendet man kräftige Pressen, welche die Masse stark verdichten. Die farbigen Ornamente werden in der Weise erzeugt, daß man mit Schablonen Metalloxyde oder Tone aufträgt, die sich farbig brennen. Sehr häufig „engobiert" man auch die Masse, d. h. man taucht sie in feineren Ton, um der Oberfläche eine bessere Beschaffenheit zu erteilen.

Das *Steinzeug* — nicht zu verwechseln mit dem schon besprochenen Steingute — ist schon in mancher Hinsicht dem Porzellan ähnlich, doch ist es nicht durchscheinend. Man bereitet es aus wenig gefärbten Tonen, die beim Brennen nur wenig schwinden, in starker Hitze sintern und sehr plastisch sind. Das feine Steinzeug wird stets aus Tonen angefertigt, die sich weiß brennen, man setzt ihnen ferner stets quarz- und feldspathaltige Mineralien zu, wodurch sich ihre Zusammensetzung und Beschaffenheit der des Porzellans sehr nähert.

Das *Glasieren* der *Steinzeugwaren* wird entweder durch Begießen oder Eintauchen in die Glasurmasse bewirkt, oder durch das Salzen, das schon besprochen wurde. Um Farben aufzutragen, werden diese, bzw. die Metalloxyde, wie Kobaltoxyd für Blau, Braunstein für violett bis braun, Kupferoxyd für grün, mit einer ziemlich leichtflüssigen Glasur gemischt, mit Terpentinöl angerieben und mit dem Pinsel aufgetragen. Die Gegenstände werden dann in großen Muffeln soweit erhitzt, daß die den Farben beigemengte Glasur in Fluß gerät und sich mit der unter ihr liegenden, schwer schmelzbaren Glasur verbindet.

Die *Fabrikation des Porzellans* setzt einen sehr reinen Ton — Porzellanerde, Kaolin — voraus. Das *weiche französische Porzellan*, das der Vorläufer des echten Hartporzellans war, wurde aus einem Gemenge von Salpeter, Soda, Kochsalz, Alaun, Gips und Sand hergestellt. In der Hitze des Brennofens bilden sich Silikate, die sich zu sehr schwer schmelzbaren Gläsern vereinigen und die noch ungeschmolzen gebliebenen Silikate umschließen. Der Name „*Weichporzellan*" bezieht sich nur auf die leichte Schmelzbarkeit, es ist ebenfalls sehr hart, doch gegen Temperaturwechsel recht empfindlich.

Das *englische Weichporzellan* ist hinsichtlich der reinweißen Farbe und der Lichtdurchlässigkeit dem Hartporzellan völlig gleich, doch ist es weniger feuerbeständig und mit einer weichen Glasur, die von Stahl geritzt wird, versehen. Der Masse wird

meist Knochenasche zugesetzt, wodurch eine feinkörnige, alabasterähnliche Masse entsteht.

Das *echte Porzellan* oder *Hartporzellan* ist rein weiß, läßt das Licht sehr stark durchscheinen und ist so hart, daß es mit dem Stahle nicht geritzt werden kann. Zu seiner Herstellung wird sehr reiner Kaolin verwendet, der mit Quarz und Feldspat gemengt wird. Bei der hohen Temperatur des Porzellanofens schmelzen die Flußmittel zu einem ungemein strengflüssigen Glase zusammen, das die kleinen Teilchen des Kaolins umhüllt.

Die meisten Kaolinlager führen kein so reines Material, um es sofort verarbeiten zu können. Es muß vielmehr noch der Aufbereitung unterzogen werden, wozu man alle Bestandteile der Porzellanmasse zunächst auf das feinste mahlt und schlämmt. Der fertige Schlamm darf nicht absitzen, sondern er wird durch Siebe gegossen und dann so rasch als möglich, gewöhnlich in Filterpressen entwässert. Die fertige Masse wird dann noch mit der Hand und mit Maschinen bearbeitet, um Luftblasen zu beseitigen, schließlich läßt man sie solange als möglich, mindestens sechs bis acht Wochen in Kellern lagern, „faulen", wobei sie eine dunkle Farbe annimmt und plastischer wird.

Das *Formen* der Porzellanmasse geschieht auf der Töpferscheibe, aber häufiger durch Pressen oder Gießen in Gipsformen. Schließlich werden die Gegenstände noch sorgfältig mit der Hand überarbeitet, um Gußnähte und Unebenheiten zu entfernen, dann werden die Henkel, Verzierungen etc. angebracht.

Dann folgt das *Trocknen* der geformten Gegenstände, das man bei mäßiger Temperatur durchführt, um Formveränderungen zu vermeiden. Sind die Objekte genügend trocken, so kommen sie in den *Verglühofen*, gewöhnlich dient dazu der oberste, kühlste Raum des Porzellanofens, wo sie soweit erhitzt werden, daß der Kaolin das chemisch gebundene Wasser verliert. Dann werden sie mit der Glasurmasse versehen, nur im verglühten Zustande besitzt die Porzellanmasse genügende Porosität, um die Glasur mit der erforderlichen Schnelligkeit an sich zu ziehen. Meist geschieht das Überziehen mit der Glasurmasse durch Eintauchen. Stellen, die nicht glasiert oder mit andersfarbiger Glasur überzogen werden sollen, werden mit einer Mischung aus Talg und Wachs ausgespart. Die glasierten Gegenstände kommen dann abermals in den Ofen, um den *Glatt-* oder *Gutbrand* durchzumachen, der bei sehr hoher Temperatur, bei Weißglut ausgeführt wird.

Sowohl das Verglühen wie das Gutbrennen der Porzellanwaren wird in *Schamottekapseln* vorgenommen, um die Einwirkung der Feuergase auf das Porzellan hintanzuhalten. Die Schamottekapseln (Abb. 62) müssen mehrere Brände aushalten und daher sehr sorgfältig hergestellt werden. Man verfertigt sie aus einem Gemenge von Ton und Schamotte, dem Schamottemörtel, worauf sie gebrannt werden. Sie besitzen die Form von rechteckigen, runden oder ovalen Schachteln und werden derart in den

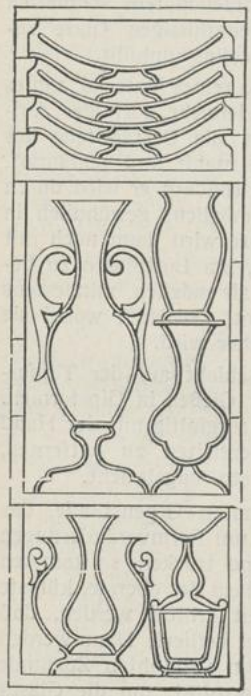

Abb. 62. Schamottekapseln.

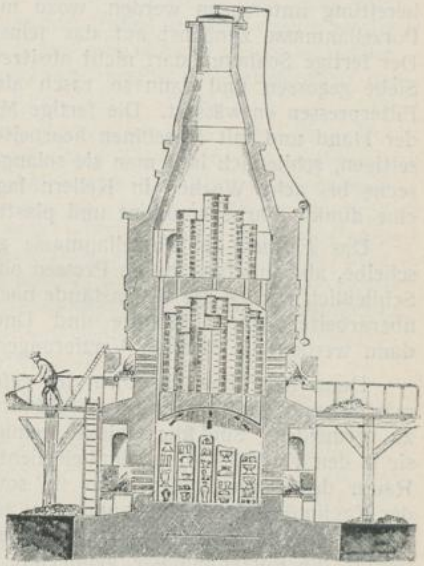

Abb. 63. Porzellanofen.

Ofen eingesetzt, daß der verfügbare Raum nach Möglichkeit gut ausgenützt wird.

Die Porzellanmasse erleidet nicht nur durch das Trocknen eine Volumsverringerung, sondern sie findet auch noch während des Glattbrandes statt und beträgt 7 bis 17, im Mittel etwa

13%. Darauf ist natürlich schon bei der Anfertigung der Gegenstände Rücksicht zu nehmen.

Die *Porzellanöfen* (Abb. 63) besitzen eine hohe, turmförmige Gestalt und bestehen aus zwei oder drei übereinanderliegenden Räumen. Der unterste, wo die höchste Temperatur herrscht, wird zum Gutbrennen, die mittlere Abteilung zum Verglühen der Gegenstände und die oberste zum Verglühen der Schamottekapseln verwendet. Nach Beendigung des Glattbrandes müssen die Gegenstände langsam erkalten, dann werden sie sorgsam gesichtet, wobei ungleichmäßig geschwundene und verzogene Gegenstände als „Ausschuß" abgesondert werden. Gegenstände mit kleinen Fehlern bilden das „Mittelgut", nur ganz fehlerfreie, tadellose Stücke können als „Feingut" bezeichnet werden.

Zur Verzierung und künstlerischen Vollendung werden die glasierten, aus dem Glattbrande kommenden Porzellanwaren noch bemalt, die *Porzellanmalerei* ist heute ein besonderer Zweig der Kunstindustrie geworden. Als Farben dienen verschiedene Metalloxyde, die mit einem bleihaltigen Glase versetzt und in ein zartes Pulver verwandelt werden. Dieses wird mit einem Öl, meist sehr dickem Terpentinöl, angerieben und als Farbe verwendet. Die Farben werden dann in der Muffel eingebrannt, doch kann dies zumeist nicht in einer Operation geschehen, sondern es sind mehrere Brände nötig, um die Farben innig und dauerhaft mit der Glasur zu verbinden.

3. Mörtel.

Das bekannteste Material zur Herstellung von Mörtel ist der *gebrannte Kalk*, der durch Erhitzen von Kalkstein, kohlensaurem Kalk erhalten wird. Bei höherer Temperatur gibt der kohlensaure Kalk die Kohlensäure ab und geht in Kalziumoxyd über:

$$\underset{\text{Kalziumkarbonat}}{CaCO_3} = \underset{\text{Kalziumoxyd}}{CaO} + \underset{\text{Kohlensäure.}}{CO_2}$$

Das *Brennen des Kalkes* wird in verschiedener Weise vorgenommen, das einfachste, doch unzweckmäßigste Verfahren ist jenes, wobei in einem aus vier Mauern bestehenden Ofen aus den Kalksteinblöcken ein Gewölbe gebaut wird, auf das man weiteres Rohmaterial legt und das Ganze durch das im Gewölbe entzündete Feuer zum Glühen bringt. Gegenwärtig nimmt man das Brennen fast ausschließlich in Schachtöfen mit ununterbrochenem Betriebe und in Ringöfen vor.

Die Temperatur, bei der der Kalk die Kohlensäure abspaltet, liegt beiläufig zwischen 800 und 900°, doch schadet reinen Kalksteinen auch die Erhitzung auf höhere Temperaturen nicht. Anders verhalten sich dagegen unreine Kalksteine, die Kieselsäure und Ton enthalten. Wenn sie stark erhitzt werden, so tritt Silikatbildung ein, der gebrannte Kalk löscht sich dann mit Wasser gar nicht oder nur langsam und wird als „totgebrannt" bezeichnet. Auch zu wenig erhitzter Kalk, der noch halbgebundene Kohlensäure enthält, verhält sich ähnlich.

Guter, richtig gebrannter Kalk löscht sich, mit zwei Teilen Wasser behandelt, vollständig ab und geht in Kalziumhydroxyd über:

$$\underset{\text{Ätzkalk}}{CaO} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O} = \underset{\text{Kalziumhydroxyd.}}{Ca(OH)_2}$$

Das *Kalziumhydroxyd* bildet eine butterartige Masse, man nennt solchen Kalk „*fetten Kalk*" oder „*Weißkalk*". Magnesiahaltige Kalke löschen sich nur langsam und liefern „*mageren Kalk*". Beim Löschen des Kalkes wird Wärme frei, wodurch sich die Masse erhitzt und ein Teil des Wassers verdampft. In neuerer Zeit geht man immer mehr dazu über, den Kalk „trocken zu löschen", d. h. nur mit soviel Wasser zu behandeln, als zur Bildung des Hydrates nötig ist, worauf er meist noch zerkleinert wird. Man bezeichnet solchen Kalk als „*Sackkalk*", seine Herstellung bringt den Vorteil mit sich, daß auch der Abfall der Kalkbrennerei, der kleinstückige und Staubkalk mit verarbeitet werden kann.

Der gewöhnliche *Kalkmörtel* wird aus gelöschtem Kalk und Sand von verschiedener Beschaffenheit hergestellt, wozu oft mechanische Vorrichtungen (Mörtelmischmaschinen) dienen. Der geeignetste Sand zur Mörtelbereitung ist reiner, scharfkantiger Quarzsand, der einen kräftig bindenden Mörtel liefert und sich mit dem Kalk im Laufe der Zeit zu Kalziumsilikat verbindet. Enthält der Sand größere Mengen organischer Stoffe, so werden diese durch den Ätzkalk unter Bildung von salpetersaurem Ammon zerlegt, das an den Wänden auswittert und zerfließt, man bezeichnet diese Erscheinung als „*Mauerfraß*".

Das *Erhärten* und *Abbinden* des Mörtels beruht auf physikalischen und chemischen Vorgängen. Er wirkt an den rauhen Flächen der Mauersteine in ähnlicher Weise als Bindemittel, wie z. B. Leim zwischen Holz. Außerdem saugen die Ziegel Feuchtigkeit an, wodurch der Mörtel rasch dickbreiig wird. Erst bis

der Mörtel nur mehr 2 bis 3% Wasser enthält, beginnt auch die chemische Umwandlung. Der Ätzkalk absorbiert Kohlensäure aus der Luft und geht im Laufe der Zeit wieder ganz in kohlensauren Kalk über. Dieser Vorgang verläuft jedoch unter Abspaltung von Wasser:

$$\underset{\text{Kalkhydrat}}{Ca(OH)_2} + \underset{\text{Kohlensäure}}{CO_2} = \underset{\text{Kalziumkarbonat}}{CaCO_3} + \underset{\text{Wasser}}{H_2O}$$

und dies ist die Ursache, weshalb frische Mauern längere Zeit feucht bleiben. Es erklärt auch die Erscheinung, daß scheinbar trockene Mauern wieder naß werden, sobald der Raum bewohnt wird. Jeder Mensch atmet reichliche Mengen Kohlensäure aus, durch die dann die Entstehung des kohlensauren Kalkes beschleunigt und natürlich auch die Wasserabspaltung vermehrt wird. Durch Aufstellung mit glühendem Koks gefüllter Körbe in Neubauten trachtet man diese Umwandlung durch Erzeugung reichlicher Mengen Kohlensäure zu beschleunigen.

Gebrannter Gips, der durch Aufnahme von Wasser wieder zu erhärten vermag, wird durch Erhitzen von Gips auf solche Temperatur erhalten, daß das Kalziumsulfat seine 2 Moleküle Kristallwasser verliert. Diese Wasserabgabe findet schon bei niederer Temperatur statt, die noch unter der Glühhitze liegt. Man unterscheidet *Stuckgips*, der bei niederer Temperatur gebrannt („gekocht)“ wird, und *Estrichgips*, der ähnlich wie der Kalk durch Brennen gewonnen wird. Stuckgips enthält noch einen Teil des Kristallwassers und bindet rasch ab, Estrichgips dagegen langsam. Er wird besonders zur Herstellung fugenloser Fußböden verwendet, wobei man ihn, mit Wasser angerührt, auf einer Unterlage von Sand ausbreitet und den Brei 24 Stunden sich selbst überläßt. Dann wird die Masse durch Bearbeiten mit einem Schlagholze auf etwa drei Viertel des ursprünglichen Volumens verdichtet und geglättet, worauf man sie vollständig erhärten läßt. Setzt man dem Gips gleichzeitig mit dem Wasser schwefelsaures Kalium zu, so bildet sich ein Doppelsalz von der Formel $Ca\,K_2(SO_4)_2$, das nach dem Erstarren seidenartigen Glanz besitzt und sich daher besonders zur Anfertigung von Kunstgüssen eignet.

Als *Zemente* oder *hydraulische Mörtel* werden solche Massen bezeichnet, die in Berührung mit Wasser unter Bildung gewisser Silikate allmählich in eine feste Masse von steinartiger Beschaffenheit übergehen und im Laufe der Zeit eine immer größere Härte annehmen. Dies ist, je nach der Zusammensetzung des Zements,

auf die Entstehung chemischer Verbindungen, von Kalk-Hydrosilikaten bzw. Kalk-Hydroaluminaten zurückzuführen.

Hydraulischer Kalk wird durch Brennen von tonarmen Kalkmergeln dargestellt, wobei man die Temperatur jedoch nur soweit steigert, daß eben der größte Teil der Kohlensäure ausgetrieben wird. Mit Wasser zusammengebracht bildet er einen Brei, der ohne sonderliche Erwärmung immer dickflüssiger und endlich ganz fest wird.

Romanzemente werden aus tonreichen Kalksteinen mit 25% und mehr Tongehalt durch Brennen gewonnen, doch werden sie nur soweit erhitzt, daß die Masse noch nicht zu sintern beginnt. Sie bilden gelbe bis braune Pulver; mit Wasser angerührt, beginnen sie bald abzubinden und zwar unter Erwärmung.

Portlandzement wird aus entsprechend gewählten Gemischen von ton- und kalkhaltigen Materialien oder auch aus Tonkalkmergeln, deren Zusammensetzung schon von Natur aus der eines Zements entspricht, hergestellt. Man brennt die Masse bei so hoher Temperatur, daß Sinterung eintritt und verwandelt sie dann in Mehl. Dieses bindet mit Wasser ziemlich rasch ab, ändert dann das Volumen nicht mehr und nimmt in Berührung mit Wasser im Laufe der Zeit eine außerordentlich große Festigkeit und Härte an.

Portlandzement wird auch aus einer Mischung von Kalk und Hochofenschlacke durch Brennen bis zur Sinterung hergestellt (*Schlackenportlandzement*). Mischungen, die erst nachträglich, also nach dem Brennen angefertigt werden (*Eisenportlandzement*) dürfen nach den bestehenden Normen nicht als „Portlandzement" bezeichnet werden.

Gute Zemente besitzen meist die folgende Zusammensetzung:

Kalk	57 bis 66%
Magnesia	5%
Kieselsäure	18 „ 26%
Tonerde	4 „ 10%
Eisenoxyd	2 „ 4%
Alkalien	1 „ 3%
Schwefelsäure	2%

Rohstoffe für die Herstellung des Portlandzementes sind Kalkstein, Kreide, Wiesenkalk, Kalkmergel, Ton und in neuerer Zeit auch Hochofenschlacken. Voraussetzung ist, daß die Rohstoffe in einem solchen Verhältnisse zusammengebracht werden,

daß in der Mischung auf 1 Teil Kieselsäure + Tonerde + Eisenoxyd 1·7 bis 2·2 Teile Ätzkalk vorhanden sind. Gleichzeitig muß durch innige Mischung für die ganz gleichmäßige Verteilung der Bestandteile gesorgt werden.

Die *Fabrikation* des *Portlandzements* verläuft folgendermaßen: Auf Grund der chemischen Untersuchung der Rohstoffe wird das Mischungsverhältnis festgestellt und durch Probebrände die Richtigkeit des Verhältnisses geprüft. Die Rohstoffe werden dann fein gemahlen und meist schon während der Vermahlung auf das innigste gemischt. Dann wird das fertige Rohmehl in Ziegelmaschinen geformt, soferne nicht die Konstruktion des Brennofens diese Arbeit überflüssig macht, worauf die getrockneten Rohsteine bis zur Sinterung gebrannt werden. Die gebrannten Steine heißen „*Klinker*", ungebrannte Stücke werden durch Auslesen entfernt, worauf man den Klinker zunächst ablagern läßt. Dann werden die Klinker wieder staubfein gemahlen, worauf der etwas abgelagerte Zement in Fässern verpackt und versendet wird.

Je nach dem Gange der Fabrikation unterscheidet man das *Naß-* oder *Schlämmverfahren*, das *Halbnaßverfahren* und das *Trockenverfahren*, die in verschiedenen Arten der Aufbereitung der Rohmaterialien bestehen. Das Trockenverfahren ist das verbreitetste, die Stücke werden zuerst vorgebrochen, in Trockenvorrichtungen getrocknet, gemischt und weiter vermahlen. Das Rohmehl wird, soferne kein Drehofen vorhanden ist, zu Ziegeln geformt, die nach dem Trocknen gebrannt und vermahlen werden.

Zum Brennen des Portlandzements benützt man Ringöfen oder kontinuierlich arbeitende Schachtöfen, endlich die modernen *Drehöfen*, die den größten Fortschritt auf dem Gebiete der Zementfabrikation bedeuten. Sie bestehen im wesentlichen aus einer 45 bis 50 *m* langen, mit 6% Neigung gegen die Horizontalebene gelagerten eisernen Trommel, die um ihre Längsachse drehbar ist. Im Inneren ist die Trommel mit Schamotte oder Zementmasse selbst ausgekleidet, ihr Durchmesser beträgt etwa 2 *m*, am unteren Ende 2·4 *m*. Das zu brennende Material wird in Form eines dickflüssigen Schlammes an der höher gelagerten Seite des Ofens aufgegeben, die Beheizung erfolgt vom unteren Ende des Ofens aus durch Kohlenstaubfeuerung. Zu diesem Zwecke wird ein Gemenge von Kohlenstaub und Luft in den Ofen eingeblasen, das rasch unter Entwickelung hoher Temperatur verbrennt, die Luft wird in der Weise vorgewärmt, daß sie die unter dem Ofen

befindliche Kühlkammer passiert, in die die glühenden Klinker aus dem Drehofen fallen.

Das *Erhärten* und *Abbinden* des Portlandzementes ist nach *Le Chatelier* und *Törnebohm* darauf zurückzuführen, daß der Portlandzementklinker aus einer amorphen Masse besteht, in der vier Mineralien, die sie Alit, Belit, Celit und Felit nannten, eingebettet sind. In größter Menge ist der Alit vorhanden und er bedingt die hydraulischen Eigenschaften. Er ist entweder eine isomorphe Mischung von Kalziumsilikat, Kalziumaluminat und Kalziumoxyd oder eine Doppelverbindung, die Kalziumaluminat und Kalziumsilikat in festen Verhältnissen enthält. Die Entstehung dieser Klinkermineralien beruht darauf, daß sich im Ofen eine geringe Menge einer Schmelze bildet, die Kalk und Ton auflöst, worauf dann daraus Alit usf. kristallisieren.

Man unterscheidet je nach der Dauer des Abbindens *Gießzemente*, die mit Wasser verrührt fast augenblicklich erstarren, *Raschbinder*, die innerhalb 15 bis 30 Minuten abbinden, *Normalbinder*, die 3 bis 6 Stunden zum Abbinden brauchen und endlich *Langsambinder*, die einen noch längeren Zeitraum beanspruchen. Zu rasch abbindende Zemente können durch Zusatz von 1 bis 2% Gips langsamer abbindend gemacht werden. Fehler des Zementes bestehen in der Volumsvergrößerung während des Abbindens („*Treiben*"), das sowohl durch einen zu hohen Kalkgehalt, als auch durch eine 4% übersteigende Menge Magnesia hervorgerufen werden kann. Das „*Gipstreiben*" wird durch einen zu hohen Gehalt an Schwefelsäure hervorgerufen.

Puzzuolane und *Traß* sind natürliche Zemente, die in der Nähe von Neapel, bzw. am Rhein vorkommen. Traß wird im gemahlenen Zustande in den Handel gebracht, meist wird er mit Ätzkalk und Sand gemengt angewendet.

4. Kunststeine.

Künstliche Steinmassen können auf verschiedene Weise erzeugt werden. Man stellt sie unter Verwendung von Zement dar oder benützt die Eigenschaft des Kalkes, mit Kieselsäure sehr widerstandsfähige Verbindungen zu liefern. Endlich werden auch Massen anderer Zusammensetzung, wie Magnesiaoxychlorid etc. zur Herstellung künstlicher Steine verwendet. Auch die Erzeugung künstlicher Schleifsteine, von Filtersteinen, feuerfesten Dinassteinen usf. gehört in diese Gruppe.

Die *Zementkunststeine* werden aus Zement und einem geeigneten Zusatzmaterial, wie Sand, Granitstückchen („Granitoid") hergestellt. Die Masse wird in Pressen, die einen sehr kräftigen Druck auszuüben vermögen, gepreßt und dann erhärten gelassen. In der Presse können die Kunststeine auch mit erhabenen oder vertieften Ornamenten, Rillen etc. versehen werden, ferner färbt man die Kunststeine auch durch die Masse oder an der Oberfläche. *Beton* wird aus Zement und geeigneten Zuschlägen, wie Sand und Kies durch Mischen in Maschinen hergestellt und dann in die aus Brettern verfertigten Formen eingestampft, auf diese Weise werden heute zahlreiche Bauten aufgeführt, die dann gewissermaßen aus einem Stücke bestehen. Da sich solches Zementmauerwerk durch eine sehr hohe Festigkeit auszeichnet — besonders wenn, wie z. B. bei Trägern oder Deckenkonstruktionen gleichzeitig Eisenstangen und Eisendraht eingezogen wird (*Eisenbeton*) — so findet es eine sich unausgesetzt steigernde Anwendung.

Große Bedeutung haben in den letzten Jahren auch die *Kalksandsteine* erlangt, die aus Kalkhydrat und Quarzsand bereitet werden. Diese Massen erhärten jedoch nur langsam, erst nach drei bis vier Monaten sind die Formlinge soweit erhärtet, daß sie verwendet werden können. Die Erfindung von Michaelis ermöglichte es jedoch, die Fabrikation der Kalksandsteine im großen zu betreiben. Sie beruht auf der Beobachtung, daß sich Kalk und Sand unter der Einwirkung von hochgespanntem Wasserdampf innerhalb weniger Stunden zu Kalkhydrosilikat verbinden, wobei ein hartes, dem Sandsteine ähnliches und sehr widerstandsfähiges Gestein entsteht.

Die *Herstellung* dieser *Kalksandsteine* zerfällt in das Löschen des Kalkes und Aufbereitung mit dem Sande, das Pressen der Formlinge und das Härten im Härtekessel. Je nachdem man den gemahlenen Ätzkalk mit dem feuchten Sande mischt oder zunächst den Kalk durch Zusatz von Wasser in Kalkhydrat überführt, unterscheidet man das *Ätzkalkverfahren* und das *Kalkhydratverfahren*. Der Ablöschung des Kalkes ist sehr große Bedeutung beizumessen, weil ungelöschter Kalk erst im Härtekessel in Hydrat übergeht, sein Volumen vergrößert und die Formlinge zerreißt.

Die Arbeitsweise nach dem *Kalkhydratverfahren* gestaltet sich folgendermaßen. Der ungelöschte Stückkalk wird in einem Steinbrecher vorgebrochen und in einer Kugelmühle gepulvert. Dann gelangt er im entsprechendem Verhältnisse mit Sand in die Auf-

bereitungsmaschine, er wird darin mit Dampfmantelheizung und unter Umrühren durch Mischflügel erhitzt. Die noch vorhandene Feuchtigkeit bewirkt die Anbahnung des Löschprozesses, der durch Zusatz von Wasser aus einem hochgelegenem Reservoire vollendet wird, hierauf wird die Masse entleert. Meist lagert die Masse dann noch einen Tag in einem Silo, dann wird sie noch

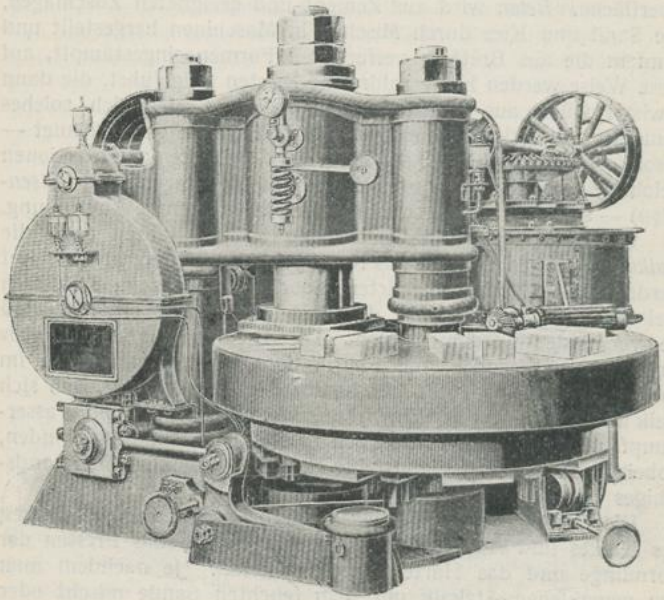

Abb. 64. Luckesche Revolverpresse zur Kalksandsteinfabrikation.

in einem Kollergang gemischt und der Presse übergeben, die sie zu „*Formlingen*" formt, diese besitzen das gewöhnliche Ziegelformat.

Die *Pressen* (Abb. 64) sind meist sogenannte schwungradlose Revolverpressen (gebaut von *C. Lucke* in Eilenburg), auf deren sich absatzweise drehendem Tische mehrere Formen angeordnet sind. In jeder Form befindet sich ein Preßstempel, der in senk-

rechter Richtung auf und abbewegt wird. Eine Form des sich ruckweise drehenden Preßtisches gelangt unter den Füllapparat, der automatisch die Form füllt. Bei der nächsten Drehung des Tisches gelangt die Form über den Preßkolben des Druckmechanismus. Nach Beendigung der Kompression dreht sich der Tisch weiter und der fertige Formling wird automatisch ausgestoßen.

Die fertigen Formlinge werden nun auf Wagen gesetzt und in den *Erhärtungskessel* (Abb. 65, gebaut von *H. Pauksch*, A.-G., Landsberg a. W.) gefahren. Diese Kessel sind 8 bis 10 *m* lange

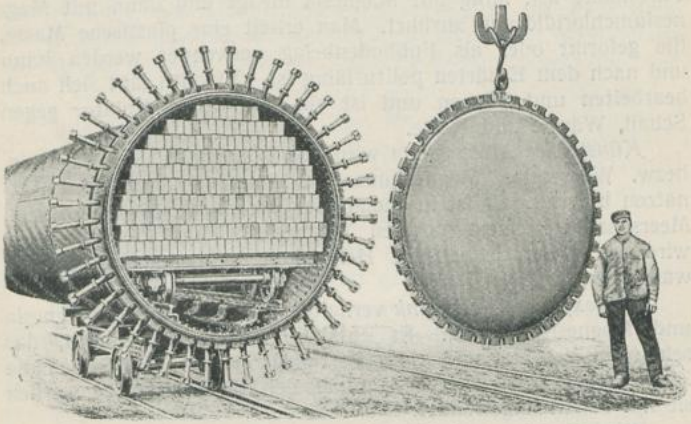

Abb. 65. Erhärtungskessel zur Kalksandsteinfabrikation.

Dampfgefäße mit etwa 2 *m* Durchmesser und genügendem Spannungswiderstande. Ein Kessel von 10 *m* Länge faßt etwa 7000, von 15 *m* Länge etwa 10.000 Steine. Nach der Füllung des Kessels wird die Stirnwand herabgelassen und mit Hilfe der Klappschrauben am Kessel dampfdicht befestigt. Dann wird hochgespannter Dampf aus dem Betriebskessel zugeleitet, der binnen 8 bis 9 Stunden die vollständige Versteinerung der Masse, die auf der Bildung eines Hydrosilikates beruht, bei etwa 8 Atmosphären Druck bewirkt. Nach dem Erkalten sind die Kalksandsteine sofort gebrauchsfertig.

Magnesia- oder *Sorelzement* wird aus gebrannter Magnesia und Magnesiumchlorid bereitet. Man kann annehmen, daß die Verbindung nach dem folgendem Schema erfolgt:

$$MgO + MgCl_2 = Mg_2OCl_2$$

Magnesia Magnesiumchlorid Magnesiumoxychlorid.

Der Magnesiazement ist reinweiß, sehr hart und sehr widerstandsfähig gegen die Witterung. Er kann mit einer ansehnlichen Menge von Füllstoffen vermengt werden, ohne an Festigkeit einzubüßen.

Xylolith wird aus Magnesiumoxychlorid und Holz bereitet, indem man Sägemehl, Zellulose, ausgelaugte und zerkleinerte Farbhölzer usf. innig mit Magnesia mengt und dann mit Magnesiumchloridlösung anrührt. Man erhält eine plastische Masse, die geformt oder als Fußbodenbelag verwendet werden kann und nach dem Erhärten politurfähig ist. Xylolith läßt sich auch bearbeiten und Färben und ist ein sehr guter Isolator gegen Schall, Wärme und Kälte.

Künstlicher Meerschaum wird aus Wasserglas und Magnesia, bezw. Wasserglas, Magnesiumsulfat, Ammoniakalaun und Ätznatron bereitet. Er ist in chemischer Beziehung mit dem echten Meerschaume, einem porösen Magnesiumsilikat identisch und wird wie dieser, jedoch zur Herstellung billigerer Meerschaumwaren benützt.

Zinkoxyd und *Chlorzink* verhalten sich ähnlich wie Magnesia und Magnesiumchlorid. Es entsteht ein Zinkoxychlorid, das sehr rasch erhärtet und große Festigkeit erlangt. Da jedoch die Zinkoxychloridmassen teurer sind, als der Magnesiazement, werden sie nur selten angewendet.

Wird *Bleiglätte* mit *Glyzerin* gemengt, so erhält man ebenfalls erstarrende, sehr feste Massen, die sich auch beliebig färben lassen und zur Herstellung kleinerer Luxusgegenstände benützt werden.

Feuerfeste Massen werden in verschiedener Weise gewonnen. So besteht die *Schamotte* im wesentlichen aus feuerfestem Ton, der nach dem Brennen gemahlen wird. Das Schamottemehl wird dann mit feuerfestem Ton unter Zusatz von Quarzsand vermengt, geformt, gepreßt und mit aller Sorgfalt gebrannt.

Die *Dinasmassen* bestehen aus Kieselsäure, die durch Kalk oder Ton gebunden wird. Als „*Englische Dinas*“ oder „*Silika erster Qualität*“ bezeichnet man Erzeugnisse aus Findlingsquarzit mit Kalkbindung, als „*Dinas*“ oder „*Silika*“ Erzeugnisse aus Blockquarzit mit Kalkbindung. „*Deutsche Dinas*“ werden aus

kieselsäurereichen Rohstoffen durch Bindung mit Ton, „*Dinas*“ oder „*Silika zweiter Qualität*“, auch „*Kalkdinas*“ genannt, aus geringwertigen Rohstoffen durch Bindung mit Kalk hergestellt. Beim Erhitzen von Quarz und Kalk bis zur Weißglut wirken die Kieselsäure und der Kalk aufeinander ein, wobei ein ungemein schwer schmelzbares Kalksilikat entsteht, das als halbgeschmolzene, gesinterte Masse die einzelnen Quarzkörner zu einer ziemlich festen Masse verkittet, die um so fester wird, je höherer Temperatur sie ausgesetzt wurde.

Künstliche Filtersteine müssen genügende Porosität besitzen und dürfen keine in Wasser löslichen Bestandteile enthalten. Man wendet daher verschiedene Mischungen aus Feuersteinpulver, Schlämmkreide etc. an. Die von *Steinmann* empfohlenen Mischungen besitzen z. B. die folgende Zusammensetzung:

	I	II	III
Ton	10	10	15
Schlämmkreide	1	1	1
Feuersteinpulver	—	30	5
Feiner Glassand	55	—	—
Grober Glassand	—	25	65

Die Bestandteile werden innig gemischt, geformt und nach dem Formen und Trocknen scharf gebrannt.

Kieselgurfilter werden aus Ton und Kieselgur mit einem Kieselgurgehalte von rund 90% angefertigt, an Stelle des Tones kann man auch ein bei nicht zu hoher Temperatur schmelzendes Mineral, z. B. Flußspat, verwenden, doch darf dann die Masse nur soweit erhitzt werden, daß der Flußspat eben schmilzt und die Masse verkittet.

Die Massen zur Anfertigung künstlicher *Schleifsteine* sind aus dem Pulver eines harten Körpers, wie z. B. Quarz, Schmiergel, Karborundum etc. und einer bildsamen Masse zusammengesetzt, die als Bindemittel für die pulverförmigen Körper dient. Als Bindemittel wendet man Schamotte, Porzellanmasse, Zement oder Magnesiumoxychlorid, für weichere Schleifscheiben auch Schellack und ähnliche Stoffe an. Die mit Schamotte oder Porzellanmasse hergestellten Schleifsteine müssen selbstverständlich dem Brennen unterworfen werden, eine Operation, die bei Verwendung der freiwillig erhärtenden Bindemittel entfällt.