



*Augustus*

# **DAS STEINZEUG**

VON

**FELIX SINGER**

DR. PHIL. DR.-ING.

CHARLOTTENBURG



MIT EINEM PORTRÄT DES HERRN GENERALDIREKTOR N. B. JUNGEBLUT, CHARLOTTENBURG  
UND 25 BILDERN DER MALERIN MAREI WETZEL - SCHUBERT, BERLIN - WILMERSDORF

---

**SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN GMBH**

**DEN BUCHEINBAND ZEICHNETE  
DIE MALERIN MAREI WETZEL-SCHUBERT, BERLIN-WILMERSDORF**

**150 EXEMPLARE WURDEN AUF ECHTBÜTTEN GEDRUCKT, DIE BILDER  
MIT DER HAND AUF ECHTJAPAN ABGEZOGEN UND IN DER PRESSE  
NUMERIERT. SIE TRAGEN DEN EIGENHÄNDIGEN NAMENSZUG DER  
KÜNSTLERIN**

ISBN 978-3-663-06019-2      ISBN 978-3-663-06932-4 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-663-06932-4

**ALLE RECHTE, EINSCHLIESSLICH DES VERFILMUNGSRECHTES, VORBEHALTEN**

COPYRIGHT 1929 BY SPRINGER FACHMEDIEN WIESBADEN  
URSPRÜNGLICH ERSCHIENEN BEI FRIEDR. VIEWEG & SOHN AKT.-GES., BRAUNSCHWEIG  
SOFTCOVER REPRINT OF THE HARDCOVER 1ST EDITION 1929

# ZUEIGNUNG

Einen Mann, der sein ganzes Leben lang gearbeitet hat, feiern, heißt, seine Arbeit ehren, sein produktives Werk schildern. Daher versuche ich, den 70. Geburtstag von

## Nikolaus B. Jungeblut

Generaldirektor der „Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke, Aktiengesellschaft“  
in Charlottenburg

durch eine Beschreibung der Steinzeugindustrie festlich zu begehen. Das vorliegende Buch soll jedoch keine Festschrift im üblichen Sinne sein, die einen Ausschnitt der Technik vom persönlichen Standpunkt des Jubilars aus sieht. Dadurch würde Jungeblut nicht genügend gewürdigt. Sein Einfluß auf die Entwicklung und Förderung dieser Industrie geht weiter und tiefer. Nur eine objektive Darstellung kann der Person Jungebluts und seiner Bedeutung gerecht werden.

Dieses Programm versuchte ich durchzuführen. Dabei wollte ich weder alle Details der Fabrikationen, noch alle Einzelheiten der technischen Möglichkeiten aufzählen, weder ein Lehrbuch schreiben, noch eine Rezeptsammlung veröffentlichen. Nur ein anschaulicher Querschnitt durch die Steinzeugfabrikation soll es sein, der das Wesentliche und seine Zusammenhänge, Erreichtes und zukünftige Ziele darstellt, um das Material „Steinzeug“ und seine universelle technische Verwendungsmöglichkeit auch den Kreisen vor Augen zu führen, die bisher Grenzen sahen, die sich in weite Fernen rücken lassen. Die Entwicklung des Steinzeugs in den letzten Jahren, seine Qualitätssteigerung und die Eroberung völlig neuer Absatzgebiete zeigen den Beginn einer neuen Epoche dieser Technik. An einem solchen Punkte ist ein Rückblick auf das Lebenswerk eines Mannes berechtigt, der maßgebenden Einfluß auf die Entwicklung und Führung dieser Industrie in den letzten Jahrzehnten hatte.

Charlottenburg, im Mai 1929.

Dr. Felix Singer

# VORWORT

Die Veröffentlichung dieses Buches gibt mir eine willkommene und freudig wahrgenommene Gelegenheit, allen denen auch hier herzlichsten Dank zu sagen, die zur Vollendung der Arbeiten auf die verschiedenste Art beigetragen haben. Zunächst sind hier eine Reihe von Steinzeugstudien aus den Laboratorien der Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft, Charlottenburg, erstmalig veröffentlicht, deren Dünnschliffuntersuchungen von den Herren Prof. Dr. Schlossmacher (Königsberg/Preußen) und Prof. Dr. Spangenberg (Kiel) durchgeführt wurden. Die Messungen der Ausdehnungskoeffizienten haben Fräulein Dipl.-Ing. Thalinger, Charlottenburg, Dr. Adhikari, Charlottenburg und Dr. Willi M. Cohn, Berlin-Dahlem, ausgeführt. Die übrigen Ziffern physikalischer Eigenschaften von Steinzeugmassen, soweit sie nicht Literaturangaben entnommen sind, stammen aus Untersuchungsergebnissen des Staatlichen Materialprüfungsamtes in Berlin-Dahlem und der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin-Charlottenburg für die Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft.

Die Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse und ihre Berechnung, die Vorarbeiten der literarischen Bearbeitung, diese selbst, zahlreiche Anregungen, Vorschläge, Entwürfe, Detaillierungen, Korrekturen, Studien usw. verdanke ich Damen und Herren der Firmen Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft in Charlottenburg und Deutsche Steinzeugwarenfabrik für Kanalisation und chemische Industrie in Friedrichsfeld/Baden, sowie zahlreichen Freunden und Fachgenossen.

Dem Charakter des Buches entsprechend, wurde auf rein technische Abbildungen, Schnittzeichnungen usw. verzichtet und das Wesentliche der Steinzeug-Herstellung rein künstlerisch dargestellt. Für diesen Zweck hat die Malerin Marei Wetzelschubert ihre Studien in einer Reihe von Steinzeugfabriken unermüdlich durchgeführt, um nachher das Thema „Steinzeug“ nicht nur sachlich richtig, sondern in menschlicher Auffassung darzustellen, um die Technik und Kunst zu einheitlicher Geschlossenheit zu führen.

Für mich ist das schönste an der Herausgabe dieses Buches, auf diese Weise meine Verehrung für einen Mann zum Ausdruck zu bringen, welcher auf die Entwicklung der Steinzeugindustrie der letzten Jahrzehnte maßgebenden Einfluß hatte. Eine besondere Genugtuung war mir, stets bei allen meinen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern die gleiche Einstellung, die gleiche Anhänglichkeit zu Herrn Nikolaus B. Jungeblut zu finden. Alles dies hat die Arbeit an dem Buch zur Freude gemacht.

Allen Förderern und Mitarbeitern nochmals herzlichsten Dank.

Charlottenburg, im Mai 1929.

Dr. Felix Singer

# INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Zueignung . . . . .	III
Vorwort . . . . .	V
Die geschichtliche Entwicklung . . . . .	1
Die physikalischen und chemischen Grundlagen . . . . .	27
Die Entstehung und Vorkommen der natürlichen Rohstoffe . . . . .	44
Die Gewinnung der Rohstoffe . . . . .	50
Die Aufbereitung . . . . .	57
Die Zusammensetzung der Masse . . . . .	67
Die Glasuren . . . . .	72
Die Formgebung . . . . .	76
Das Trocknen . . . . .	104
Das Brennen . . . . .	110
Die Bearbeitung . . . . .	130
Die physikalischen und chemischen Eigenschaften . . . . .	137
Die Anwendung . . . . .	143
Namen- und Sachverzeichnis . . . . .	157

# VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

(Die Bilder stehen den angegebenen Seiten gegenüber)

	Seite
Bild 1: Tongruben-Tagebau . . . . .	8
„ 2: Tonbagger . . . . .	16
„ 3: Kastenbeschicker . . . . .	24
„ 4: Kollergang . . . . .	28
„ 5: Filterpresse . . . . .	32
„ 6: Tonschneider . . . . .	40
„ 7: Freidreher . . . . .	44
„ 8: Eindrehen kleiner Töpfe . . . . .	48
„ 9: Eindrehen großer Waren . . . . .	56
„ 10: Aufstreichverfahren . . . . .	60
„ 11: Glätten aufgetragener Böden . . . . .	64
„ 12: Rohrpresse . . . . .	72
„ 13: Turmteilpresse und Absetzen von Turmteilen . . . . .	80
„ 14: Steinzeugkrümmer . . . . .	88
„ 15: Garnierung . . . . .	96
„ 16: Dreirohrschlange . . . . .	100
„ 17: Klinkerpresse . . . . .	104
„ 18: Transport einer Rohschale . . . . .	112
„ 19: Tunnelofen . . . . .	120
„ 20: Shaw-Gaskammerofen . . . . .	124
„ 21: Feuerungen des Ofens . . . . .	128
„ 22: Einsetzen in den Ofen . . . . .	136
„ 23: Flächenschliff . . . . .	144
„ 24: Transport von Großbehältern . . . . .	148
„ 25: Rundschliff . . . . .	152

# DIE GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG

Unter allen keramischen Massen nimmt „Steinzeug“ die zentrale Lage ein und zwar nicht nur, weil in den normalen, systematisch aufgebauten Überblicken über die verschiedenen keramischen Materialien und ihre Zusammenhänge im „Steinzeug“ wie in einem selbstverständlichen Mittelpunkt alle Fäden zusammenlaufen, sondern auch, weil alle Querschnitte, alle Wanderungen durch die Industrien immer in dieses Zentrum münden müssen.

Wird das einfachste keramische Produkt, der Ziegel, als Ausgangspunkt gewählt und seine Qualität, seine mechanische Festigkeit, seine Dichte und chemische Widerstandsfähigkeit gesteigert, so ist der Klinker, einer der Eckpfeiler der Steinzeugfabrikation, das Resultat. Eine andere Wegrichtung nimmt den zartesten keramischen Werkstoff, Porzellan, als Ausgangspunkt und beabsichtigt seine Verwendung nicht nur für zierliche Luxusgegenstände und kleinere technische Artikel, sondern für große industrielle Geräte, Maschinen, Isolatoren usw. Ihr Ziel ist das weiße Steinzeug und andere Steinzeugspezialmassen. Feuerfeste Fabrikate führen in ihrer Wandlung zum Steinzeug, wenn es sich darum handelt, ihre Säurebeständigkeit und Dichte zu erhöhen. Ebenso sind die wegen ihrer außergewöhnlich großen mechanischen Festigkeit bekannten Korundsteinzeugmassen gleichzeitig hochfeuerfest. Bei vielen Irdenwaren führt ein Brennen unter höherer Temperatur von selbst den Übergang zum Steinzeug herbei. Das gleiche gilt für viele Steingutwaren, die bei höherem Brande zu Feinsteinzeug werden.

Bildet so „Steinzeug“ den Mittelpunkt keramischer Betätigung, weil in ihm die Möglichkeiten aller keramischen Massen ruhen, so kann es nicht wundernehmen, wenn es zu allen anderen Zweigen der Tonwarenindustrie in Verbindung steht und die Steinzeugfabrikation in die Lage versetzt, die Arbeitsmethoden aller anderen Gruppen zu benutzen und in sich zu vereinigen. Dies ermöglicht die ungemein große Mannigfaltigkeit der Steinzeugfabrikate, die unendliche Vielseitigkeit ihrer Verwendung und die unbeschränkten Möglichkeiten ihrer Entwicklung in der Zukunft.

Die Berührungspunkte des „Steinzeugs“ mit den anderen keramischen Materialien lassen sich in seiner Geschichte überall aufweisen und durchziehen sie wie ein roter Faden. Überall sind Verbindungen und Berührungsflächen, die bei einer Schilderung der historischen Entwicklung des Steinzeugs nicht erlauben, in gerader Linie durch die Geschichte der Keramik zu führen, sondern gleich einem befruchtenden Strome seine Wasser nach den verschiedensten Seiten auszusenden. Die Notwendigkeit der Schilderung ist auch durch die teilweise verschiedenartige

bzw. im Tempo anders gestaltete Entwicklung der Steinzeugindustrie bedingt, die sie zu manchen Zeiten und in manchen Ländern auf wechselnden Wegen ging. Selbst bis zum heutigen Tage ist eine Unterscheidung zwischen dem kleinsten Töpferhandwerk, das, auf örtlichen Tonvorkommen fußend, seine Eigenart bewahrt hat, und der Großindustrie, die vom lokalen Rohmaterial mehr oder weniger unabhängige Fabrikate bekannter vorgeschriebener Qualität erzeugt, nicht zu vermeiden. Zu diesem Zwecke werden die örtlichen Rohstoffe gereinigt und mit geeigneten Zusätzen verarbeitet, um so die unendliche Mannigfaltigkeit der Tonvorkommen nach wissenschaftlichen Methoden zu einheitlichen Fabrikaten zu meistern.

Besonderer Betonung bedarf die Unterscheidung der Verwendung des Steinzeugs. Je nach den Erfordernissen der verschiedenen Kulturepochen erscheint das Steinzeug im Mittelpunkt einer anderen Fabrikationsmethode und Herstellungsart. Reine Gebrauchs- und kunstgewerbliche Erzeugnisse lösen einander ab, bis heutigen Tages — im Zeitalter der Technik — industrielle Fabrikate vorherrschen und sowohl die Arbeitsmethoden wie auch die Entwicklungsrichtung maßgebend bestimmen. Dies ist um so interessanter, als schon vor bald 2000 Jahren Steinzeug den industriellen keramischen Werkstoff bildete und poröse Erzeugnisse aus gebranntem Ton dem täglichen und Luxusbedarf dienten. Schon diese historische Entwicklung deutet für „Steinzeug“ auf die Urbestimmung, in allererster Linie der „Technik“ und ihrer Entwicklung zu dienen.

Bei der Geschichte kaum einer Industrie dürften so ferne Zeitläufe durchwandert werden, wie bei der Schilderung der ersten Erzeugnisse der Tonwarenindustrie. Es gibt kaum ein Produkt von Menschenhand, das so unverändert dem Zahn der Zeit trotzt, wie gebrannter Ton und die daraus hergestellten Fabrikate. Es ist dauernder als Erz und fester als Gestein. Diese Unveränderlichkeit keramischer Erzeugnisse und die Tatsache, daß sich dieses Handwerk innerhalb der verschiedensten Rassen völlig unabhängig voneinander entwickeln konnte, hat den Historikern die Möglichkeit gegeben, die Keramik als Maßstab und sicherste Kunde der Kultur verschiedener Völker und wechselnder Zeiten zu benutzen. So war es möglich, nachzuweisen, daß die Keramik in fast allen Erdteilen bereits einige Jahrtausende v. Chr. ausgeübt wurde und in den meisten Fällen als erstes Wahrzeichen menschlicher, schöpferischer Tätigkeit erscheint. Doch nicht nur durch sich selbst wirkt der gebrannte Tonscherben als Dokument, überliefern uns doch gebrannte Tontafeln durch ihre Inschriften in Keil- und Hieroglyphenschrift den Inhalt aller geistigen Betätigung zur Zeit der Babylonier, Assyrer, Ägypter usw. Wahrscheinlich wären die unzweifelhaft hohen geistigen Errungenschaften dieser Völker, insbesondere auf mathematisch-astronomischem Gebiete, ohne die Unveränderlichkeit gebrannter keramischer Massen der Nachwelt verloren.

Die Keramik scheint in ihren Uranfängen auf den Eiszeitmenschen, etwa 16000 v. Chr., zurückzugehen, und ihre allmähliche Entwicklung bietet das Bild eines ständigen Aufstiegs. Bekannt sind Erzeugnisse der Neolithiker 12000 v. Chr., der Menschen der jüngeren Eiszeit, der Ureinwohner Asiens. Bei den Indern, Persern, Chinesen, Japanern, Assyriern und Juden wurden keramische Produkte erzeugt. In Afrika und Europa, bei den Ägyptern, Griechen, Römern, Germanen, Galliern, Angelsachsen, in Amerika bei allen indianischen Urbewohnern, in Nord- und Südamerika, Mexiko usw. wird der jeweilige Stand der Kultur an den erhaltenen Keramiken gemessen.

Schon sehr früh und bei fast allen Völkern findet sich eines der interessantesten Werkzeuge der Töpferei, das bis zum heutigen Tage in fast unveränderlicher Form in Handwerksbetrieben Benutzung findet. Es ist die Töpferscheibe (siehe Bild S. 44), bei der eine Naturkraft, die Zentrifugalkraft, manchmal in wechselnder Form, stets nach dem gleichen Grundgedanken, im Dienste des Menscheistes ausgenutzt wird.

Die Fortschritte in der Kunst der Töpferei haben vielfach mit der kulturellen Entwicklung einzelner Völker Schritt gehalten. Sie bilden Zeugnisse der Veränderung des Geschmacks und veranschaulichen in der künstlerischen Gestaltung, Ausschmückung und Ornamentik ihrer Erzeugnisse die Höhe einer Kultur. Sind die keramischen Produkte im Äußeren Deutung der Kultur, so fordert die Entwicklung der Architektur und der anderen schönen und technischen Künste, also kulturelle Erscheinungen, als Gegenspiel eine Steigerung der technischen Qualität keramischer Massen und Glasuren. Das anfänglich begrenzte Können ließ fürs erste nur die Herstellung von stark porösen Gefäßen und Steinen in relativ niedrigem Brande zu. Im Laufe der Zeit, auf Grund der jahrhundertelangen Erfahrungen in der Auswahl und Handhabung der Rohstoffe, und mit der Entwicklung der Brenntechnik kam ein allmählicher Übergang zu immer dichteren, härteren und wasserundurchlässigeren Kunstprodukten. Mit der höchsten Steigerung dieser Eigenschaften, mit völliger Dichte, ist im Prinzip bereits „Steinzeug“ erreicht. Jede weitere Entwicklung bedeutet nur noch eine weitere Steigerung der Qualität, eine Verbesserung der mechanischen Festigkeit und chemischen Widerstandsfähigkeit dieses Werkstoffs, eine Entwicklung der industriellen Technik. Erst die neueste Zeit geht über diese graduelle Entwicklung hinaus zur bewußten Variierung der physikalischen Eigenschaften und ihrer inneren Zusammenhänge.

Die Chinesen, Koreaner und Japaner waren die ersten, die ein Steinzeug von hohen Qualitäten zu erzeugen vermochten. Ob Zähigkeit und Ausdauer, Beobachtungsgabe und Empirie, ob die Gunst der Verhältnisse, lokale Tonvorkommen

oder ein glücklicher Zufall zur ersten Herstellung des Steinzeugs führte, ist nicht bekannt. Man weiß nur, daß die übrigen asiatischen Völker, die Inder, die Perser, Mesopotamier, Syrier und alle übrigen mohammedanischen Völker, so weit sie es auch in der Kunst der Buntglasierung, Mosaiktechnik und Ornamentik des Irdengutes gebracht haben, bis heute auf derselben Stufe stehenblieben, die sie schon vor etwa 3000 Jahren innehatten. Sie erzeugen poröse Tonfabrikate, nämlich Ziegel, Fayence und Irdenware, Fliesen, Krüge usw. Die Chinesen lernten von den ihnen benachbarten Islamvölkern deren figurale und ornamentale Tontechnik und die damals als Geheimnisse gehüteten Rezepte der Buntglasierung kennen. Durch die Anwendung dieser Techniken auf ihre dichten keramischen Massen und durch kluges Anpassen an die veränderten Bedingungen entwickelten sie diese Kunst zur höchsten Blüte und Vollendung, die in mancher Hinsicht nie wieder erreicht wurde. Ähnlich verlief die Entwicklung bei den Koreanern und Japanern, doch blieben sie immer Nachläufer der Chinesen. Das erste vollkommen dichte, feine, braune Steinzeug wird mit Sicherheit bei den Chinesen in den ersten Jahrhunderten n. Chr. angetroffen und von den Kulturhistorikern vielfach, wenn auch fälschlich, zum Porzellan gerechnet. Im neunten Jahrhundert n. Chr. gelang den Chinesen auch die Herstellung von weißem Steinzeug, das als Übergang zum Porzellan zu werten ist. Die Entdeckung des Porzellans war einem Zufall zu verdanken, der Auffindung des Vorkommens eines Rohstofflagers in Changuanschin (der Provinz Schensi), das sämtliche benötigten Porzellanbestandteile im ungefähr richtigen Mischungsverhältnis enthielt. Die Chinesen haben dann vom 11. Jahrhundert n. Chr. an vorzugsweise Porzellan fabriziert und mit ihren kunstgewerblichen — auch heute der modernen Porzellanindustrie vielfach noch vorbildlichen — Erzeugnissen Weltberühmtheit erlangt.

Die Koreaner übernahmen die keramische Kunst von den Chinesen. Sie bevorzugten jedoch eine dichte Tonmasse von grauer Farbe: „Steinzeug“. Wahrscheinlich lernten durch sie die Japaner die Herstellung des Steinzeugs kennen, obwohl sie nachher zweifellos eigene Wege gegangen sind und hierbei Geräte des täglichen Bedarfs von unvergleichlicher Schönheit erzeugten. Formen und Farbenschönheit dieser ostasiatischen Schalen, Tassen, Teller, Vasen, Figuren usw. sind ganz eigenartig und fast stets bewunderungswürdig. Nur den ältesten japanischen Steinzeugtöpfen fehlt bunte Glasur. Später verwendeten auch die Japaner mit unvergleichlicher Meisterschaft farbige Glasuren und wetteiferten in der Wirkung ihrer Schöpfungen mit den Chinesen. Besondere Verwendung fanden bereits damals die Oxyde des Zinns, Bleies, Kobalts und Kupfers für die reizvollsten Überlaufglasuren. Die wertvollen praktischen Erfahrungen werden in alter Überlieferung von Generation zu Generation festgehalten und gepflegt. Besonders schön sind die ostasiatischen

Steinzeugvasen mit grünlicher, krackelierter Seladonglasur und die berühmten „Chinarotglasuren“, beides Vorbilder für zahllose europäische Nachahmungen. Nicht ganz unähnlich dieser ostasiatischen Entwicklung verläuft der Werdegang der europäischen Töpferkunst. Genau wie bei den Ost- und Westasiaten, Ägyptern und Juden sind die meisten Töpfereierzeugnisse des früheren Altertums nur poröses Irdengut. Die Funde bei den Griechen, Etruskern und Römern, bei den Spaniern und Germanen veranschaulichen zunächst den gleichen niederen Stand der Technik. Künstlerisch dagegen erreichen besonders die Fabrikate der Griechen eine staunenswerte Höhe. Ihre glasierten und unglasierten Terrakotten sind Zeugen eines formvollendeten Schönheitswillens. Zu bestimmten gewerblichen Zwecken scheint nach überkommenen Funden schon zur Bronzezeit eine dem hartgesinterten Steinzeug nahekommende Ware hergestellt worden zu sein. Ausgrabungen aus jener Vergangenheit lassen vermuten, daß es sich um Tiegel für Metallschmelzen handelte. Ob hierbei von zielbewußter Steinzeugherstellung geredet werden kann, erscheint sehr fraglich. Ganz anders verhält es sich mit den antiken Wasserleitungsrohren der Römer. Ausgrabungen in Heidelberg-Neuenheim, Bernkastel an der Mosel, Aachen, Raeren weisen so vollkommen übereinstimmenden Charakter auf, daß wohl absichtliche Herstellung des dichten Scherbens angenommen werden darf. Die Qualität dieses römischen Steinzeugs ist hervorragend, und moderne Prüfungsmethoden beweisen, daß es sich hier um ein Erzeugnis handelte, das mit Recht als der erste Vorläufer dieses modernen Werkstoffs für technische und industrielle Zwecke bezeichnet werden muß. Zweifellos sind die Römer in dieser Fabrikation durch den glücklichen Zufall geeigneter Rohtone begünstigt worden. Nach vergleichenden Untersuchungen müssen sie die frühsinternden Westerwälder Tone benutzt haben. Mit dem Verfall der römischen Herrschaft scheint jedoch auch ihre Töpferkunst und ihre erste Fabrikation technischen Steinzeugs in Vergessenheit geraten zu sein.

Besondere Verdienste um die Entwicklung der Keramik, um den inzwischen verlorengegangenen Sinn und das Interesse für Schönheit und tiefere Kenntnis der keramischen Technik und Kunst erwarben sich die Araber unter der Herrschaft der Omajjaden (755 bis 1031 n. Chr.). Als bedeutendste Träger und Vermittler von Kunst und Wissenschaft jener Zeit verpflanzten sie, von Arabien über Nordafrika ziehend, ihre einheimische, edle Töpferkunst auch auf die pyrenäische Halbinsel. Die Araber und Mauren Spaniens sind es auch, die mit der sogenannten Emailglasur für Tonwaren eine wichtige technische und geschmackliche Verbesserung schufen. Damals war bereits die durchsichtige Bleiglasur bekannt. Sie hatte aber infolge ihrer Transparenz den Nachteil, die manchmal unerfreuliche Farbe der hergestellten

Tonwaren nicht zu verdecken. Der von den Mauren gebrauchte Zusatz von Zinnoxid machte die Glasur weiß und undurchsichtig, verdeckte die darunter befindliche rötliche Masse des gebrannten Tones und erhöhte die künstlerischen Möglichkeiten. Der kulturelle Einfluß der spanischen Mauren erstreckte sich jedoch anfangs ausschließlich auf das von ihnen mit Waffengewalt unterworfenen und beherrschte Gebiet. Daher dauerte es einige Jahrhunderte, bis die Emailkünste der Araber die Keramik des übrigen Europas befruchteten und förderten. Zuerst lernten die Italiener nach der Eroberung der Insel Majorka durch die Pisaner von den dort angesiedelten maurischen Töpfern die Herstellung emaillierter Ziegel und Fliesen, sowie farbige Dekorationsmethoden. Die Entwicklung dieser Technik hat die Insel Majorka berühmt gemacht und dem Fabrikat „Majolika“ seinen Namen gegeben. Von Majorka verbreitete sich die Emailglasurtechnik über ganz Italien und von dort nach Frankreich und Deutschland. Hier wurde sie nicht nur für poröse Irdenware, sondern auch auf Kreußener Steinzeug benutzt, eines der vielen interessanten Beispiele, in wie engen Beziehungen alle keramischen Techniken zum Steinzeug stehen.

Wann und wo in Europa nach der verlorengegangenen Technik altrömischer Töpfer Steinzeug erneut erfunden und hergestellt wurde, ist unbekannt. Vermutlich hat sich die Fabrikation rheinabwärts über Flandern nach Frankreich und über Holland nach England verbreitet. Wenn auch durch nichts bewiesen, so ist doch der Gedanke naheliegend, daß die neue Entstehung der Steinzeugtechnik auf ähnlich günstigen Rohstofflagern fußte, wie die römische Fabrikation. Ob nun der erste Steinzeugtöpfer aus dem Westerwald, aus Siegburg oder aus Frechen stammte, muß eine für die historische Forschung offene Frage bleiben. Jedenfalls hat sich in Deutschland die Steinzeugtechnik verhältnismäßig rasch auch an vielen dem Rhein fern gelegenen Orten, z. B. in Thüringen, Bayern, Schlesien, Sachsen und der Mark Brandenburg besonders günstig entwickelt. Wo geeignete Tonlager gefunden wurden, entstand schon im Mittelalter eine beachtenswerte Steinzeugindustrie. Die ältesten Fundorte deutschen Steinzeugs mit geschlossenem, dichtem Scherben befinden sich im Stadtgebiet von Aachen und in dem unweit davon gelegenen Raeren. Neben dem typischen Steinzeug der römischen Legionen wurden hier Stücke aus der fränkischen Zeit gefunden. Und zwar handelt es sich um Gefäße wechselnder Wandstärke mit und ohne Ausguß und noch ohne Salzglasur. Auch in der Nähe von Köln muß, nach Ausgrabungen zu schließen, schon im zweiten Jahrhundert n. Chr. eine Fabrik für Steinzeug bestanden haben. Ihre Geschichte und Entwicklung, ihre Blüte und ihr Verfall sind leider nicht näher bekannt; die Qualität ihrer Erzeugnisse entspricht dem allgemeinen Typus der Steinzeugfabrikation jener Zeit.

Charakteristisch für das alte rheinische Steinzeug ist der harte, bis zur Sinterung gebrannte und daher vollkommen dichte Scherben und das Fehlen der Glasur. Es wird angenommen, daß die Salzglasur eine rheinische Erfindung des 11. Jahrhunderts ist. Sicherlich war schon im 12. Jahrhundert die Steinzeugfabrikation unter Anwendung der Salzglasur in Aachen im Gange. Aus dem 14. Jahrhundert stammen gesinterte, dünnwandige, schlanke Gefäße besonderer Schönheit. Viele glasierte und unglasierte Steinzeugstücke zeigen die charakteristischen Formen der romanischen Periode in außergewöhnlicher Vollkommenheit. Das Hauptzentrum der Steinzeugfabrikation liegt, von der Mitte des 15. Jahrhunderts an, den Rhein abwärts bis nach Holland und Frankreich. Gewöhnlich wurde das deutsche, rheinische Steinzeug als „flandrisches“ (grès de Flandre) oder auch als „kölnisches“ bezeichnet. Die künstlerische Ausbildung stand verhältnismäßig hoch und als ihre Hauptblüte gilt die Raerener Kunsttöpferei im 16. Jahrhundert, die ein besonders schönes, braunes Steinzeug herstellte. Um diese Zeit finden die bis dahin nur in gewissen Gegenden und für bestimmte Waren verwendeten Salzglasuren allgemeine Verbreitung. Die Töpfer verstehen nun nicht nur den Seidenglanz und die Narbigkeit des Salzglasuranfluges künstlerisch zu verwerten, sondern sie kombinieren auch zum ersten Male Salzglasur mit Farboxyden bzw. farbigen Glasuren. Kobaltoxyd dient für die Herstellung blauer „Smalten“, Manganoxyd für violette Farbtöne. Gleichzeitig werden in Nachahmung römischer Töpferwaren, besonders der bekannten „Terra sigillata“, plastische Verzierungen eingedrückt und kunstgewerblich im Ziel der Zeit gestaltet.

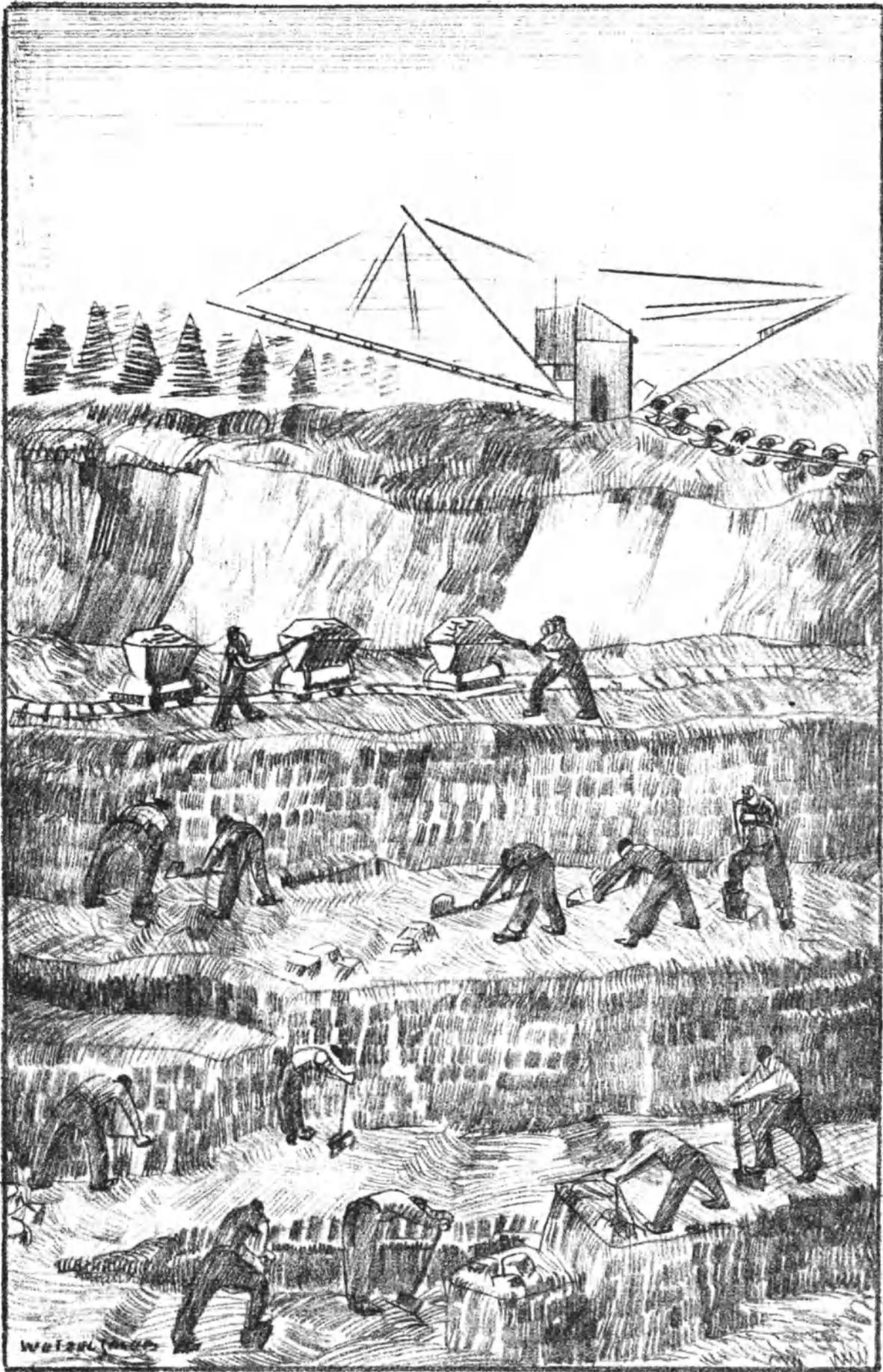
Es herrschte damals bereits ein so weitgehender Austausch fertiger Steinzeugerzeugnisse und technischer Erfahrungen, daß in den hauptsächlichsten Zentren der Steinzeugfabrikation in den Gegenden von Siegburg, Köln, Frechen, Raeren, Grenzhausen, Höhr, Bunzlau, Muskau, Kreußen (Bayern) und Bouffieux (Belgien) im Grunde genommen technisch recht ähnliche Erzeugnisse hergestellt wurden. Die immer noch vorhandenen Unterschiede, welche für die Entwicklung vielfach nicht ohne Bedeutung blieben, haben ihre Gründe nur teilweise in den lokalen Rohmateriallagern, zum anderen Teile in der bewußt anders geführten Fabrikationsweise, Brenntechnik usw. Es gab nun schon Steinzeug mit weißlichem bis perlgrauem Scherben, gelbliches Material, Waren mit bläulichgrauem Scherben, mitteldeutsches Steinzeug mit einer tiefdunkelbraunen Bruchfarbe und ostdeutsches Steinzeug.

Die älteste Fabrikationsstätte von Steinzeug mit weißlichem bis perlgrauem Scherben ist Siegburg, wo besonders Schnabelkannen, Pinten usw. hergestellt werden. Nach der Feinheit des Scherbens sind diese Erzeugnisse technisch am

treffendsten als Feinsteinzeug zu bezeichnen. Die ausgezeichnete Feinheit der Masse, verbunden mit ihrer großen Plastizität, gestattete besonders weit ins Detail gehende Verzierungen durch Reliefs, die in reichem Maße Benutzung finden. Um diese Feinheiten recht deutlich zur Geltung zu bringen, zumal der vollkommen dichte Scherben der Glasur entbehren kann, wurden hier des öfteren auch unglasierte Gefäße hergestellt.

Gelbliches Steinzeugmaterial mit brauner Salzglasur verschiedener Tönung ist für die Industrie von Raeren bei Aachen und Köln-Frechen charakteristisch. Häufig zeigen diese Waren auch blauschwarzen Scherben.

Das Nassauische oder Westerwälder Steinzeug, besonders aus der Gegend Höhr-Grenzhausen, zeichnet sich durch bläulichgrauen Scherben, eingeschnittene Verzierungen und blaue, violette und braune Dekorationen aus. Wahrscheinlich haben die Römer im Westerwald nicht nur Steinzeug fabriziert, sondern die Westerwälder Steinzeugtone auch für ihre Fabrikationen an anderen Produktionsstätten verwendet. Diese unvergleichlich große und qualitativ hochstehende Rohstoffbasis ist die Ursache, warum im Westerwald das Töpfereigewerbe niemals ausgestorben ist und sich im Wandel aller Zeiten erhielt. Sie ließ die Industrie alle Veränderungen überdauern, die sich aus der politischen und religiösen Lage, aus dem Wandel der wirtschaftlichen Situation und der Kunstrichtung ergaben. Im 15. und 16. Jahrhundert waren Hauptfabrikationsartikel spitze Krüge in salzglasierter, rotbrauner Farbe. Durch ausgewanderte Siegburger und Raerener Töpfer lernten die Westerwälder Ende des 16. Jahrhunderts das graue Steinzeug herstellen, das bald, besonders für bessere Erzeugnisse, die ursprünglich rotbraune Ware verdrängte. Trotzdem blieb auch dieser Fabrikationszweig bis zum heutigen Tage erhalten, wenn er sich auch auf die Herstellung von Mineralwasserkrügen beschränkt. Die Gründung der keramischen Fachschule in Höhr-Grenzhausen im Jahre 1879 und ihre Entwicklung trägt neuen Aufschwung in das uralte Töpfergewerbe. Zahlreiche Töpfereien stellen sich auf moderne Fabrikationsverfahren um. Die technische Entwicklung wird in weitgehendstem Maße von der Wissenschaft befruchtet, der Geschmack von den Kunstrichtungen der Zeit entwickelt. Hier müssen besonders folgende Künstlernamen genannt werden, die maßgebenden Einfluß genommen haben: Riemerschmied, Behrens, van der Velde, Niemeyer, Wynand, Kamp. Maßgebenden Einfluß auf diese Entfaltung in technischer und künstlerischer Hinsicht hat besonders Berdel, der Fachschuldirektor, genommen. Heute werden im Westerwald hauptsächlich kleine Steinzeugwaren des täglichen und häuslichen Bedarfs und kleinere technische Artikel hergestellt. Auf dem Gebiet der Haushalts- und Gebrauchsgegenstände zeichnen sich die Erzeugnisse nicht nur durch



einwandfreie technische Ausgestaltung aus, sondern auch den Anforderungen in künstlerischer Beziehung wird vollauf Genüge getan.

Von den bisher geschilderten Steinzeugarten weicht das tiefdunkelbraune, sogenannte mitteldeutsche Steinzeug vollkommen ab. Sein Haupterzeugungsort ist Kreußen bei Bayreuth. Die hier hergestellten Spezialitäten, Bierkrüge und Kannen, sind durch plastische Ornamente verziert und fast stets vielfarbig mit Schmelz- und Emailfarben bemalt. An der Entwicklung dieses Kreußener Steinzeugs läßt sich gleichzeitig wohl am besten der Fortschritt der keramischen Farbentechnik, besonders der Zinnemailfarben, verfolgen. Dieses Steinzeug ist der Vorläufer des nachher so berühmt gewordenen Böttchersteinzeugs (fälschlich auch Böttcherporzellan genannt).

Von altersher und bis zum heutigen Tage besitzt Ostdeutschland einige Zentren der Steinzeugindustrie von ganz besonderer Berühmtheit. Die Ortsnamen „Muskau“ und „Bunzlau“ kennzeichnen nicht nur die Mittelpunkte von Industrien, sondern sie bedeuten in der Keramik in sich abgeschlossene Begriffe für Fabrikationseigenheiten, die heute an vielen Orten zwar nachzuahmen versucht werden, ihren Ursprung aber von einer Jahrhunderte alten Muskauer und Bunzlauer Tradition herleiten. Beide Steinzeugzentren gründen sich auf die ausgedehnten Tonlager der Umgebung, die, früh gefunden und in ihrem überragenden Werte erkannt, rasch zweckmäßigste Verwendung fanden.

Lange vor 1654, dem Gründerjahre der Muskauer Töpferinnung, blühte in dieser „Stadt des guten Tones“ dieses edle Handwerk. In zahlreichen Museen findet man eine Auslese der wundervollen farb- und formschönen, mit reichem Schmuck verzierten, glasierten Krüge, die, aus dem 17., 18. und 19. Jahrhundert stammend, einen aufschlußreichen Einblick in die Entwicklung der dortigen Kunsttöpferei geben. Im 19. Jahrhundert sind die schwarzgeränderten und eingeritzten Krüge für Muskau besonders typisch; seit 1860 wird neben der Salzglasur auch die Feldspatglasur angewandt, die es gestattet, dem Innern des Topfes eine weiße Farbe zu geben.

Ebenbürtig neben Muskau steht Bunzlau mit seinem keramischen Gewerbe. Die Bunzlauer Töpferei erlebte drei Blütezeiten: die erste Ende des 18. Jahrhunderts, die zweite in der Mitte des 19. Jahrhunderts und den neuesten Aufstieg seit der Gründung der keramischen Fachschule um die Wende des 20. Jahrhunderts. In den ersten beiden Perioden erreichten die belegten Geschirre ihre höchste technische und künstlerische Vollendung, so daß sie zu den Zierden aller kunstgewerblichen Sammlungen zählen. Diesen Geschirren verdankt die Stadt Bunzlau ihren Weltruf. Hierbei ist es besonders interessant, daß die ältesten Fabrikate genau dieselbe braune

Lehmglasur tragen, die auch heute noch in Bunzlau Verwendung findet. Denn im Gegensatz zu den meisten der bisher beschriebenen Geschirre wird für Bunzlauer Töpfe keine Salzglasur verwendet.

Bereits seit Jahrhunderten wurde in verschiedenen Orten Niederschlesiens „Braungeschirr“ fabriziert, so in Liegnitz, Haynau, Goldberg, Löwenberg, Naumburg a. Q., Seidenberg, Görlitz, Bunzlau usw. Eine besonders günstige Entwicklung nahm schon zu früher Zeit die Töpferei in Bunzlau, dank der in nächster Nähe vorkommenden, außerordentlich guten, umfangreichen und sich für die Freidreherei besonders eignenden Tonlager, die auch die Grundlage seiner heutigen keramischen Industrie bilden. In den Akten jener Zeit verraten nur sehr wenige Belege das Vorhandensein des Töpfereigewerbes. Nicht einmal das Gründungsjahr der Bunzlauer Töpferinnung steht fest; doch enthalten einige Schriftstücke der Innungen der Nachbarstädte Interessantes über die alte Bunzlauer Töpferei. So beklagen sich die Meister des „Mittels“ der Töpfer zu Liegnitz seit 1594 wiederholt bei dem Rat der Stadt über den harten Wettbewerb der Töpfer umliegender Ortschaften, besonders wird hierbei „Bunzlau“ genannt. Andere Urkunden beschreiben die Errichtung einer Töpferei in Naumburg a. Q. im Jahre 1547 durch einen Bunzlauer Töpfergesellen, welcher das Niederlassungsrecht in Bunzlau nicht erhalten konnte, da das Statut der Bunzlauer Töpfer nur fünf Töpfermeistern das Privileg einräumte. Als Schlesien an das Königreich Preußen fiel, kassierte Friedrich der Große bald diese Innungsprivilegien, suchte jedoch auf anderen Wegen die Töpferei zu heben. Er sorgte für Belehrung, Schaffung neuer Absatzgebiete, ließ gute Techniker kommen, von bedeutenden Künstlern Entwürfe ausführen usw. Auch ließ er Versuche anstellen, aus Bunzlauer Ton Fayence oder Porzellan herzustellen; eine Zeitlang wurde sogar die Errichtung einer königlichen Versuchsfabrik in Erwägung gezogen. Einen fördernden Einfluß übte auch ein verschärfter Wettbewerb auf das Bunzlauer Gewerbe aus. Als durch das Erscheinen größerer Mengen Porzellans, Steinguts und Fayence auf dem Markte Ende des 18. und Anfang des 19. Jahrhunderts das Bunzlauer Töpfergewerbe zurückgedrängt wurde, setzten verdoppelte Bemühungen ein, das Feld zu behaupten. Besonders die Brauntöpferei erfuhr durch diese Bestrebungen sowohl qualitativ als auch quantitativ einen großen Aufschwung. Die Töpfer stellten nun nicht nur das gewöhnliche Geschirr für den Haushalt her, sondern fabrizierten auch kompliziertere Gefäße für Apotheken und Laboratorien, auch Kachelöfen und Wasserleitungsröhren, sogar Kunstgegenstände, wie Nachbildungen griechischer Vasen, wurden gefertigt.

In jenen Jahren des Ringens und Vorwärtsschreitens erwarb sich Joh. Gottl. Altmann in Bunzlau um die heimische Industrie große Verdienste. Besonders

wertvoll ist seine Ausarbeitung der Zusammensetzung der völlig giftfreien Feldspatglasuren zum Ersatz der bisher benutzten giftigen Bleiglasur. Für diese Ausarbeitung erhielt er den von der Regierung ausgesetzten Preis von 50 Talern. Altman gelang auch die Zusammensetzung einer Porzellanmasse aus Bunzlauer Ton mit geeigneten Zusätzen, aus welcher er zierliche Tassen und geschmackvolles Tafelgerät herstellte. Durch alle diese Arbeiten und seine Produkte drang sein Ruhm rasch über die engere Heimat hinaus, so daß seine Kunst nicht allein von den Königen Friedrich Wilhelm III. und Friedrich Wilhelm IV., sondern auch jenseits des Kanals hochgeschätzt wurde. Auf der Londoner Weltausstellung 1844 wurde er durch die Verleihung der goldenen Medaille ausgezeichnet.

In der Mitte des 19. Jahrhunderts erhielt die Bunzlauer Töpferei einen empfindlichen Rückschlag. Ein stetiges Steigen der Arbeitslöhne, der Rohstoffpreise, die wachsende Konkurrenz des immer billiger werdenden Steinguts, Porzellans und Emailgeschirrs ließen das Bunzlauer Töpfereigewerbe immer mehr zurückgehen. Eine Reihe von Firmen stellte ihren Betrieb ein, und andere mußten ihre Produktion einschränken. Entmutigt traute mancher Töpfer sich an bessere, kunstvollere Ware nicht heran, da der Absatz in Frage gestellt war. Unbenutzt gerieten viele bewährten Fabrikationsmethoden und Dekorationsverfahren schnell in Vergessenheit, und nur die gewöhnlichsten, einfachsten Waren wurden weiter hergestellt. Die Ausbildung der Lehrlinge mußte dabei notgedrungen immer schlechter werden; es machten sich alle Zeichen des Verfalls bemerkbar. Aber nun, als im Anfang der achtziger Jahre ihr Hauptgewerbe dem Untergang entgegentrieb, faßte die Bunzlauer Stadtverwaltung den Gedanken, es müßte dem Niedergang der Bunzlauer Töpferei durch die Gründung einer keramischen Fachschule entgegengewirkt werden. Nach Überwindung zahlloser Schwierigkeiten gelang es schließlich dem preußischen Staate, im Jahre 1897 diese Schule ins Leben zu rufen und einen außergewöhnlich trefflichen Mann, W. Pukall, zur Leitung zu gewinnen. Die Errichtung dieses Instituts bedeutet einen Wendepunkt in der Entwicklung der keramischen Industrien Bunzlaus und den Beginn ihrer dritten Blütezeit. Neben ihrer vorwiegenden Aufgabe, der Ausbildung eines geeigneten Nachwuchses, nicht nur für das Bunzlauer Töpfereigewerbe, sondern für die gesamte keramische Industrie Deutschlands, gewann die keramische Fachschule Bunzlaus durch ihre Musterarbeiten und Betriebe rasch maßgebenden Einfluß auf die benachbarte Industrie. Der Lehrplan Pukalls für die Besucher der keramischen Fachschule sieht selbstverständlich eine gleichmäßige Ausbildung auf allen tonindustriellen Disziplinen vor. Die praktische Durchführung zeigt häufig eine besondere Konzentration auf dem Steinzeuggebiet als dem Zentrum keramischer Betätigung, von dem ausgehend verhältnismäßig leicht alle anderen

angrenzenden Fachgebiete zu überblicken sind. Die bedeutungsvollen Erfolge, die Pukall mit seinen Schülern auf allen Fachgebieten der keramischen Industrie erzielte, sind bester praktischer Beweis für die Verwendbarkeit steinzeugindustrieller Arbeitsmethoden in der Porzellan- und Steingutindustrie, zur Herstellung von Irdenware und feuerfesten Produkten. Die ersten Erfolge traten im Bunzlauer Töpfergewerbe bald zutage. Einige Fabriken benutzten Pukalls Anregungen und verwendeten die Aufbereitungsmethoden und Arbeitsverfahren, die in anderen Gewerbezweigen bereits zum Erfolg geführt hatten, in sinnreicher Anpassung an Material und Sonderzweck. Hierdurch wurden zunächst in einigen — nicht mehr handwerksmäßig, sondern maschinell betriebenen — Werkstätten die „Bunzlauer Töpfe“ sehr verfeinert. Von der Aufbereitung des Tones bis zur Fertigstellung der Ware wurden die Arbeitsmethoden wesentlich verbessert. Das Verfahren der Porzellan- und Steingutindustrie wurde übernommen, und die Maschine trat in zahlreichen Fällen an die Stelle früherer Handarbeit. Das Freidrehen der Töpfe auf der mit menschlicher Kraft betriebenen Töpferscheibe wurde durch das maschinelle Eindrehverfahren in Gipsformen abgelöst (siehe Bild S. 48 u. 56) und dadurch stets gleichartige und präzisere Ware erzielt. Unzählige Gegenstände wurden mit Hilfe des Gießverfahrens hergestellt. Neben den alten Kasseler Ofen traten immer mehr die rationelleren Öfen mit überschlagender Flamme, Gaskammeröfen und schließlich das rationellste aller Ofensysteme, der Tunnelofen. Besonders hat sich das Aussehen der erzeugten Gegenstände verbessert. Die alte „Bunzlauer Kaffeekanne“ trug dem modernen Geschmack Rechnung und wußte unter pietätvoller Anlehnung an die alten Formen durch neue Gestaltung und Dekoration ihren alten Ruhm zu erneuern. Der früher verwendete rohe, nicht verfeinerte Bunzlauer Ton machte einer dichten Steinzeugmasse Platz. Die natürliche, äußere Lehmglasure wurde von einer gleichmäßigen künstlichen Braunglasure abgelöst, welche die Kannen und Tassen jetzt, wie früher, an ihrer Außenseite tragen, während die Innenseite durch eine farblose Feldspatglasure ihre natürliche silbergraue Farbe erkennen läßt. Manche Service schmücken auch andersfarbige Glasuren und ermöglichen hierdurch im Verein mit dem Formenreichtum die große Abwechslung der Bunzlauer Fabrikation bei gefälligen, leichten Gefäßen, welche von der früher oft herrschenden Plumpheit nichts mehr verraten. Alle Techniken der Porzellanindustrie finden auf Bunzlauer Feinsteinzeug Anwendung. Dank der niedrigen Brenntemperatur ist die benutzbare Unterglasurpalette außerordentlich reichhaltiger als beim Hartporzellan.

Die typischen Bunzlauer Krüge aus dem 17. Jahrhundert bestehen aus einer weißgelben Steinzeugmasse. Ihre eigentümliche, meist gefällige Form trägt einen kleinen Hals auf einem runden Körper. Zuweilen sind durch Stempel hergestellte

Reliefverzierungen, kleine Masken und Ornamente, gewöhnlich in Rautenform, an der Oberfläche angebracht. Eines der ältesten Stücke, eine Kruke im Breslauer Altertumsmuseum, hat ganz nach dem Muster Kreußens und fränkischer Fabrikate einen eckigen Körper mit Schmuckwerk in Reliefverzierungen und Engelsköpfen. Dazwischen sitzen einfach geschnittene Felder. Unter dem Halse findet sich eine vertiefte, lateinische Inschrift. Die glänzende Glasur ist äußerlich dieselbe der späteren Kunsterzeugnisse Bunzlaus. Die Krüge wurden im 18. Jahrhundert schlanker, die Körper (Bäuche) ovaler und sind sehr häufig genarbt. Die Glasur variiert hier zum ersten Male und erscheint an einzelnen Stücken umbrafarben. Feinere Ware, wie die zierlichen Kaffee-, Milch- und Teekännchen, erhielten eine Dekoration von reliefierten Blumen, Wappen (früher österreichischen, später preußischen), Freundschaftssymbolen in der ein wenig glasierten, gelblichen Originalmasse der Gefäße. Diese alten Dekorationsweisen feiern nun neue, gesteigerte Triumphe, da die Qualität aller Waren eine bessere geworden ist.

Parallel der Entwicklung der Steinzeugindustrie Deutschlands vollzogen sich die gleichen technischen Fortschritte auch in Holland, wo in der Umgebung von Delft schon zur Zeit Heinrichs IV. die Fabrikation von Irdengeschirr aufgenommen worden war. Etwa im Jahre 1433 beginnt hier die Steinzeugherstellung. Viele gut erhaltene Exemplare von Wasserkrügen, die vorn unter dem Ausguß eine bärtige Maske tragen und danach Graubärte oder Bartmänner genannt werden, stammen aus dieser Epoche. Die ältesten Exemplare sind von gelblichweißer Farbe, ohne Glasur und mit biblischen und allegorischen Bildern verziert, die in kupfernen Formen gepreßt wurden. Die späteren Fabrikate haben eine bräunliche und rötliche Farbe. Ihre Verzierungen in Relief stellen Figuren, Wappenschilder, Devisen, Blätterwerk und dergleichen dar. Die Glasur der Verzierungen ist sehr hart und sehr glänzend. Das flämische Steinzeug kommt mit dem deutschen überein. Die Glanzperiode seiner Fabrikation reichte von 1540 bis 1620.

In Frankreich scheint Steinzeug schon im 15. Jahrhundert, also ziemlich früh angefertigt worden zu sein; besonders in Savignies bei Beauvais entwickelte sich, auf lokalen Tonvorkommen aufbauend, diese Industrie. Hierbei wurde ein geringerer Wert auf Luxus- und zierliche Gebrauchsgegenstände gelegt, obwohl auch diese in besonderer Vollkommenheit hergestellt wurden. Das Hauptfabrikat waren sehr große Gefäße, z. B. Wasserstandgefäße bis 110 cm Höhe und 90 cm Körperdurchmesser, die sehr wohl als die Vorläufer des heutigen Steinzeugs für chemische Zwecke betrachtet werden können.

In England hat sich die Steinzeugindustrie erst wesentlich später entwickelt. Im Mittelalter scheint die Töpferei verhältnismäßig daniederzulegen zu haben.

Der Bedarf wurde fast ausschließlich vom Ausland gedeckt. Nur einige wenige fremde Handwerker scheinen sich in England niedergelassen zu haben und da ihre Kunst zu betreiben. Daher begann das Töpfereigewerbe zunächst mit einigen wenigen Werkstätten etwa im 14. bis 15. Jahrhundert. Zeugnis geben davon die recht interessanten Ruinen eines Töpferofens in der Nähe von Lincoln, sowie Tonscherben mit Bleiglasur, die dort gefunden wurden. Unter solchen Verhältnissen konnten erst im 17. Jahrhundert dichte Steinzeugwaren hergestellt werden. Aus diesem Material sind dann in großen Mengen Schüsseln, Teller, Krüge, Weinkrüge und andere Gegenstände des täglichen Bedarfs aus den Fabriken in Lambeth, Fulham, Liverpool und Staffordshire auf den Markt gebracht worden. 1688 errichteten Gebr. Elers aus Nürnberg in Staffordshire eine große Töpferei. Sie siedelten 1710 nach Lambeth über und waren die Begründer der dortigen Steinzeugindustrie, die besonders durch den Namen Doulton, als den eines der ersten und erfolgreichsten englischen Steinzeugfabrikanten, berühmt geworden ist. Doulton hat später auch das Luxussteinzeug weiter ausgebildet und eine Ware geschaffen, die als Doulton- oder Lambethsteinzeug mit gelblicher bis dunkelbrauner Farbe des Scherbens sehr angesehen ist. In der Grafschaft Staffordshire, welche heute fast den ganzen Steinzeugbedarf Englands hervorbringt, entwickelte sich in jener Zeit eine intensive Steinzeugfabrikation. Im Jahre 1700 hatte allein Burslem in Staffordshire 22 Öfen mit je acht Feuerungen und 1852 zählte dieselbe Gegend 133 Tonwarenfabriken mit über 60 000 Arbeitern. Besonders zeichnete sich Wedgwood aus, dessen geniale Begabung auf diesem Gebiet der englischen Kunsttöpferei zu Welt-ruhm verhalf; die englische Wedgwoodware gehört zu dem besten Feinsteinzeug für künstlerische Zwecke, das es gibt.

Josiah Wedgwood (1730 bis 1795) hat insbesondere durch Vervollkommnung des Verfahrens, den Ton durch Zusatz von Feuerstein in seinen Eigenschaften dem Porzellan näher zu bringen, wie auch in künstlerischer Hinsicht die Fabrikation auf eine hohe Stufe gebracht. Seit 1795 wurde von ihm in Burslem das schöne, rahmfarbene, dekorierte Steinzeug hergestellt, das später unter der Bezeichnung „Queenware“ berühmt wurde.

Noch bekannter wurde die Fabrik durch die sogenannte Jaspisware, die noch heute mit dem Namen Wedgwood identifiziert wird. Als Vorbilder dienten dabei antike Gemmen und Überfanggefäße — beispielsweise die Portlandvase —, nach denen vielfach mit Hilfe italienischer Modelleure die Steinzeuggefäße aus biskuitartiger Masse mit weißen, meist äußerst zartgliedrigen Reliefs auf blauem oder grünem Grunde hergestellt wurden. Ferner wurden auch Gegenstände aus schwarzem und rotem Steinzeug, sowie zahlreiche andere Artikel erzeugt. Abgesehen von den

kunstgewerblichen Verdiensten Wedgwoods nahmen die Fabriken, welche 1770 nach dem neugegründeten Orte Etruria bei Newcastle verlegt wurden, auch in kommerzieller Hinsicht großen Aufschwung. Die Erzeugnisse verbreiteten sich über die ganze Welt und verdrängten dank ihrem billigen Preise vielfach die Steingutwaren aus dem häuslichen Gebrauch. Der Wert der Produktion belief sich auf jährlich über £ 900 000. Seit Wedgwood im 18. Jahrhundert die englische Steinzeugfabrikation zu solch bedeutendem Ansehen gehoben hatte, überflügelte England bald alle anderen Staaten sowohl nach dem Umfang als auch in der Hochwertigkeit, insbesondere der technischen Waren. Es beherrschte den Weltmarkt völlig, und bis zum Anfang des 19. Jahrhunderts waren die Verbraucher allein auf England angewiesen.

Das 19. Jahrhundert brachte den Beginn grundlegender Änderungen der Entwicklung der Steinzeugindustrie, vor allem in der Art der Fabrikate und dadurch auch in der Standortsfrage. Geht bisher wie ein roter Faden durch die Geschichte der Steinzeugindustrie die Entwicklung von geschmacklich beeinflussten Geräten und Gefäßen für Haushalt und Zierde, für täglichen Gebrauch und Luxus, traten bisher die Erzeugnisse für Technik und Industrie als seltene Ausnahmen zurück, so erscheinen sie im 19. Jahrhundert in jeder Beziehung maßgebend im Vordergrund. Die Bedürfnisse der Steinzeug gebrauchenden Industrie und Technik gebieten die Entwicklung: Gefäße und Geräte, Röhren und Wannen, Apparate und Maschinen werden nicht mehr geschmacklich beeinflusst, sondern stets nach reinen Zweckmäßigkeitsgründen geformt. Sie werden nicht nur immer größer und mächtiger, auch ihre Qualität macht Wandlungen durch, denn es müssen die Erfordernisse des Städtebaus, der chemischen Industrie und Elektrotechnik immer besser und vollendeter befriedigt werden. Die Entwicklung der Steinzeugindustrie im 19. Jahrhundert ist beherrscht durch ein Zurücktreten der Erzeugnisse für häuslichen Gebrauch und eine überwiegende Ausbreitung der Fabrikation von Kanalisationsrohren, Geräten und Apparaten für die chemische Industrie, ganz allgemein „Steinzeug für technische und industrielle Zwecke“.

Die Führung und größte Ausdehnung auf dem Gebiet technischen Steinzeugs gewann verhältnismäßig rasch die Fabrikation von Kanalisationsrohren, die im Anfang des 19. Jahrhunderts zunächst in England Fuß faßte. Dem englischen hochfeuerfesten Rohmaterial entsprechend, waren diese Rohre größtenteils stark porös. Sie werden heute noch in England als „Earthenware“ bezeichnet. Der Vorzug bei der Fabrikation dieser Ware beruht in der geringen Trocken- und Brennschwindung. Ihnen verdankten diese englischen Rohre ihre absolute Rundheit. Außerdem waren sie verhältnismäßig leicht vollkommen gerade und besonders maßgenau herzustellen.

Als Gegenseite dieser Vorzüge hatte das Kanalisationsmaterial den Nachteil der Durchlässigkeit für Abwässer. Dadurch war die Gefahr der Verunreinigung und Infektion der Grundwässer bedingt (Choleraepidemie Hamburg, Typhus München). Dies veranlaßte die deutsche Steinzeugindustrie, mit Hilfe der Wissenschaft den technisch schwierigeren Weg zu gehen, die Fehler auszuschalten und nur die Vorzüge zu vereinigen. Die in Deutschland reichlich vorkommenden früh sinternden Steinzeugtone haben eine größere Trocken- und Brennschwindung und verziehen sich daher leichter im Brande als die vielfach in England verwendeten hochfeuerfesten Tone. Diese Schwierigkeiten wurden durch systematische Arbeit überwunden, und zunächst erfolgte in Deutschland ein Ersatz des englischen Erzeugnisses durch das nun bessere einheimische. Die volle Befriedigung aller qualitativen Ansprüche an Steinzeugkanalisationsmaterial: Dichte und Säurebeständigkeit, große mechanische Festigkeit gegen Innen- und Außendruck, insbesondere auch gegen schleifende Einflüsse, bei gleichzeitiger Bearbeitungsmöglichkeit mit dem Meißel, große Genauigkeit der Form auch bei den größten Abmessungen (1000 mm lichte Weite und mehr) hat deutsche Steinzeugrohre in aller Welt eingeführt. Ganz besonders setzte nach Beendigung des deutsch-französischen Krieges von 1870/71 ein allgemeines Bestreben der deutschen Städte ein, sich ausgedehnte Kanalnetze für die Schmutzwasserableitung zu schaffen. Die Kriegserfahrungen zur Vermeidung von Epidemien, sowie die inzwischen außerordentlich geförderten Forschungen auf dem Gebiet der Bakteriologie hatten die Bedeutung hygienischer Einrichtungen in den weitesten Volkskreisen bekannt gemacht und veranlaßten die Städtekanalisierungen.

Es wurden nun nicht nur Töpfereien und Geschirrfabriken auf der Basis der bisherigen Rohstoffe in Erzeugungsstätten für Kanalisationssteinzeug umgestellt und auf den bereits bekannten Tonlagerstätten neue Spezialfabriken errichtet, sondern die systematische Forschung und die große Linie der technischen Entwicklung Deutschlands vom Agrar- zum Industriestaat ließen auch Steinzeugrohrfabriken an Orten entstehen, die bisher noch nicht Produktionsstätten für diesen Werkstoff waren.

Die älteste der deutschen Steinzeugrohrfabriken ist wohl die noch heute unverändert erfolgreiche Firma S. Loevenich & Co. in Frechen bei Köln, die bereits 1852 dichtes Kanalisationssteinzeug hergestellt hat. Ihr folgten wahrscheinlich als die nächsten Spezialfabriken dieser Art einige, noch heute bestehende Bitterfelder Steinzeugwerke, die in den Jahren 1869 bis 1873 in Betrieb genommen wurden. Die Begründung der Bitterfelder Steinzeugindustrie kann schon auf das Jahr 1862 zurückdatiert werden. In einem alten Bahnhofsempfangsgebäude bei Bitterfeld stellte damals der Baumeister H. Polko die ersten Steinzeugrohre auf der Drehscheibe her. Er wurde



der Gründer eines Unternehmens, das unter dem Namen Steinzeugwaren-, Mosaik- und Wandplatten-Fabriken H. Polko G. m. b. H. eine glänzende Entwicklung nahm, aber inzwischen nach über 50jährigem Bestehen liquidiert ist. Das älteste unter den noch heute bestehenden Steinzeugwerken ist die Firma C. Kelsch, Tonwarenfabrik Gebr. Schoof G. m. b. H., deren Ursprung auf das Jahr 1869 zurückgeht. Im Jahre 1871 folgte ihr die Bitterfelder Steinzeugwarenfabrik, ein Jahr später die Steinzeugfabrik Otto Bauermeister & Co., welche 1901 in eine Gesellschaft mit beschränkter Haftung umgewandelt wurde und 1873 die Ton- & Steinzeug-Werke W. Richter & Cie. A.-G., die sich heute im Besitz der Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft befindet und sich zur größten Bitterfelder Produktionsstätte für Kanalisationssteinzeug, säurebeständige Steinzeugwaren, Klinker, Fußbodenplatten usw. entwickelt hat. Auch die Steinzeugfabrik Heinrich August Piltz G. m. b. H. wurde im Jahre 1873 gegründet. Im gleichen Jahre entstand in Münsterberg (Schlesien) die Münsterberger Thonröhren- und Chamottefabrik C. A. Brandt, die 1904 durch Zusammenschluß mit der „Vereinigte Tonwarenwerke A.-G.“ in Charlottenburg zur Gründung der Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft führte, deren größtes Steinzeugwerk sie heute ist. Am 31. Dezember 1889 entstand die „Deutsche Steinzeugwarenfabrik in Friedrichsfeld (Baden)“; sie blickt also demnächst auf ein 40jähriges Bestehen und eine großartige Entwicklung zurück. Die Firma ist mit Wirkung vom 1. Januar 1890 als Aktiengesellschaft unter dem Namen „Badische Tonröhrenfabrik“ von dem Bankhaus Gebr. Bonte gegründet worden. Die Aktiengesellschaft übernahm auch eine auf dem Grundstück betriebene, im Dezember 1872 von J. F. Espenschied gegründete Zementröhren-, Anilinfarben- und Ultramarinfabrik, die im Jahre 1893 niedergelegt wurde. Im Jahre 1892 ging die alleinige technische und kaufmännische Leitung an Direktor Hoffmann über, welcher durch seine vorherige keramische Betätigung in der Lage war, das Unternehmen in ausschlaggebender Weise zu fördern und zu entwickeln. Seine Haupterfolge verdankt er der Qualitätssteigerung des Friedrichsfelder Kanalisationsmaterials im Jahre 1893.

Eine bayrische Steinzeugwarenfabrik ist die Annawerk A.-G. in Oeslau bei Koburg, die 1857 zunächst als Schamottefabrik gegründet wurde und sich auf diesem Gebiet einen sehr angesehenen Namen gemacht hat. Später wurde auch die Steinzeugfabrikation aufgenommen und vorwiegend auf dem Gebiet vorzüglicher Steinzeugrohre für Kanalisationszwecke ausgebaut.

Aus einer kleinen Ziegelei ging im Jahre 1865 die Tonwarenfabrik Schwandorf hervor, welche zunächst Schamottesteine und danach Ziegel herstellte, jedoch bald nach Gründung einer Zweigfabrik in Wiesau (Oberpfalz) zur Fabrikation von Stein-

zeugwaren für Kanalisationszwecke übergang. Im Jahre 1891 wurde das Unternehmen ohne Namensänderung in eine Aktiengesellschaft umgewandelt, zu der Ende des Jahres 1920 die Porzellanfabrik H. Schomburg & Söhne A.-G. in Margarethenhütte durch Aktienübernahme in engere Beziehungen trat. Heute, nach weiterem Ausbau der Werke in Schwandorf und Wiesau, sowie nach Errichtung neuer Fabrikationsstätten in Pirkensee, Schwarzenberg und Amberg werden bedeutende Mengen Steinzeug, Mosaikplatten und Klinker neben Schamottewaren, Dachziegeln, Feuertonen und Elektroporzellan dort erzeugt.

Andere bedeutendere Steinzeugfabriken, die heute auf ein etwa 40- bis 50jähriges Bestehen zurückblicken können, entstanden im alten Hauptzentrum deutscher Steinzeugindustrie, im Rheinland. Die Firma Kalscheuer & Cie. G. m. b. H. in Frechen b. Köln, einem der Hauptsitze der rheinischen Steinzeugindustrie, wurde 1883 gegründet und wird noch heute als Steinzeugrohrwerk betrieben. Im gleichen Jahre entstand die Steinzeugrohrfabrik von Weiden & Schaaf. Ihnen folgten in den nächsten Jahren die Steinzeugfabrik H. & J. Geusgen, die Steinzeugwerke Cremer & Breuer G. m. b. H., J. Conzen & Co. und andere. Neben Frechen ist Euskirchen b. Köln, wo die Westdeutschen Steinzeug-, Schamotte- u. Dinas-Werke G. m. b. H. in großem Umfang nicht nur Steinzeugrohre für Kanalisationszwecke, sondern auch säurebeständige Steinzeuggefäße, Geräte, Behälter, Bottiche usw. für die chemische Industrie erzeugen, ein Stützpunkt der rheinischen Steinzeugindustrie geworden.

So entstanden, durch steigenden Bedarf angereizt, zahlreiche Steinzeugrohrwerke in Deutschland. Sie nahmen dank ihrer hohen Qualitätsarbeit bis zum Ausbruch des Weltkrieges einen wichtigen Platz in der deutschen Volkswirtschaft ein.

Dann kamen die schweren Kriegsjahre, denen noch schlimmere Inflations- und Krisenjahre folgten. Die Bautätigkeit lag gänzlich danieder, die Städte hatten kein Geld, um die notwendigsten Ausbesserungen an den Kanalnetzen ausführen zu lassen, geschweige denn, an Erweiterungen durch Verlegung neuer Rohrleitungen zu denken. In dieser Zeit der allgemeinen Not ging, wie auf anderen Gebieten, so auch hier, eine Annäherung unter den bisher scharf in Wettbewerb stehenden Firmen vor sich und führte schließlich im Anfang des Jahres 1922 zu einem Zusammenschluß von 55 Steinzeugrohrfabriken in der „Verkaufsgesellschaft Deutscher Steinzeugwerke m. b. H. in Charlottenburg“, die damit etwa 96% aller deutschen Steinzeugrohrwerke umfaßt und so ein getreues Spiegelbild der wirtschaftlichen Lage der deutschen Steinzeugrohrindustrie bietet. Ihr traten auch die rheinischen Steinzeugwerke geschlossen bei, die bisher einem schon seit 25 Jahren bestehenden rheinischen Steinzeugrohrsyndikat angehört hatten, das nun in die Charlottenburger

Verkaufsgesellschaft übergang. Das rheinische Steinzeugrohrsyndikat hat sich mit besonderem Erfolg auf dem Gebiet des Exports betätigt. Die Aufgabe des Syndikats ist in beiden Fällen, einheitliche Verkaufspreise zu sichern und die einlaufenden Aufträge quotenmäßig auf die angeschlossenen Werke zu verteilen. Der einheitliche Verkauf bedingt ein einheitliches Fabrikat, und was langen Verhandlungen nicht geglückt war: die Normalisierung der Abmessungen, gelang jetzt rasch und vollkommen. Auf Grund dieses bedeutenden technischen Fortschritts konnte nun die Verkaufsgesellschaft an ihre Hauptaufgaben herangehen, die in dauernder Wechselwirkung zwischen Technik und Wirtschaft eine wesentliche Förderung der Steinzeugrohrindustrie bedeuten. Die wesentlichsten Zwecke dieser Konzentrierung sind eine geregelte Auftragsverteilung an alle angeschlossenen Werke, Verbilligung des Gesamtvertriebs durch eine Zentralisation, Frachtersparnisse. Als Ziel all dieser rationalisierenden Maßnahmen wird angestrebt: eine billigere Produktion, dadurch ermöglichter Verkauf zu niedrigen Preisen, gefolgt von steigendem Umsatz.

Daß das Ziel noch nicht erreicht wurde, liegt nicht an der Steinzeugindustrie allein, sondern an der gesamten wirtschaftlichen Entwicklung Deutschlands, die bisher eine Vollbeschäftigung der Steinzeugrohrindustrie nicht gestattete. Trotz alledem oder vielmehr erzwungen durch diese Not, ist die Steinzeugrohrindustrie nach dem Kriege eifrig bemüht gewesen, ihre Werke mit den besten betriebstechnischen Einrichtungen zu versehen und die schon lange vor dem Kriege erreichte hohe Qualität ihrer Erzeugnisse noch weiter zu steigern. Sie hat zu diesem Zwecke nicht nur maschinelle Sondereinrichtungen ausgebildet, die bei gleichzeitig angestrebter Verringerung des Anteils der Löhne an den Selbstkosten eine qualitativ noch bessere Produktion gegen früher liefern, sondern richtet ihr Bestreben darauf, die Rentabilität der Werke durch eine rationelle Wärmewirtschaft zu heben. Der Kohlenverbrauch und die Brenndauer beeinflussen ausschlaggebend die Gestehungskosten und bilden daher die zentralen Punkte der Rationalisierungsbestrebungen. Hier greifen alle Bedingungen keramischer Produktion wie die Räder eines Uhrwerks ineinander und bedingen die systematische Erforschung sämtlicher Fabrikationseinrichtungen und Grundlagen vom Rohstoff bis zum Versand.

Zu den ältesten technischen Verwendungsgebieten des Steinzeugs gehört der Gebrauch dieses Werkstoffs als säurefestes Gefäß- und Gerätematerial der chemischen Industrie. Wird von den Ausgrabungen abgesehen und werden nur die Fälle geschildert, in denen Steinzeug als dichtes, säurefestes keramisches Material bewußt und absichtlich wegen dieser ältesten Haupteigenschaft gewählt wurde, so kann gesagt werden, daß jede erste industrielle Herstellung der anorganischen Säuren in Steinzeuggefäßen, Retorten usw. erfolgte.

Zwar ist es nicht bekannt, welchen Materials sich die Ägypter zum Auflösen von Silber in Salpetersäure bedienten, jedoch kann aus Schilderungen von Geber aus dem 8. Jahrhundert angenommen werden, daß die damalige Salpetersäureherstellung aus Salpeter, Kupfervitriol und Alaun in „dichten Tongefäßen“ erfolgte. Dasselbe gilt für den Alchimisten Raymundus Lullus im 13. Jahrhundert.

Spezielle Schilderungen sind aus dem 15. Jahrhundert erhalten. Danach soll Basilius Valentinus durch Destillation von Kochsalz mit Eisenvitriol in Gefäßen aus „dichtem Ton“ (Steinzeug) zum ersten Male Salzsäure erzeugt haben. In den gleichen Steinzeuggeräten hat Basilius Valentinus aus „calciniertem Vitriol und Kiesel“ als erster Schwefelsäure gewonnen. Auch bei der in Apotheken im 16. Jahrhundert üblichen Fabrikation von Schwefelsäure durch Verbrennen von Schwefel bei Luftzutritt in geräumigen, feuchten Gefäßen wurden bereits Steinzeuggefäße verwendet. Das gleiche wird von Glauber berichtet, der im 17. Jahrhundert aus Kochsalz und Schwefelsäure Salzsäure herstellte.

Die Hauptentwicklung des Steinzeugs für chemische Zwecke ist dem Wege der Entwicklung seiner Verbraucherin, der chemischen Großindustrie, gefolgt. Ähnlich wie die chemische Industrie in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts ihren Hauptsitz in England hatte und ihre größte Konzentration in Deutschland erst in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts fand, lag um 1800 der Gipfelpunkt der Steinzeugindustrie für chemische Zwecke bei Wedgwood und Doulton, die wohl als erste Fabrikanten Kühlschlangen, Hähne, Gefäße und Apparate aus säurefestem Steinzeug für chemische Zwecke lieferten. Doulton hat dieses technische Steinzeug in seiner Fabrik in Lambeth zu großer Bedeutung entwickelt und liefert heute in ansehnlichem Umfang für den Bedarf der chemischen Industrie. Die Verschiebung des Schwerpunkts der Steinzeugindustrie ging erst in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts vor sich. Vor etwa 90 Jahren begann die eigentliche Entwicklung des deutschen chemischen Steinzeugs. Ernst March gründete in Charlottenburg in der heutigen Sophienstraße im Jahre 1836 eine Töpferei, die sich zunächst vornehmlich mit der Erzeugung künstlerischer Produkte, Terrakotten, Mosaikböden, Figuren und Ornamente befaßte, sich jedoch bald — besonders den Neigungen des Sohnes des Gründers, Paul March, folgend — auch der Fabrikation chemischer Geräte und Gefäße zuwandte. Paul March hatte durch seine Studien in England die wechselweisen Beziehungen zwischen chemischer Industrie und Keramik kennengelernt. Sein überragendes Interesse an diesen Zusammenhängen veranlaßte ihn, als erster in Deutschland chemisch-technische Apparate, Zuckerhutpotten, Pulver- und Salbenbüchsen für Apotheken, kleine Chlorentwicklungskolben, Gefäße von 15 bis 20 Liter Inhalt, Tourills, Hähne und dergleichen herzustellen. Bereits im Jahre 1853

entstand als — für damalige Zeiten — besondere Leistung ein Gefäß von 1650 Quart (2392,5 Liter) Inhalt, das sich heute im Deutschen Museum in München befindet. Als Ende der fünfziger und Anfang der sechziger Jahre Aufträge von Vorster und Grüneberg für die neu entstandenen Staßfurter Betriebe und von Kunheim-Berlin einliefen, da kam die Umstellung von gelegentlichen Arbeiten für den chemischen Kleinbetrieb zur dauernden Einstellung auf die chemische Großindustrie mit Reaktionstürmen, Ventilatoren und Pumpen. Ein Höhepunkt dieser Entwicklung wurde durch den Zusammenschluß verschiedener Steinzeugwerke zu der Firma „Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft in Charlottenburg“, einem der größten Steinzeugunternehmen der Welt, erreicht.

Fast zur gleichen Zeit, jedoch unabhängig von March, entstand eine zweite Produktionsstätte für chemisches Steinzeug, die dadurch eine besonders interessante Ergänzung der Entwicklung der Charlottenburger Steinzeugfabrikation darstellt, als ihre Entstehung nicht von der Seite der Erzeuger der Keramik erfolgte, sondern von einem chemischen Großverbraucher von Steinzeug in die Wege geleitet wurde. Der Chemiker Dr. Chr. Fikentscher betrieb seit 1845 in Zwickau eine chemische Fabrik zur Erzeugung von Salzsäure, Schwefelsäure, Salpetersäure und Quecksilberpräparaten. Da zu jener Zeit die Fabrikation chemischen Steinzeugs durch March noch einen verhältnismäßig kleinen Umfang hatte, wurden die Geräte teilweise noch aus England bezogen. Fikentscher suchte diese für die damalige Zeit noch sehr große Schwierigkeit dadurch zu beseitigen, daß er sich im Jahre 1848 entschloß, selbst säurefestes Steinzeug zu fabrizieren. Dabei kam ihm der Umstand wesentlich zustatten, daß er alle Steinzeugmassen und Apparate im eigenen chemischen Fabrikbetrieb ausprobieren, laufend beobachten und dadurch auch in den keramischen Produktionsbedingungen zu steigern vermochte. Die Entwicklung verlief verhältnismäßig schnell, bereits 1853 konnte mit der Einstellung des ersten Großtöpfers von einem Übergang der ursprünglich rein handwerksmäßigen und als Nebenzweig betriebenen Fertigung zu einer immer mehr selbständig werdenden Fabrikation gesprochen werden. Mitte der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts wurden eine große Anzahl chemischer Apparate, wie Tourills, Chlorentwickler, Standgefäße, Leitungsröhren, Hähne bis 5 cm Durchmesser, Kessel, Abdampfschalen, Mariotteflaschen, Reaktionstürme, Salpetersäurekaskaden, doppelwandige Kühlgefäße ebenso hergestellt wie bei March in Charlottenburg.

Den gleichen Weg vom Verbraucher zum Erzeuger chemischen Steinzeugs ging im Jahre 1853 der Verein für chemisch-metallurgische Produktion in Aussig mit seiner Tonwarenfabrik, die bis zum Jahre 1922 eine dauernd aufsteigende Entwicklung nahm, um dann mit ihrer Zusammenlegung mit der zum Konzern der

Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft gehörenden Hruschauer Tonwarenfabrik nur den Erzeugungsort zu verändern. Die vereinigten Fabriken nahmen fortan eine besonders in qualitativer Hinsicht aufsteigende Entwicklung.

Andere, aber nicht minder interessante Wege gingen die wenigen weiteren Erzeuger von säurefestem Steinzeug für chemische Zwecke. Im Jahre 1878 fand Ludwig Rohrmann in Krauschwitz bei Muskau (Oberlausitz) einen Ton, der, ohne jede Zumischung in einfachster Weise aufbereitet und verarbeitet, ein Erzeugnis bisher unbekannt überlegener Qualität lieferte. Besonders die aus dieser natürlichen Tonmischung hergestellten dünnwandigen und äußerst temperaturwechselbeständigen Kühlschlangen waren unübertroffen. In Verbindung mit anderen Spezialitäten, wie die „Lunge-Rohrmann-Platten“ zur Auskleidung von Reaktionstürmen, sicherte diese Fabrikation der Rohrmannschen Fabrik in Krauschwitz einen steigenden Umsatz und eine glänzende Entwicklung. Erst beim Aufgehen des Rohrmannschen Werkes in der „Vereinigte Tonwarenwerke A.-G.“ in Charlottenburg im Jahre 1901 wurde das sorgfältig gehütete Geheimnis der von der Natur durch ein Spiel des Zufalls erzeugten Tonmischung gelüftet. Die wissenschaftliche Forschung legte die Bestandteile dar und schuf dadurch die Grundlage zur Wiederholung dieser Masse aus in weiten Grenzen ausgewählten und gereinigten Rohstoffen.

In anderer Weise, nämlich durch praktische Übertragung genialer konstruktiver Ideen auf die Ausgestaltung zahlreicher Steinzeugapparate und Maschinen, gelangte das Tonwarenwerk Bettenhausen Dr. Dr. Plath, Staub & Piepmeyer in Kassel-Bettenhausen zur Herstellung chemischen Steinzeugs. Der leider schon 1908 verstorbene Chemiker Dr. Plath, bahnbrechend auf dem Gebiet der Steinzeugapparaturen für ganze Säureanlagen, sei es zur Gewinnung von Salpetersäure, Salzsäure und anderem, darf den Ruhm für sich in Anspruch nehmen, als erster Fabrikant die Steinzeugteile für das Salpetersäureverfahren nach Dr. Valentiner ausgebildet zu haben. Er gilt auch als Erfinder der lose gelagerten Kühlschlangen aus Steinzeug und des nach ihm benannten Reform-Säure-Automaten, der in selbsttätiger Arbeitsweise zum Heben von Säure und ätzenden Flüssigkeiten mittels Druckluft dient und in allen mit der Flüssigkeit in Berührung kommenden Teilen aus säurefestem Steinzeug besteht.

Das Tonwarenwerk Bettenhausen war im Jahre 1890 aus der 3 Jahre früher gegründeten Firma Wimpf & Schmidt hervorgegangen und 1904 durch inzwischen erfolgte Angliederung an die „Vereinigte Tonwarenwerke A.-G.“ in den Besitz der „Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft“ gekommen.

Der große Organisator, welcher die meisten ursprünglich recht kleinen Einzelgründungen zu einer Weltfirma zusammenschloß bzw. entwickelte, Nikolaus

B. Jungeblut, hatte seinen Ausgangspunkt in einer in den vierziger Jahren des 19. Jahrhunderts gegründeten Tonwarenfabrik (A. Kypke) in Muskau (Oberlausitz). Jungeblut, der sich bis zum Jahre 1897 in Amerika keramisch betätigt hatte, erkannte nach seiner Rückkehr nach Europa die Unmöglichkeit, entscheidende Fortschritte bei der herrschenden Zersplitterung und Konkurrenz kleiner Betriebe zu machen. Nur der Zusammenschluß, die gegenseitige Ergänzung, der konkurrenzlose Wettstreit konnten die breite Basis abgeben, welche die Industrie für ihre von Jungebluts Weitblick erkannte große Entwicklung brauchte. Die erste Möglichkeit hierfür bot sich im Jahre 1900, als das Charlottenburger Werk seines Hauptkonkurrenten „Ernst March Söhne“ abbrannte. Nun bewies Jungeblut seine Großzügigkeit: er versuchte nicht, sich an Stelle seines Konkurrenten zu setzen und diesen zu verdrängen, sondern er bot ihm erfolgreich Aushilfe an. Dieses Entgegenkommen trug rasche und reiche Früchte. Der Zusammenschluß bildete den Krystallkeim für die nun in rascher Folge einsetzende Konzentration zahlreicher Betriebe zu der „Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft in Charlottenburg“.

1901 schlossen sich unter Jungebluts Führung die Firmen:

Ernst March Söhne, Charlottenburg,

Ludwig Rohrmann, Krauschwitz (Oberlausitz),

Tonwarenfabrik A. Kypke, Muskau (Oberlausitz),

Tonwarenwerk Bettenhausen Dr. Dr. Plath, Staub & Piepmeyer

zu der „Vereinigte Tonwarenwerke A.-G. in Charlottenburg“ zusammen. 1904 erfolgte die Fusion mit der Münsterberger Thonröhren- und Chamotte-Fabrik C. A. Brandt und die Annahme des heute gültigen Namens der

„Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft“.

Eine Krönung dieser systematischen technischen Zusammen- und Aufbauarbeit, welcher der Inhalt alles, die Form aber nur das Mittel zum Zweck bedeutete, ist die seit dem Jahre 1922 bestehende Interessengemeinschaft zwischen den beiden größten Firmen der deutschen Steinzeugindustrie:

Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft in Charlottenburg,

Deutsche Steinzeugwarenfabrik für Kanalisation und chemische Industrie in Friedrichsfeld (Baden).

Bereits 15 Jahre früher war zwischen diesen beiden Firmen als den größten Steinzeugwerken Deutschlands und folgenden gleichfalls bedeutenden Steinzeugwerken:

Westdeutsche Steinzeug-, Schamotte- & Dinas-Werke G. m. b. H. in Euskirchen bei Köln,

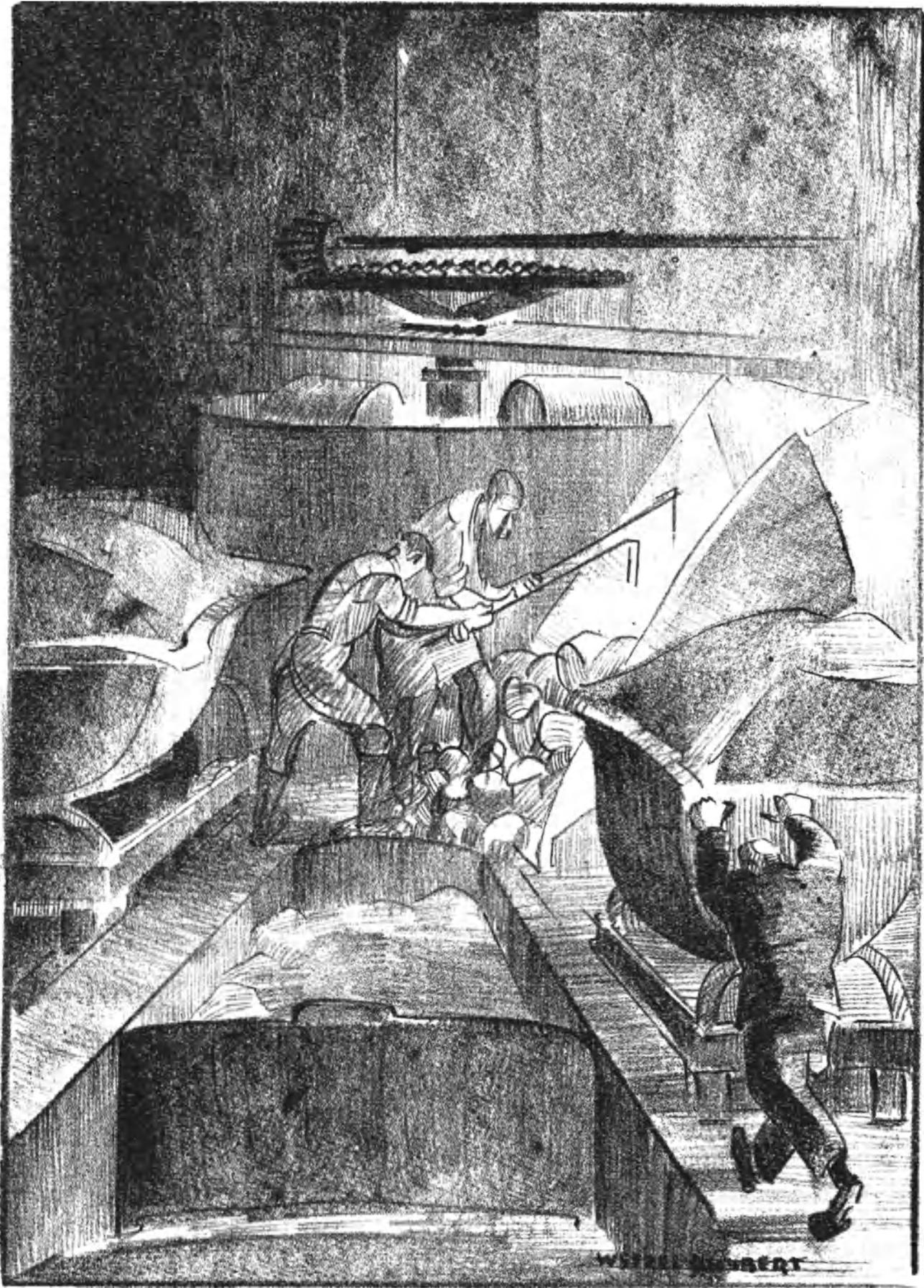
Fr. Chr. Fikentscher, Keramische Werke A.-G. in Zwickau i. Sa. und

Hruschauer Tonwarenfabrik A.-G., Hruschau C. S. R.

eine Preiskonvention auf dem Gebiet des chemischen Steinzeugs abgeschlossen worden, die in loser Form, d. h. ohne Auftragsverteilung, jedem Unternehmen volle Selbständigkeit in Herstellung und Vertrieb läßt, jedoch eine Preisverständigung untereinander bezweckt, um auf die Dauer für die Gesamtheit ungesunde Preisunterbietungen zu verhüten. Für den Erfolg der Preiskonvention und ihre innere Berechtigung in der losen Form zeugt nicht allein die Tatsache des über 20jährigen Bestehens, das auch von der bösen Nachkriegs- und Inflationszeit nicht unterbrochen wurde, sondern mehr noch der Umstand, daß erst jüngst eine andere größere Gesellschaft, die Steinzeugröhrenfabrik G. m. b. H. in Lugknitz bei Muskau (Oberlausitz), welche jahrelang außerhalb der Konvention war, sich ihr angeschlossen hat. Diese Firmen stellen das Hauptkontingent der gesamten deutschen Fabrikation an säurefestem Steinzeug für chemisch-technische Zwecke.

Die Deutsche Steinzeugwarenfabrik für Kanalisation und chemische Industrie in Friedrichsfeld (Baden) hat nach Übernahme der Leitung durch Hoffmann mit der Fabrikation eines hochwertigen chemischen Steinzeugs eingesetzt, um allmählich eine glänzende Entwicklung zu nehmen. Sie führte 1922 zur Interessengemeinschaft mit der „Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft“ in Charlottenburg, so daß die beiden genannten Firmen heute auf dem Gebiet des chemischen Steinzeugs gemeinsam die führende Weltstellung einnehmen, die sich auch auf die ausländischen Tochtergesellschaften der Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft, die Hruschauer Tonwarenfabrik in Hruschau (Tschechoslowakei) und General Ceramics Co. in New York (U. S. A.) übertragen hat. Neben erstklassigem Steinzeug ist „Friedrichsfeld“ ganz besonders durch zwei Spezialmassen bekannt geworden: die Hoffmann-Steinzeugmasse, ein gasdichtes und verhältnismäßig temperaturwechselbeständiges Material, und Korundsteinzeug, eine Massenmischung besonders hoher mechanischer Festigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit.

Die Schaffung von ausländischen Fabrikationsstätten im Anschluß an führende deutsche Firmen veranschaulicht die Notwendigkeit der Erzeugung im verbrauchenden Lande, da sowohl die Transport- wie die Zollfragen der Herstellungszentralisation in den ältesten Werken im Wege stehen. Zudem sind während des Krieges in fast allen kämpfenden Staaten Fabriken für die Erzeugung von chemischem Steinzeug entstanden, welches für die Herstellung von Salpetersäure und Sprengstoffen benötigt wurde. Diese Länder versorgen die heimatlichen chemischen Industrien nun selbst. In Deutschland, das während des Krieges den Umfang seiner Produktionsanlagen für chemisches Steinzeug etwa verdoppelte, werden auf Grund des Versailler Vertrags Sprengstoffe nur in verschwindendem Umfang hergestellt.



Daher ist dieses große Absatzgebiet für chemisches Steinzeug Deutschland fast völlig verloren und die Industrie ist bemüht, sich durch Steigerung der Qualität neue technische Gebrauchsmöglichkeiten zu schaffen.

Die Bestrebungen der Steinzeugindustrie für chemische Zwecke, die Qualität ihrer Fabrikate zu steigern, bewegen sich nach völliger Erreichung eines der ursprünglichen Hauptziele, der absoluten Verdichtung des Scherbens, im wesentlichen in folgenden Richtungen:

1. weitere Verbesserung der mechanischen Festigkeit in jeder Beziehung,
2. weitere Steigerung der Wärmeleitfähigkeit, Herabsetzung des Ausdehnungskoeffizienten zur Erhöhung der Temperaturwechselbeständigkeit,
3. weitere Steigerung der chemischen Widerstandsfähigkeit, speziell der Basenbeständigkeit.

Die bisherigen wissenschaftlichen Forschungen, chemischen und physikalischen Studien zur Verbesserung der Erkenntnis des Steinzeugs, der Steigerung seiner Eigenschaften und Anpassung an die neuen Bedürfnisse anderer Industrien haben nach dem Kriege bereits zu einem großen, neuen Anwendungsgebiet geführt. Nach völliger Verdichtung der Steinzeugmasse in einer Sonderzusammensetzung (D. T. S.-Sillimanit) gelang es der Firma Deutsche Ton- & Steinzeug-Werke Aktiengesellschaft in Charlottenburg, auch die höchsten Ansprüche der Elektrotechnik an einen Hochspannungsisolierstoff voll zu befriedigen. Das immer größer werdende Stromverteilungsnetz erfordert mit seinen erhöhten Rationalitätsansprüchen steigende Spannungen. Diese bedingen vielfach größere Abmessungen der Isolatoren. Die Porzellanindustrie liefert als Behelf große Isolatoren, aus mehreren einzelnen Stücken zusammengesetzt. Vorteilhaft erfolgt ihr Ersatz durch einteilige D. T. S.-Sillimanit-Isolatoren, die heute bereits für Spannungen bis 220 000 Volt in einer Länge von 3336 mm hergestellt werden. Es sind bis heute die größten einteiligen Isolatoren der Welt. Schon aber winkt mit der Möglichkeit der Verwendung von 380 000 Volt Spannungen eine neue — ebenso schwierige wie dankbare — Aufgabe für die Steinzeugindustrie.

Die Schaffung eines neuen Steinzeugabsatzgebietes mit stets wachsender weltwirtschaftlicher Bedeutung durch die Methoden der reinen chemischen und physikalischen Forschung zeigt den Weg, den die Steinzeugindustrie bewußt geht, um sich die bisherigen Absatzgebiete durch weitere Qualitätssteigerung zu sichern und durch die Verbesserung noch ungenügender Eigenschaften neue Verwendungsmöglichkeiten ihrem Werkstoff zu erschließen. Zur Erreichung dieses Zieles werden alle Methoden der Wissenschaft und der Technik zur Hilfe herangezogen. Die erstrebten Qualitätssteigerungen in Kombination mit den Zielen

einer Steigerung der Rationalität, speziell der Mechanisierung der Betriebe, in Verbindung mit besserer Wärmewirtschaft, lassen die Zukunft der technisch bestens gerüsteten Steinzeugwerke auf lange Sicht optimistisch erscheinen. Birgt doch der Werkstoff „Steinzeug“ für die wissenschaftliche und industrielle Forschung noch völlig unerschlossene Möglichkeiten als Zukunftsmaterial der Technik in sich, die durch zwar sehr langwierige, aber immerhin hoffnungsfreudige Arbeit schöpferisch zu fördern sind.

# DIE PHYSIKALISCHEN UND CHEMISCHEN GRUNDLAGEN

„Gott schuf Adam aus Lehm“. Zum ersten Male benutzte Gott die Plasticität eines Tones zur Formung Adams aus knetbarer Lehmmasse. Durch tausende von Jahren wird die Ursache der Formbarkeit von Tonen von allen Völkern der Erde praktisch verwertet, ohne daß es bisher möglich ist, die „Plasticität“ restlos zu erklären. Durch eine Umschreibung gelingt es vielleicht am besten, das Wesentliche der wichtigsten physikalischen Eigenschaft aller Tone zu veranschaulichen. „Plasticität“ kann als die Summe aller Eigenschaften veranschaulicht werden, die den bildsamen Zustand eines Materials herbeiführen. Insbesondere wird unter der Plasticität von Tonen die Eigenschaft verstanden, welche es ermöglicht, die aus solchen Stoffen bestehenden Körper in beliebige Formen zu bringen. Hierbei darf keine merkliche Auflockerung des Zusammenhanges der einzelnen Teilchen stattfinden, und der Körper darf nicht die Neigung haben, nach Aufhören der formgebenden Einwirkung in die Ursprungsform zurückzukehren.

Diese Bildsamkeit wird durch den kolloiden Zustand des Tones und einige seiner physikalischen Eigenschaften, hauptsächlich seine blättchenförmige Gestalt, sowie durch eine Summe von Adsorptions- und Absorptionsvorgängen verursacht. Sie setzt immer das gleichzeitige Auftreten zweier verschiedener Phasen in der bildsamen Masse, der festen und der flüssigen, voraus. Die feste Phase besteht in der Hauptsache aus Blättchen von sogenannter Tonsubstanz, die nur etwa 0,5 bis höchstens 9 Mikromillimeter groß sind. Daneben enthalten die Tone wechselnde, aber geringe Mengen noch kleinerer Teilchen, die auf die Bildsamkeit der Masse günstigen Einfluß haben. Außerdem kommen in allen Tonen unbildsame Mineralien von meist gröberer Körnung vor.

Die sogenannte Tonsubstanz ist gewissen Adsorptionserscheinungen unterworfen. Auf den blättchenförmigen Teilen bildet sich eine oberflächenaktive Schicht, die sich mit einem Wasserhäutchen umgibt, das als Gleitmittel bei der Verschiebung der benachbarten Teilchen gegeneinander dient. Diese oberflächenaktive Schicht ist jedoch wenig widerstandsfähig und durch äußere Einwirkungen leicht zerstörbar.

Anders verhalten sich die außer der Tonsubstanz noch vorhandenen kleinsten kolloiden Teilchen, auf welche die flüssige Phase eine mehr peptisierende Wirkung ausübt. Ihrer Kolloidnatur entsprechend absorbieren diese feinsten Teilchen die Flüssigkeit, quellen hierdurch und verstärken die bewegliche, verkittende Schicht zwischen den Tonteilchen.

Durch die Einwirkung von Säuren oder Alkalien auf die Tonmassen werden die Absorptionserscheinungen verstärkt.

Wenn der Ton mit Säure angefeuchtet wird, so werden die kolloiden Bestandteile zunächst durch die Säure geflockt und umhüllen die nicht kolloiden körnigeren und ungelösten Anteile. Sie setzen dann, mit einer derartigen Hülle umgeben, dem Aufeinandergleiten und damit der Verformung geringeren Widerstand entgegen. Gleichzeitig vermögen aber die neu gebildeten gelartigen Schichten ihrer Natur entsprechend unter fortschreitender Wasseraufnahme zu quellen. Säuren fördern bei Gelen außerordentlich die Quellfähigkeit, so daß bei ihrer Anwesenheit das Anmachewasser schnell aufgesogen wird und eine scheinbare Austrocknung des Materials stattfindet. Die weitere Verformung erfordert dementsprechend auch eine weitere Wasserzugabe, die erst dann nicht mehr nötig ist, wenn die Gelschichten ihr erhöhtes Quellungsmaximum erreicht haben. Wird der Schwellenwert überschritten, dann zerreißen die membranartigen Oberflächenschichten; das Bestehen der einzelnen Individuen hört unter Zusammenfließen der mit Flüssigkeit übersättigten Gelschichten auf.

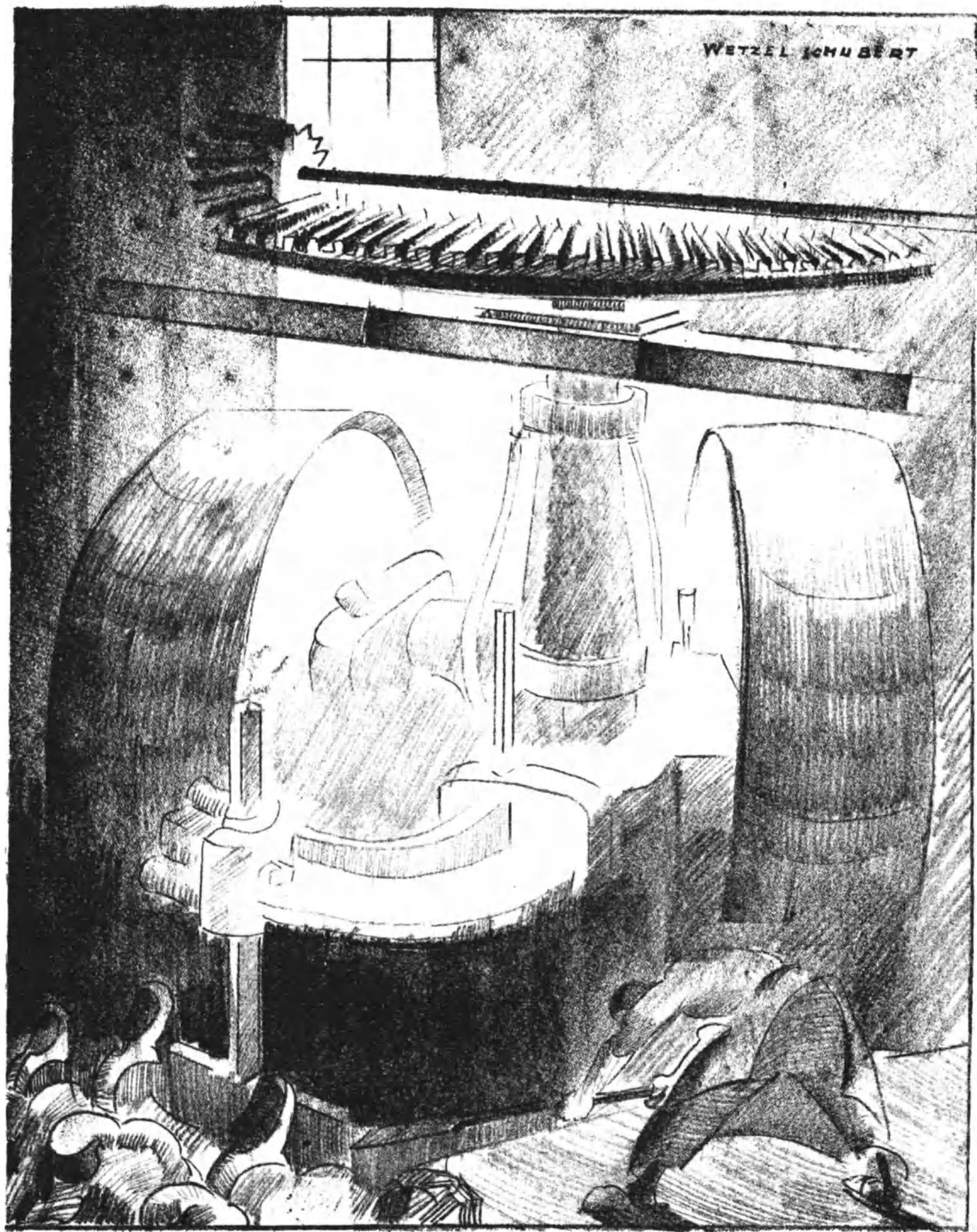
Bei Zugabe von Alkalien zu Ton werden die kolloiden Tonteilchen in eine kolloide Lösung gebracht, die ganze Masse verflüssigt sich; der bei angesäuertem Ton nur bei großen Wasserzusätzen erreichbare Schwellenwert wird also fast momentan erreicht. Von diesem Einfluß wird bei der Herstellung von Gießschlickern Gebrauch gemacht. Die im Anmachewasser gelösten und sich lösenden Salze wirken je nach ihrer Beschaffenheit quellungsfördernd oder -hemmend, d. h. sie beeinflussen die Aufnahmefähigkeit der gelartigen Anteile für Flüssigkeit in hohem Maße.

Alle Adsorptionserscheinungen sind um so stärker, je feiner die Massebestandteile zerkleinert sind, d. h. je größer die Oberfläche der festen Phase und je feiner und zahlreicher die zwischen den festen Teilchen vorhandenen Hohlräume, Poren und Kapillaren sind.

Maßgebend für den Grad der Plasticität ist die mehr oder weniger intensive Ausfüllung der Hohlräume durch Flüssigkeit. Sobald alle vorhandenen Kapillaren durch Wasser ausgefüllt sind, wenn also sowohl eine vollkommene Absorption, d. h. eine möglichst weitgehende Durchdringung der kolloiden Tonteilchen mit Flüssigkeit einerseits, wie eine vollständige Adsorption, eine absolute Umhüllung der gröberen Teilchen durch die Flüssigkeit andererseits, stattgefunden hat, ist das Maximum der Bildsamkeit erreicht.

Durch das ursprünglich kapillar aufgesaugte Wasser werden bei Erreichung des Höchstmaßes der Sättigung die einzelnen festen Teilchen so weit auseinandergedrängt, daß in diesem Zustande der Masse schon ein geringer Druck genügt, um ein

WETZEL SCHUBERT



Aufeinandergleiten der einzelnen Teilchen zu bewirken. Dieser Gleitvorgang erfolgt unter ständiger, sofortiger Wiederausfüllung der frei werdenden Räume durch nachfließende Masseteilchen, so daß also die ganze Masse immer ihren homogenen Zusammenhang beibehält.

Die verschiedenen Formgebungsmethoden der Steinzeugindustrie werden durch diese Anschauungen weitgehend erklärt. Alle während des Fabrikationsprozesses vorkommenden Änderungen der Plasticität werden verursacht durch die mehr oder weniger weitgehende Ausfüllung der Porenräume ganz oder teilweise kolloider Materie durch Wasser bzw. die mehr oder weniger innige gegenseitige Durchdringung der beiden in der Masse vorhandenen Phasen.

Schon die mit Wasser angemachte und mechanisch homogenisierte Steinzeugmasse besitzt eine hohe Plasticität, weil bei ihr bereits in gewissem Umfange Adsorptionserscheinungen, eine weitgehende Ausfüllung der Porenräume und Einhüllung der kolloiden Tonteilchen durch das Wasser stattgefunden haben.

Der nun folgende Maukprozeß hat den Zweck, durch langdauernde Einwirkung der flüssigen auf die feste Phase ein noch innigeres Eindringen der Flüssigkeit in die bisher nicht ausgefüllten kleinsten Kapillaren unter weiterer Bildung kolloider Oberflächenschichten zu bewirken. Sind sämtliche Porenräume restlos erfüllt, so ist hierdurch die Plasticität auf ihr Maximum gesteigert.

Unterstützt wird die Verbesserung der Bildsamkeit beim Mauken noch durch den dabei stattfindenden Aufschluß der gröberen Masseteilchen durch das infolge Auflösung alkalischer Salze zunächst alkalisch reagierende Anmachewasser, sowie die Ausflockung von Gelen durch die beim Zerfall der humosen Bestandteile der Masse entstehenden Säuren.

Alle Erscheinungen beim Maukprozeß wirken in der einen Richtung einer weitergehenden Homogenisierung der Masse unter Bildung neuer Porenräume und Ausfüllung derselben durch Flüssigkeit.

Auch die Erscheinungen feinkeramisch aufbereiteter Massen beim Mauken lassen sich durch diese Vorstellung vom Wesen der Plasticität restlos veranschaulichen. An sich müßte angenommen werden, daß bei nasser Feinverteilung von Steinzeugmassen ein Optimum der gegenseitigen Durchdringung der festen und flüssigen Masse erzielt wird; es zeigt sich jedoch, daß feinkeramisch aufbereitete, d. h. in Form dünnflüssiger Schlicker restlos feingemahlene Steinzeugmassen nach der Entwässerung auf der Filterpresse nicht das Maximum der Plasticität besitzen.

Die Erklärung hierfür ist eine Zerreißen der feinen, die einzelnen Tonteilchen einhüllenden Flüssigkeitshäutchen durch den Preßdruck der Filterpresse. Dadurch

öffnen sich die Porenräume teilweise wieder, so daß die Gleitfähigkeit der Teilchen aufeinander vermindert wird und als selbstverständliche Folge auch die Bildsamkeit nachläßt.

Werden so vorbehandelte Massen aber dem Maukprozeß unterzogen und durch die Kapillarkräfte die Flüssigkeitshäutchen allmählich wieder hergestellt, so läßt sich bedingt durch die Feinheit des größten Teiles der in der Masse enthaltenen festen Bestandteile eine maximale Steigerung ihrer Bildsamkeit erzielen. Dies erklärt auch, warum das Mauken eine nicht unerhebliche Zeit in Anspruch nimmt.

Bei allen Steinzeugmassen setzt mit dem Beginn der Trocknung eine ständige und schnelle Abnahme der Plasticität ein. Die Menge der flüssigen Phase tritt hierbei mehr und mehr zurück; der von ihr ursprünglich eingenommene Raum wird frei und die gegenseitige Reibung der Teilchen der festen Phase aufeinander wird immer höher, bis mit Erreichung des lederharten Zustandes unter normalen Verhältnissen die Gleitfähigkeit der festen Teilchen aufeinander und damit die Formbarkeit unter normalen Druckverhältnissen vollkommen aufhört. Auch bei niedrigen Wassergehalten besteht die Möglichkeit der Formgebung durch Erhöhung des Preßdrucks, der den Massen dann Flüssigkeitsverhalten verleiht.

Wird trockene Steinzeugmasse in entsprechender Weise mit Flüssigkeit durchfeuchtet und werden hierdurch die beim Trockenprozeß frei gewordenen Porenräume wieder von der flüssigen Phase ausgefüllt, so geht sie wieder in den plastischen Zustand über. Diese Fähigkeit geht erst bei Erhitzung auf einige Hundert Grad Celsius mit der Aufhebung des kolloiden Zustandes der Materie verloren.

Auch weitgehend trockenes Material mit einem sehr geringen Anteil der flüssigen Phase läßt sich unter entsprechend erhöhtem Druck in den plastischen Zustand überführen. Derselbe hat jedoch nur für die Dauer der Druckeinwirkung Geltung. Die Erklärung ist in der Wirkung des Preßdrucks zu sehen, welche die an sich zwischen den einzelnen Teilchen vorhandenen minimal dünnen Schichten der flüssigen Phase zum großen Teil herausdrängt. Die festen Teilchen werden in größeren Komplexen vollkommen dicht aneinander gelagert, und die flüssige Phase wird auf die wenigen verbleibenden Kapillaren verteilt. Infolge der damit verbundenen Verringerung der freien Oberfläche genügt dann der an sich geringe Anteil an Flüssigkeit, um das Aufeinandergleiten der einzelnen zusammengeschlossenen Komplexe fester Teilchen zu ermöglichen. Nach Aufhören der Druckeinwirkung geht der plastische Zustand sofort wieder verloren, weil die Kapillaren sich wieder öffnen, die Oberfläche der Teilchen der festen Phase sich vergrößert und der Anteil der Flüssigkeit und ihre ungleichmäßige Verteilung nunmehr zu ungenügend ist, um in dem für die Bildsamkeit erforderlichen Maße als Gleitmittel zu wirken.

Die stark verflüssigende Wirkung alkalischer Zusätze wird für die Herstellung von Steinzeug-Gießmassen benutzt. Bei durch Hydroxylionen dispers gemachten, vollkommen flüssigen Gießmassen ist der Anteil der flüssigen Phase ein so großer, daß überhaupt kein Zusammenhang mehr zwischen den Teilchen der festen Phase besteht. Von einem plastischen Zustande kann in diesem Falle nicht die Rede sein. Erst wenn unter der Wirkung der kapillaren Kräfte der zum Gießen verwendeten Gipsformen die Flüssigkeit zum größten Teil aus der Gießmasse herausgesaugt worden ist, tritt wieder ein plastischer Zustand ein, weil jetzt wieder die hierfür notwendige innige Zusammenlagerung von festen und flüssigen Teilchen vorhanden ist. Die sehr intensive Wirkung der Kapillarkräfte hat aber zur Folge, daß nicht nur eine schnelle Verringerung des Anteils der flüssigen Phase, sondern gleichzeitig, wie bei der Behandlung der Masse unter Druck auf der Filterpresse, eine gewisse Zerreißen der die festen Teilchen umhüllenden Flüssigkeitshäutchen eintritt. Es wird daher bei Gießmassen niemals ein so hoher Grad von Plasticität erzielt wie bei alkalifreien Steinzeugmassen.

Auch feste Körper, die an sich nur eine einzige Komponente enthalten, besitzen unter gegebenen Voraussetzungen, d. h. bei hohen Drucken oder hoher Temperatur und genügender Zeitdauer der Einwirkung, die Vorbedingungen einer gewissen Plasticität, wie sie sich beispielsweise die Metalltechnik zunutze macht.

Maßgebende Voraussetzungen für den Grad der Plasticität einer Steinzeugmasse sind also außer dem Vorhandensein einer festen und einer flüssigen Phase eine möglichst geringe Größe der Teilchen der festen Phase des plastischen Körpers. Ein Teil muß wenigstens in kolloider Feinheit vorhanden sein. Er soll möglichst große Gesamtoberflächen und eine entsprechend große Anzahl an feinsten Kapillaren haben, um eine innige wechselseitige Durchdringung der beiden Phasen zu ermöglichen.

Die Folgeerscheinungen der Plasticität sind in erster Linie die Verarbeitbarkeit der plastischen Masse und die Möglichkeit, den plastischen Zustand durch Trocknung in einen stabilen überzuführen, also das plastisch in eine gewünschte Form gebrachte Material standfest zu machen. Daher läßt sich der plastische Zustand aufrechterhalten, solange die Wechselbeziehungen der ihn herbeiführenden festen und flüssigen Phase nicht geändert werden, und er läßt sich aufheben durch die Entziehung des Wassers. Dadurch läßt das plastisch in eine gewünschte Form gebrachte Material sich standfest und dauerhaft machen.

Eine weitere sehr wichtige Eigenschaft plastischer Massen ist ihre als Bindevermögen bezeichnete Fähigkeit, in sich noch gewisse Mengen fester Körper in mehr oder weniger fein verteiltem Zustande aufzunehmen und mit ihnen einen zusammen-

hängenden Körper zu bilden, der als Ganzes die Eigenschaft der Plasticität je nach der Menge der zugesetzten Magerungsmittel in wechselnd hohem Maße besitzt.

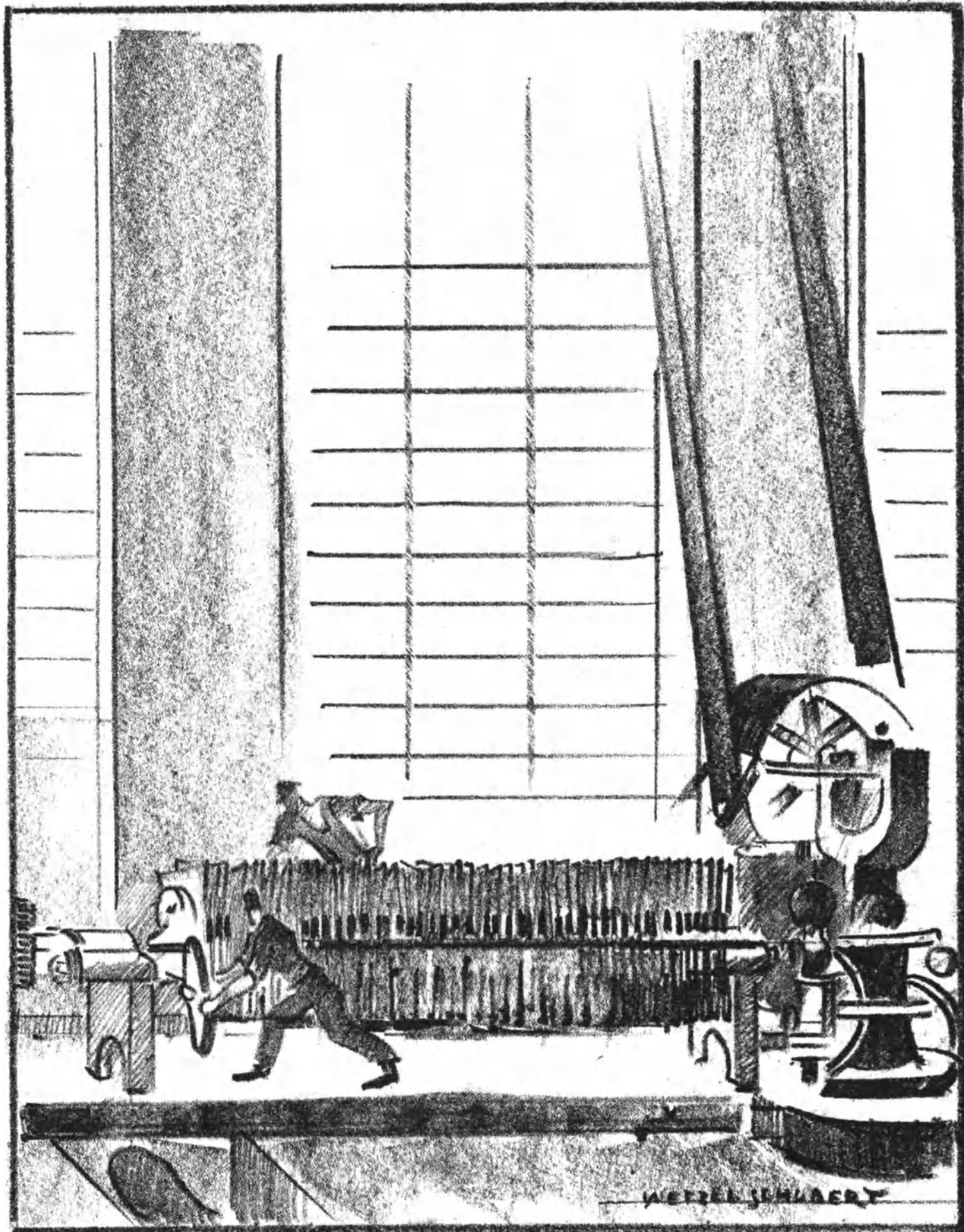
Je größer der Porenraum eines Tones ist, um so plastischer ist er und um so mehr Wasser ist nötig, um diesen Porenraum auszufüllen und ihn verformbar zu machen. Je höher ferner der Gehalt einer Masse an Tonsubstanz ist, um so größer muß auch ihr prozentualer Wassergehalt sein. Daher wird die Eigenschaft der Bindefähigkeit auch in weitgehendem Maße benutzt, um dem Ton so große Mengen an Magerungsmitteln zuzusetzen, daß die benötigte Wassermenge, die Hauptursache der Trockenschwindung, soweit als möglich verringert wird.

Die physikalischen Vorgänge bei der Trocknung bestehen darin, daß die zunächst von Flüssigkeit umgebenen festen Masseteilchen bei dem allmählichen Entweichen des Wassers sich näher aneinander lagern und dadurch den ganzen oder wenigstens einen Teil des vorher vom Wasser eingenommenen Raumes ausfüllen. Raumverringering ist die Ursache der Trockenschwindung, deren Verlauf zunächst ein ziemlich schneller ist. Er verlangsamt sich aber bald und ist beendet, bevor die restlose Austreibung des Wassers erfolgt ist. Eine gewisse Rolle für die Trockenschwindung spielt außer der Wasserentziehung auch die Schrumpfung der in dem Ton entstandenen Gelschichten.

Physikalisch und chemisch wesentlich anderer Natur sind die Vorgänge bei dem der Trocknung folgenden Brennprozeß. Bei der Erhitzung entweicht zunächst, sobald die Temperatur von 100° überschritten wird, der weitaus größte Teil des oberflächlich adsorbierten Wassers. Reste von Wasser bleiben jedoch noch bis zu wesentlich höheren Temperaturen erhalten. Bei weiterem Steigen der Temperatur erfolgt die Zersetzung der als Tonsubstanz bezeichneten und den Hauptbestandteil der Masse ausmachenden wasserhaltigen Aluminiumsilicate. Damit beginnt die Beeinflussung der Plasticität, die bei Erreichung höherer Temperaturen restlos verloren geht und auch durch Wiederabkühlung und neue Zuführung von Wasser nicht wieder zu erzeugen ist.

In der Hauptsache verläuft die Zersetzung der wasserhaltigen Aluminiumsilicate in dem Temperaturintervall von 450 bis 500° endotherm, um bei etwa 700° restlos beendet zu sein. Bei steigender Erhitzung beginnen die chemischen Reaktionen innerhalb der Masse, und zwar bereits bei Temperaturen, die teilweise beträchtlich unter den Schmelzpunkten bzw. unterhalb der Eutektika der Massekomponenten liegen, als „Reaktionen im festen Zustande“.

Die früher allgemein verbreitete Anschauung, daß Stoffe nicht miteinander in chemische Reaktion treten können, wenn sie sich nicht in flüssigem oder gasförmigem Zustande befinden („Corpora non agunt, nisi fluida“), hat sich nicht als richtig



erwiesen. Die Reaktionen in festem Zustande spielen in der Keramik eine ausschlaggebende Rolle.

Selbst in krystalliner Form ist die keramische Materie stark reaktionsfähig, wenn die für einen Platzwechsel der Atome bzw. Atomgruppen im Krystallgitter der an der Reaktion beteiligten Stoffe notwendige Mindesttemperatur nur erreicht und eingehalten wird. Bei einem zu einer Pastille gepreßten Pulvergemenge tritt infolge Diffusion der Komponenten in festem Zustande weit unter ihrer Schmelztemperatur bzw. unter dem Verflüssigungspunkt einzelner Bestandteile eine vollkommene Homogenisierung ein. Wird die stark gepreßte Pastille einer einzigen Krystallart erhitzt, so erfolgt ein deutliches Zusammenbacken, „Sintern“, unter Verfestigung des Gefüges. Infolge der „Rekrystallisation“ entstehen an den Korngrenzen neue Krystallkeime, die ihre Nachbarkrystalle aufnehmen und dadurch stark zu wachsen vermögen.

Werden Gemenge von zwei Komponenten benutzt und haben die Stoffe nahezu übereinstimmende Krystallgitter, so entstehen homogene Mischkrystalle in dem Temperaturbereich, in welchem die Rekrystallisation der reinen Komponenten beginnt.

Vom keramischen Standpunkt ist die Erscheinung weitaus wichtiger, daß in einem Gemenge aus zwei oder mehr Komponenten beim Erhitzen keine Mischkrystallbildung eintritt. Dann entstehen in dem festen Gemenge nach den Gesetzen der Schmelzpunkterniedrigung flüssige Phasen, und zwar weit unterhalb der Schmelztemperaturen der reinen Stoffe. Auch diese Erscheinung, in ihrem Wesen bestimmt durch das Auftreten der eutektischen Schmelzerscheinungen, wird als „Sinterung“ bezeichnet. Dabei werden in dichten keramischen Massen fast stets noch neue Verbindungen gebildet, und dies ist von besonderer Wichtigkeit für die physikalischen Eigenschaften der erzeugten Fabrikate. Maßgebend sind in diesem keramisch bedeutsamsten Falle jeweils die eutektischen Punkte, d. h. die Temperaturen der niedrigst schmelzenden Gemenge. Eutektische Schmelzen durchsetzen dabei also das krystalline Gemenge der Ausgangsstoffe.

Die Erkenntnis, daß Reaktionen nicht erst verlaufen, wenn eine flüssige Phase vorhanden ist, sondern in festem Zustande bei verhältnismäßig tiefen Temperaturen schon einsetzen, ist für die Entwicklung der Technik neuer Steinzeugmassen mit besonders gesteigerten physikalischen Eigenschaften von außerordentlicher Bedeutung geworden und wird die zukünftige Fortbildung noch maßgebender beeinflussen. Diese Erkenntnisse dienen dazu, bestimmte Massen solcher Stoffe zu finden, die bei erheblich niedrigerer Temperatur die Gitterbeweglichkeit der Komponenten zu erhöhen vermögen.

Die chemischen und physikalischen Vorgänge, die Reaktionen der Krystallite in festem Zustande und die Lösungen sowie Entglasungen bzw. Rekrystallisationen sind als die Grundlagen der keramischen Arbeiten, der Neubildung von keramischen Massen mit besonderen Eigenschaften zu betrachten. Daher ist es ohne weiteres klar, daß die Beherrschung dieser Prozesse die Meisterung der silicatchemischen Probleme bedeutet. Wenn auch feste Körper miteinander ohne Anwesenheit einer flüssigen Phase zu reagieren vermögen, so erfolgt die Reaktion zunächst ausschließlich an der Berührungsstelle, von der Oberfläche ausgehend. Die Oberflächen vergrößern, die Berührungstellen vermehren, bedeutet daher sowohl eine Beschleunigung als auch eine bessere Vollendung der chemischen und physikalischen Prozesse, gegebenenfalls auch eine Erniedrigung der Reaktionstemperatur. Deshalb gilt im allgemeinen die keramische Regel der weitgehendsten Feinmahlung der verwendeten Rohstoffe, soweit sie nicht wie Ton bereits die vielfach gewünschte kolloide Beschaffenheit ganz oder teilweise besitzen. Daß sich praktisch nicht immer die benötigte Kornfeinheit erzielen läßt, daß sogar für Sonderfälle mit Absicht gröbere Rohstoffbeschaffenheit gewählt wird, ändert an der allgemeinen Gültigkeit der Regel über Feinmahlung nichts.

Sie fördert die Sinterung, den wichtigsten Vorgang der Steinzeugbildung, nicht nur durch die Verbindung und Verfestigung der Einzelkrystallarten, sondern auch durch die chemischen Reaktionen, durch die Bildung der flüssigen Phase der Eutektika und die damit einsetzenden Lösungs- und Entglasungsvorgänge. Die Zahl der Reaktionen, die zu dem Gesamtergebnis der „Sinterung“ führen, ist entsprechend der Menge der im Steinzeug enthaltenen Einzelbestandteile sowie der ungewollten Verunreinigungen außerordentlich groß. Die Summe der analytisch nachweisbaren Einzelbestandteile ist es jedoch nicht allein, welche die Reihenfolge und den Umfang der aufeinanderfolgenden chemischen Prozesse und der physikalischen Lösungen bestimmt. Der Ausgangszustand der Rohstoffe als reiner Einzelmaterialien, komplizierter Mineralien oder Gesteine bestimmt neben dem Charakter der Erhitzungskurve die inneren Vorgänge bei der Entstehung des dichten Steinzeugs. Die Zwei-, Drei- und Mehrstoffsysteme der im Steinzeug hauptsächlich auftretenden Grundstoffe, wie:  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ ,  $\text{CaO—SiO}_2$ ,  $\text{MgO—SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O—SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O—SiO}_2$ ,  $\text{FeO—Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO—Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO—Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O—Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O—Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ ,  $\text{CaO—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ ,  $\text{MgO—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O—Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$  usw., sind vielfach untersucht. Diese Studien gestatten manchen Einblick in die Bildung und Eigenschaften von Gläsern und Krystallen dieser Zusammensetzung. Ein noch größeres Arbeitsfeld steht vor gründlicher Untersuchung. Am eingehendsten ist das Grundsystem des Steinzeugs (und fast aller keramischen

Massen)  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{—SiO}_2$ , sowohl an Hand der natürlich vorkommenden Mineralien als auch auf Grund synthetischer Arbeiten untersucht worden.

Bereits bei einer Temperatur von etwa  $1000^\circ\text{C}$  entstehen aus den reinen Grundstoffen bzw. aus den in die Grundstoffe zerfallenen und gegebenenfalls polymerisierten Einzelmaterialien Krystallite. Je nach der Reinheit bzw. den zufälligen Verunreinigungen oder den absichtlich zugesetzten Mineralisatoren und der Erhitzungsgeschwindigkeit können sie in außerordentlich verschiedener Größe und Anordnung auftreten. Zuerst wurden diese Verbindungen mit dem in der Natur vorkommenden Mineral Sillimanit  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  identifiziert. Neuere Untersuchungen lassen jedoch die Bildung von Mullit  $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$  annehmen. Erschwerend für die heutige Annahme war das Ergebnis der auf Grund der krystallographischen Ähnlichkeit der Gitter beider Stoffe angestellten röntgenographischen Untersuchungen, nach denen Sillimanit und Mullit identische Beugungsdiagramme ergaben, während bei derartig verschiedener chemischer Zusammensetzung erheblichere Unterschiede zu erwarten waren. Beide Substanzen zeigen Neigung zur faserigen Struktur mit langen Prismenformen, eine nahezu gleiche optische Charakteristik, völlige Übereinstimmung des Krystallsystems und der Formbegrenzung. Die Brechungsindices sind jedoch nicht völlig identisch. Es ist heute weitgehend nachgewiesen, daß die in dem Steinzeugscherben beim Brennen tonsubstanzhaltiger Massen entstehende Krystallphase mullitischen Charakter hat. Um die Bildung derartiger Krystalle zu begünstigen bzw. den Umfang und die Zahl der Krystallkeime willkürlich zu beeinflussen, werden den keramischen Rohmassen der Steinzeugmischung als Mineralisatoren häufig natürlicher Sillimanit bzw. sillimanithaltige Mineralien oder künstlich erbrannte Sillimanitmassen zugesetzt. Auch die an der Oberfläche von Steinzeugwaren angewandte Salzglasur wirkt mineralisatorisch. Die hierbei an der Berührungsfläche entstehenden Mullitkrystalle sind senkrecht zur Berührungsfläche orientiert.

Nach den neuesten Untersuchungen wird nicht mehr ein Zerfall des Mullits in Tonerde und Sillimanit angenommen, sondern ein solcher von Sillimanit in Korund und  $\text{SiO}_2$ . Der Zerfallsvorgang ließe sich also folgendermaßen wiedergeben:  $m\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \rightleftharpoons n\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2\text{-haltiges Glas}$ .  
disperse Mullitphase

Die inkongruente Schmelzung des Sillimanits unter Bildung von Mullitkrystallen geht beim Erhitzen auf etwa  $1545^\circ\text{C}$  vor sich.

Für Schmelzsysteme wird vollständige physikalische Homogenität der flüssigen Phase in ihrer gesamten Ausdehnung gefordert. Die viel komplizierteren Sinterungssysteme der Steinzeugtechnik besitzen insgesamt nur unvollständige physikalische

und chemische Homogenität der flüssigen Phase. Daher bleibt die für Schmelzsysteme ganz allgemein aufgestellte Forderung der absoluten Homogenität zwar nicht für die gesamte Masse, wohl aber für bestimmte kleine Raumteile derselben bestehen. Die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Massen dieser Raumteile weichen naturgemäß voneinander ab, wenn auch in den meisten Fällen nur wenig. Demnach wird unter Sinterung das Ergebnis lokaler Schmelzprozesse verstanden, deren Beginn durch die Lage der Eutektika in den wirksamen Schmelzsystemen der Massenbestandteile (wie auch der ungewollten Verunreinigungen) gegeben ist. Gesinterte Massen enthalten demnach neben bereits erschmolzenen glasigen Massen noch nicht gelöste bzw. nicht umgewandelte Krystallite des Ursprungsmaterials und neu gebildete Krystalle, häufig sehr verschiedener Zusammensetzung und Eigenschaften. Neu entstehende Krystallite, ihre Größe und Zahl, ihre Verteilung im Glase, ihre Lage zueinander, geben dem entstandenen Produkt nicht nur das äußerliche Charakteristikum, sondern sind auch von entscheidendem Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften und die Beständigkeit des fertigen Steinzeugs. Nicht alle sonst an sich brauchbaren keramischen Stoffe zeigen die Eigenschaft der Sinterung in gleichem Maße. Darauf muß bei beabsichtigter Beeinflussung der Eigenschaften des Fertigfabrikats entsprechende Rücksicht genommen werden.

Alle bei 1400°C noch nicht verdampfenden oder verbrennenden bzw. bei dieser Temperatur nicht durch Reduktion wesentlich veränderlichen Elemente, Oxyde, Carbide, Nitride, Salze usw. lassen sich der Steinzeugroh Mischung in verschiedenen Mengen allein oder in Mischung miteinander zufügen und beeinflussen hierdurch die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Fertigprodukts in außerordentlich weiten Grenzen. Die sich ergebende unendliche Mannigfaltigkeit gestattet dem Steinzeug alle jeweils gewünschten Sondervorteile zu geben. Seine Entwicklungsmöglichkeiten sind daher außerordentlich groß, und der gegenwärtige Stand veranschaulicht neben dem technisch Erreichten einer alten Industrie den Beginn eines neuen Aufstiegs. Eine Reihe von Beispielen beweisen industrielle Erfolge des Zusammenwirkens von Wissenschaft und Praxis.

Die ältesten und auch heute gebräuchlichsten Zuschläge zu Steinzeug-Masse-mischungen sind Flußmittel. Zum Zwecke der Scherbenverdichtung müssen fast stets Zusätze erfolgen. Die Sinterung und die Temperatur dieses Vorgangs kann durch alle glasbildenden Metalloxyde beeinflußt werden. Die Steinzeugindustrie benutzt vor allem für die Herabsetzung des Sinterungspunktes Zusätze von Alkalien und Eisenoxyden in Form von Feldspaten und alkalihaltigen Gesteinen und in Gestalt von eisenhaltigen Tonen usw. Aber auch Kalk dient vielfach mit Erfolg

als Flußmittel, während andere Zusätze wie  $\text{PbO}$ ,  $\text{BaO}$ ,  $\text{SrO}$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CoO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ce}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  usw. zur Erzielung von Sondereigenschaften des Steinzeugs Verwendung finden.

Bei Abkühlung einer flüssigen Schmelze kann an ihrem Erstarrungspunkt unter Freiwerden von Schmelzwärme Krystallisation eintreten. Dabei bilden sich zunächst Krystallkeime, die nach allen Seiten wachsen. Ob hierbei lediglich eine Krystallart entsteht, ob diese Krystallindividuen, groß oder klein, den bisherigen Raum des amorphen Glases restlos einnehmen oder nur als Einsprenglinge im Glase sporadisch auftreten, ob mehrere Arten von Krystalliten für sich oder in Kombination mit Mischkrystallen gebildet werden, hängt von einer sehr großen Zahl von Einzel-dispositionen der technisch-industriellen Maßnahmen ab. Die hauptsächlichsten Ursachen sind: chemische Zusammensetzung der ursprünglichen Massemischung und eventuelle Anwesenheit von Katalysatoren und Mineralisatoren, ihre Mahlfineinheit, Plasticität, Maukdauer, Formgebungsmethode (Trockenpressen, Plastischformen oder Flüssiggießen), Trockendauer, Brenndauer, oxydierender, neutraler oder reduzierender Brand, Brennhöhe und Temperaturverlauf und Abkühlungsgeschwindigkeit. Die Mineralisatoren werden gelegentlich als schon gebrannte, feingemahlene oder grobkörnige Schamotte der gleichen oder verwandter Massen benutzt. Einsetzende Krystallisation pflanzt sich unter entsprechender Verfestigung dem Wärmefluß entgegengesetzt nach innen fort. Besteht die Möglichkeit der vollkommenen Mischbarkeit in krystallisiertem Zustande, so bildet sich zwischen ihnen kein Eutektikum, sie erstarren in einem bestimmten Temperaturintervall. Die Verfestigung von Schmelzen nach dem eutektischen Typus findet dagegen derart statt, daß bei sinkender Temperatur innerhalb eines bestimmten Intervalls Krystalle der einen oder anderen Komponente in Schmelze eingebettet sind. Treten noch weitere Komponenten hinzu, so können mehrere Eutektika entstehen, wobei in der Steinzeugmasse je nach dem Auftreten einzelner enantiotroper oder monotroper Umwandlungen verschiedene Krystallgebilde und Gruppierungen resultieren.

Einige Beispiele veranschaulichen am besten Arbeitsweise und Wirkung der Forschungsergebnisse und die sich daraus ergebenden Möglichkeiten, die physikalischen und chemischen Eigenschaften der Steinzeugmassen jedem gewünschten Verwendungszweck anzupassen.

Die Möglichkeit, Steinzeug als Werkstoff für Isolatoren zu verwenden, war lange Zeit nicht vorhanden, weil seine elektrische Durchschlagsfestigkeit ungenügend war. Dieser wesentliche Nachteil der billigeren Steinzeugmassen machte ihren Gebrauch trotz der bekannten vorzüglichen Formbarkeit zu elektrotechnischen

Geräten allergrößter Abmessungen unmöglich, obwohl in der gesamten elektrotechnischen Industrie ein großes Bedürfnis nach einteiligen Großisolatoren für hohe Spannungen bestand.

Die Erkenntnis, daß der Grad der Durchschlagsfestigkeit einer Steinzeugmasse nicht nur von der Dichte der Masse an sich, sondern in allererster Linie von zwei Momenten abhängt, nämlich von ihrer chemischen Zusammensetzung und der physikalischen Form der sie aufbauenden Bestandteile, war ausschlaggebend für den Fortschritt.

Derselbe wurde durch Verwendung von unhygroskopischen Steinzeugmassen erzielt, die Titan in mehr als einer Verbindungsform enthielten, beispielsweise in Form seiner verschiedenen Oxyde oder sonstiger chemischer Verbindungen wie Titanate und Titangläser, also krystallisierter Körper neben amorphen von ähnlicher chemischer Zusammensetzung. Hier besteht eine sehr interessante Analogie mit Porzellan hoher elektrischer Durchschlagsfestigkeit, das Tonerdesilicate ebenfalls in zwei verschiedenen Phasen, nämlich als krystallisierten Mullit (bzw. Sillimanit) neben einer amorph glasigen Phase aufweist.

Noch höhere Durchschlagsfestigkeit besitzen Steinzeugmassen mit einem Gehalt an Eisen- und Titanverbindungen in den höheren Oxydationsstufen.

Eine weitere Qualitätssteigerung in bezug auf die elektrische Durchschlagsfestigkeit wird in unhygroskopischen Steinzeugmassen, die Titan in mehr als einer chemischen Verbindungsform enthalten, durch den Zusatz von Cer-, Zirkon-, Chrom-, Mangan-, Phosphor-, Wolfram- und Vanadinverbindungen erzielt. Diese Zuschlagstoffe wirken mineralisatorisch. Sie rufen in der dichten Steinzeugmasse neben den neu gebildeten Krystalliten und den noch ursprünglichen im Glase ungelösten Bestandteilen eine Entglasung der amorphen Phase hervor. Die Krystallisatoren erhöhen die Krystallkeimzahl und führen Gläser, die sonst erst im Laufe vieler Jahre allmählich aus dem labilen amorphen in den stabilen krystallinen Zustand überzugehen eine mehr oder minder große Neigung haben, noch während des Brandes oder unmittelbar nach dessen Beendigung, d. h. im Verlauf der Abkühlung in Krystallite über. Dadurch wird die Stabilität der Steinzeugmasse an sich gesteigert und die elektrische Durchschlagsfestigkeit erhöht.

Die Mengen der notwendigen Mineralisatorenzusätze sind relativ gering. Beim Brande entstehen unter den geschilderten Bedingungen unmittelbar aus der ursprünglichen glasig amorphen Modifikation Krystallite von der Zusammensetzung des Mullits, Sillimanits oder Mischkrystalle von beiden mit Mangan-, Eisensilicaten usw. bzw. Tonerdedoppelsilicaten. Daneben stehen stets geringere Mengen von Titanaten, Tonerdedoppeltitanaten und Mischkrystallen zwischen Silicaten und Titanaten.

Zu ganz besonders interessanten Ergebnissen führten die synthetischen Arbeiten auf dem Gebiet der „Dreistoffsystem-Steinzeugmassen:  $RO-Al_2O_3-SiO_2$ “, wobei das RO aus MgO, CaO, SrO, BaO, ZnO und FeO gebildet wird und aus einem Monoxyd allein oder mehreren in Kombination besteht. Die Massen bilden den Übergang zu zahlreichen Werkstoffen, die normalerweise auf ganz anderer Basis aufgebaut werden. Sie führen zum Steatit und zu hochfeuerfesten Stoffen, sie liefern hochsäure- und hochbasenbeständige Produkte. Gewisse dieser Massen sind charakterisiert durch engste Nachbarschaft von Sinterungs- und Schmelzpunkt, andere zeigen für diese beiden Merkmale den größten Abstand.

Aus der Fülle des Materials zeigen einige charakteristische Beispiele die Arbeitsmethoden, ihre Ziele und Ergebnisse.

Werden Steinzeugmassen des Dreistoffsystems  $RO-Al_2O_3-SiO_2$  mit einem aus MgO, CaO, SrO, BaO, ZnO oder FeO gebildeten RO derart hergestellt, daß das Endprodukt aus mindestens drei Phasen besteht, von denen die eine Sillimanit oder Mullit bzw. Sillimanit-, oder Mullitmischkrystalle mit dem RO-Silicat oder RO-Alumosilicat ist, die zweite das RO-Orthosilicat oder RO-Metasilicat vorstellt, während die dritte Phase aus einem Glase des Dreistoffsystems  $RO-Al_2O_3-SiO_2$  besteht, so gelingt es, den Ausdehnungskoeffizienten des fertigen Steinzeugs bis auf  $0,15 \cdot 10^{-6}$  herabzusetzen. Diese Ziffer ist weniger als ein Drittel des entsprechenden Betrags für Kieselsäureglas. Daher hat diese Spezialsteinzeugmasse den kleinsten Ausdehnungskoeffizienten aller keramischen Werkstoffe der Welt.

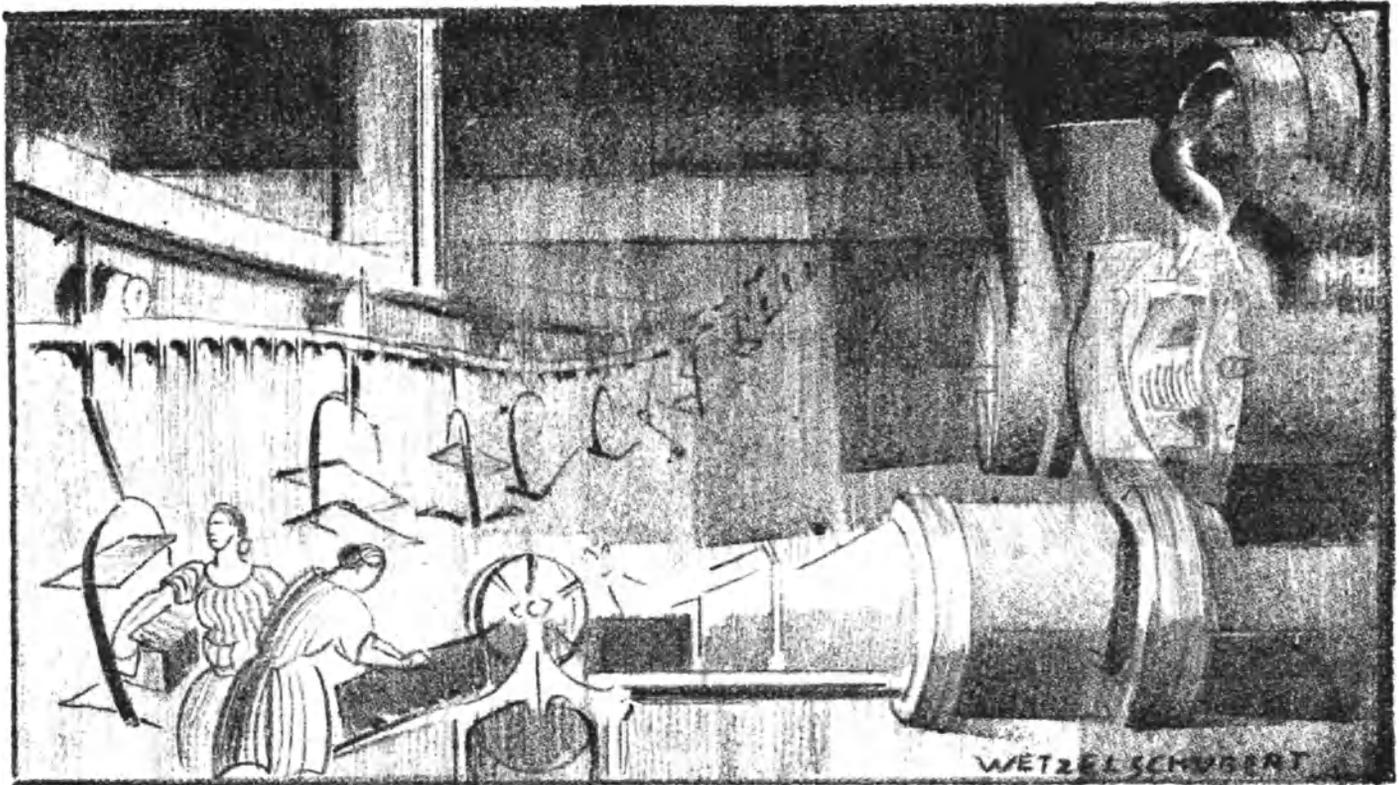
Wird das RO als MgO gewählt, so entstehen als RO-Silicate: Enstatit, Klinoenstatit bzw. Forsterit. Wird hierbei als MgO-Rohstoff Speckstein verwendet, so stellt diese Serie den Übergang vom Steinzeug zum Steatit vor. Diese Massen sind nicht nur sehr säurebeständig, sondern zeichnen sich auch durch eine mit steigendem MgO-Gehalt dauernd wachsende Basenbeständigkeit aus, die im Endpunkt der Reihe, dem Sintermagnesit, ihren Höhepunkt erreicht. Bei gleichem Verhältnis von  $RO : Al_2O_3 : SiO_2$  werden die MgO-Steinzeugmassen an Basenbeständigkeit durch die Steinzeugmassen des Dreistoffsystems:  $BaO-Al_2O_3-SiO_2$  noch übertroffen; das Maximum im Schnitt:  $BaO-Al_2O_3 \cdot SiO_2$  ist gleichzeitig hochfeuerfest.

Bei diesen Massen spielt es zwar keine Rolle für die gewünschte Qualität, ob zwischen dem Tonerde- und dem Erdalkalisilicat Mischkrystalle auftreten oder jede Krystallart für sich neben der anderen bzw. im Glase eingebettet lagert. Es ist unerheblich, ob Ortho- oder Metasilicate oder beide gleichzeitig entstehen. Die geschilderten Eigenschaften werden jedoch verschlechtert, wenn Mengenverhältnisse, Brenndauer und -höhe, sowie Abkühlungsgeschwindigkeit die Entstehung von Spinellen verursachen bzw. begünstigen.

Diese Verfahren zur Herabsetzung des Ausdehnungskoeffizienten von Steinzeugmassen besitzen noch zahlreiche Variationsmöglichkeiten und lassen sich daher jedem Spezialfall weitgehend anpassen. Beispielsweise bedeutet es für viele Fälle eine Verbesserung der Steinzeugmassen, durch die Art der Führung des Brennprozesses die neben den beiden Krystallarten bestehende glasige Phase ebenfalls ganz oder teilweise in den krystallinen Zustand überzuführen. Diese Krystallisation erfolgt durch eine Temperatur-Zeitreaktion, durch Aufrechterhaltung der Höchsttemperatur beim Brennen für eine gewisse Zeitdauer. Je nach der Zeitdauer der Höchsttemperatur bzw. der Abkühlungsgeschwindigkeit wird hierbei nach Belieben die glasige Phase ganz oder teilweise in krystalline Körper der Erdalkali-Alumosilicatgruppe übergeführt. Zuerst entstehen Körper der Zusammensetzung und Krystallisation der hexagonalen Nephelengruppe, bei längerer Aufrechterhaltung der Höchsttemperatur solche der triklinen Plagioklasgruppe und bei noch längerer solche der rhombischen Cordieritgruppe. Die Übergänge erfolgen allmählich, so daß gleichzeitig sowohl Körper der verschiedenen Nachbargruppen nebeneinander wie die glasige Phase neben solchen Körpern bestehen können.

Es ist zweckmäßig, die Stoffe, die bei Durchführung dieses Verfahrens an sich erst mit Bildung des Dreiphasensystems entstehen, als Mineralisatoren der rohen Steinzeugmischung beizumengen. Daher dienen die verschiedenen Aluminiumsilicate, Sillimanit und Mullit, Sillimanit- oder Mullitmischkrystalle mit Metasilicaten des Magnesiums und der Erdalkalien, beispielsweise Enstatit, Forsterit, Wollastonit, ferner Erdalkali-Alumosilicate, also Cordierit, triklone Plagioklase, hexagonale Nepheline, Celsian usw. als Krystallisatoren. Auch in diesem Falle wird der Brennprozeß bis zur Entstehung der drei verschiedenen Phasen durchgeführt, und auch hier bietet sich die Möglichkeit, durch entsprechende Einstellung der Kühlgeschwindigkeit den Ausdehnungskoeffizienten der Steinzeugmasse zu regulieren. In der Durchführung der Variation des Verfahrens werden die Krystallisatoren entweder in bereits fertig gebildeter Form in die Rohmasse eingeführt oder als Verbindungen, aus denen sich erst während des Brennverlaufs die Mineralisatoren bilden. Bedingung ist die Entstehung unterhalb der Bildungstemperaturen des Dreiphasensystems. Beispielsweise wird anstatt Mullit oder Sillimanit Cyanit oder Disthen, anstatt Enstatit Klinoenstatit benutzt.

Besonders günstige Erfolge werden bei dem beschriebenen Verfahren zur Herabsetzung des Ausdehnungskoeffizienten von Steinzeug und Steatit erzielt, wenn ein Teil der Aluminiumverbindungen in Form von wasserlöslichen Salzen eingeführt wird. Dies erfolgt durch Zusätze von Aluminiumnitrat, -sulfat, Kali- oder Aluminiumalaun, wobei die Menge der Zusätze in ziemlich weiten Grenzen schwanken kann.



In analoger Weise wirken auch Zusätze von wasserlöslichen Salzen der Erdalkalien. Der Erfolg bleibt unverändert günstig, wenn die in die Masse eingeführten oder darin vorhandenen wasserlöslichen Salze vor der Formgebung bzw. vor dem Brennen durch geeignete Zusätze in wasserunlösliche Form übergeführt werden. In gewissen Fällen ist es auch zweckmäßig, die von wasserlöslichen Salzen freie Steinzeugmasse mit wasserlöslichen Salzen in Dampfform zu behandeln. Dies kann beim Brennprozeß durch die Einführung von Ammoniumverbindungen oder Eisenchlorid mit den Feuergasen erfolgen.

Wie alle keramischen Massen mit glasig amorpher Phase sind auch Steinzeugmassen Alterungserscheinungen unterworfen, die darauf zurückzuführen sind, daß im Laufe langer Zeit die in solchen Massen vorhandenen glasig amorphen Stoffe aus dem labilen amorphen in den stabilen Krystallzustand überzugehen bestrebt sind. Die durch Alterungserscheinungen eventuell auftretenden Nachteile lassen sich vermeiden, wenn der stabile Endzustand schon bei der Produktion erreicht wird. Grundgedanke hierfür ist, von vornherein und zwar unmittelbar mit oder nach dem Brennen bereits die glasig amorphe Phase möglichst restlos in Krystallite überzuführen. Für diesen Zweck wird die Krystallkeimzahl der an sich in den Massen auftretenden Krystallite künstlich außerordentlich stark erhöht. Zur Erreichung des Zieles werden den Massen Krystallisatoren in Form der Verbindungen des Cers, Zirkons, Chroms, Mangans, Wolframs oder Vanadins in Form ihrer Oxyde, Carbonate, Silicate oder Aluminate zugesetzt. Eine ähnliche Wirkung bezüglich einer Erhöhung der Krystallkeimzahl wird auch durch den Zusatz von Siliciumcarbid erzielt, wobei gleichzeitig Massen entstehen, die nicht mehr elektrische Nichtleiter, sondern je nach der Zusatzmenge des SiC Elektrizitätsleiter sind.

Brenndauer und -höhe sind nicht nur von ausschlaggebender Wichtigkeit für die Qualität der erzielten Steinzeugprodukte, sondern in weitgehendem Maße auch für die Formgenauigkeit der Ware. Wird gesintertes (gargebranntes) Steinzeug längere Zeit erhitzt und hierbei gleichbleibende Temperatur oder kürzere Frist bei steigenden Hitzegraden benutzt, so schreiten die chemische Reaktion und die physikalische Lösung zwischen der bereits vorhandenen flüssigen Phase und den noch aus den Ursprungsstoffen stammenden bzw. bereits neugebildeten Krystalliten vorwärts. Es bilden sich häufig neue, vollkommen anders gestaltete Krystallite, welche die physikalischen Eigenschaften der abgekühlten Steinzeugmasse stark verändern. Schließlich überwiegt jedoch die Lösung im Glase, die flüssige Phase nimmt derartigen Umfang an, daß die vor dem Brande geformte Steinzeugware deformiert, und endlich tritt vollkommene Schmelzung ein. Hierbei hat Steinzeug jedoch nicht einen scharfen Schmelzpunkt, sondern schmilzt, wie alle keramischen

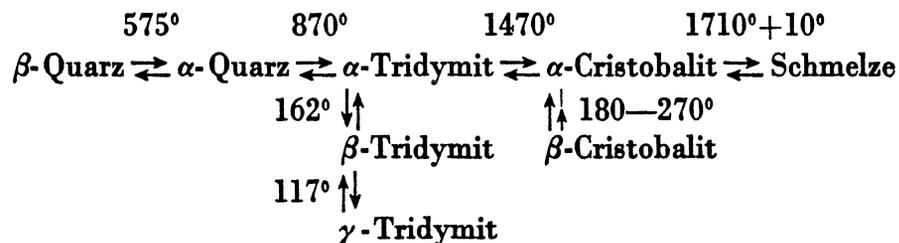
Massen, in Intervallen. Eine allmähliche Erweichung und Überführung in den flüssigen Zustand tritt ein, welche ebenso wie die Sinterung von der chemischen Zusammensetzung, der Korngröße, Erhitzungsgeschwindigkeit und -höhe abhängt. Je größer der Abstand der Sinterungs- und Schmelztemperatur ist, um so länger kann die erstere eingehalten werden, ohne eine Zerstörung des Formlings durch Erweichung befürchten zu müssen. In um so weiterem Umfang läßt sich die Sinterungstemperatur für die Krystallisations- und Lösungsvorgänge benutzen, die in erster Linie geeignet sind, die physikalischen Eigenschaften des Fertigsteinzeugs bewußt zu beeinflussen. Ein einheitlicher Stoff, beispielsweise ein reines Metall, schmilzt, wenn die Erhitzung so hoch ist, daß die Randmoleküle der einzelnen Teilchen, die an und für sich leichter beweglich als die innen gelegenen sind, aus ihrer geordneten Lage herausgeworfen werden. Da die Randmoleküle nach außen hin durch keine An- oder Abstoßungskräfte von Nachbarteilchen festgehalten werden, erfolgt dieser Vorgang verhältnismäßig leicht. Deshalb geht immer zuerst die äußere Schicht in den flüssigen Zustand über, der dann allmählich nach innen zu weiter um sich greift. Vollkommen analog ist der Schmelzvorgang bei einheitlichen keramischen Stoffen. Das Schmelzen beginnt also mit dem Übergang des krystallinen Stoffes in den amorphen Zustand. Im Schmelzpunkt befinden sich demnach feste und flüssige Phase im Gleichgewicht.

Bei einem Gemenge verschiedener Komponenten, wie es beispielsweise die Steinzeugmasse vorstellt, wird der zuerst schmelzende Anteil die noch krystallinen Bestandteile auflösen, bis schließlich das ganze System flüssig wird. Silicate sind in diesem Zustande alle ineinander löslich. Die Lösung eines mineralischen Stoffes in einem Glase und der dadurch bedingte Übergang vom krystallinen in den amorphen Zustand hat oft zur Folge, daß bei einer erneuten Auskrystallisation des gleichen chemischen Stoffes ein anderes Krystallsystem und damit andere physikalische Eigenschaften der ganzen Masse entstehen.

Es treten häufig, wie bei Quarz, in bestimmten Etappen Änderungen der Krystallgestalt auf, die verschieden rasch oder träge vor sich gehen können und von Dilatations- oder Kontraktionserscheinungen des Volumens begleitet sind. Für den Brennprozeß von Steinzeugmassen ist das Vorhandensein eines solchen polymorphen Stoffes, der bei seinen Umwandlungen in andere Modifikationen den Formling lokal dehnen oder kontrahieren kann, oft eine Gefahr, da er zu Ribbildungen Anlaß geben kann. Bei enantiotropen Körpern ist die Umwandlung umkehrbar, bei monotropen Stoffen dagegen nicht.

Von den Massen, die Einstoffsystemen am nächsten kommen, sind nur zwei Gruppen näher bekannt, nämlich geschmolzene und amorph erstarrte Kieselsäure

und geschmolzene und krystallinisch erstarrte Tonerde. Das folgende Schema gibt einen Überblick über die verschiedenen Modifikationen der Kieselsäure:



Mit  $\alpha$  ist diejenige Modifikation bezeichnet, die der Schmelze am nächsten steht, die weiter entfernten mit  $\beta$  und  $\gamma$ . Man unterscheidet zwei Typen von Umwandlungen, und zwar zunächst diejenigen, die scharf in unmittelbarer Nähe des Gleichgewichts stattfinden und mit nur geringfügigen Änderungen der Krystallgestalt begleitet sind, wie z. B. der  $\alpha \rightleftharpoons \beta$ -Quarzübergang bei  $575^\circ$ . Die anderen Typen von Umwandlungen erfolgen sehr träge (z. B.  $\alpha$ -Quarz  $\rightarrow$   $\alpha$ -Tridymit  $\rightarrow$   $\alpha$ -Cristobalit  $\rightarrow$  Schmelze) und meist nur bei Zusatz von Katalysatoren. Diese Umwandlungen sind für die Technik der Steinzeugherstellung von besonderer Bedeutung, da sie durch ihre oft beträchtlichen Volumeneffekte unter gewissen Umständen ungünstig auf das Gefüge der Fabrikate einwirken. Deshalb wird die Kieselsäure in bestimmten Spezialfällen nicht in Form des hexagonalen Quarzes, sondern von vornherein in der Form des Tridymits bzw. in Gestalt des amorphen, geschmolzenen Kieselsäureglases in den keramischen Massenversatz eingeführt.

Das reine Aluminiumoxyd  $\text{Al}_2\text{O}_3$  schmilzt bei  $2050^\circ\text{C}$  und erstarrt bei Abkühlung rasch wieder krystallin zu Korund. Korundzusatz zu Steinzeugmassen erfolgt zum Zwecke der Steigerung gewisser physikalischer Eigenschaften.

Der Kalifeldspat  $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$  beginnt bei etwa  $1200^\circ\text{C}$  inkongruent zu schmelzen und scheidet bei zunehmender Temperatur reguläre Skelette, über  $1400^\circ\text{C}$  rundliche Krystallaggregate von Leucit aus. Die Gleichgewichtstemperatur der inkongruenten Schmelzung wird durch geringe Beimischungen von Natronfeldspat (Albit) auf etwa  $1170^\circ\text{C}$  herabgesetzt.

Die komplizierten Erscheinungen bei der Entstehung des Steinzeugs, die chemischen Reaktionen in festem und flüssigem Zustande, die physikalischen Vorgänge, Lösungen und Krystallisationen sind noch nicht vollkommen bekannt. Die Kenntnis über die Zusammenhänge zwischen chemischer Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften ist erst am Beginn ihrer Erforschung. Trotzdem haben die bisherigen Studien und Arbeiten auf diesem Gebiete industriell bereits wesentliche Erfolge gezeitigt und entsprechende Fortschritte der Steinzeugtechnik erzielt, welche die weiteren Wege und Ziele der reinen Forschungsarbeiten bestimmen.

# DIE ENTSTEHUNG UND VORKOMMEN DER NATÜRLICHEN ROHSTOFFE

Die keramischen Rohmaterialien, die sich für die Steinzeugindustrie eignen, kommen in außerordentlicher Verbreitung in nahezu allen geologischen Formationen vor, allerdings nur, wenn hierbei der ganze weite Kreis der für die Herstellung der verschiedenen Steinzeugmassen verwendeten oder überhaupt verwendbaren Naturprodukte berücksichtigt wird.

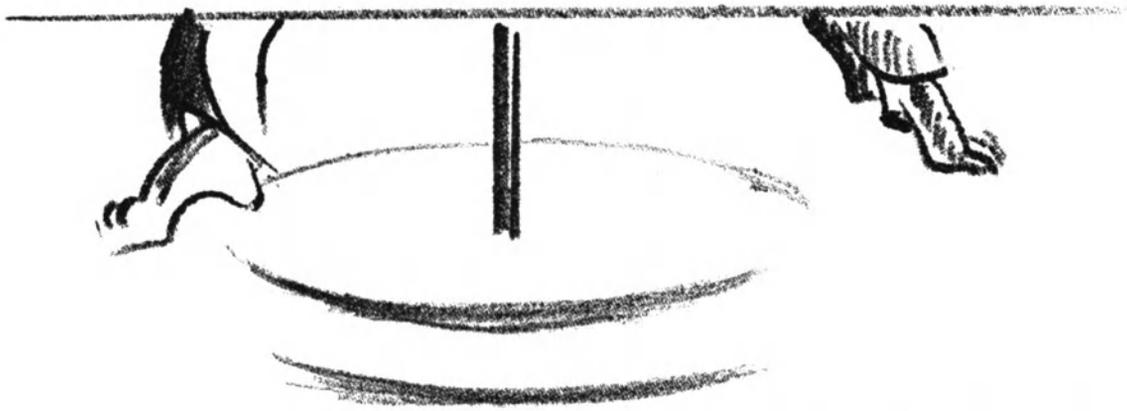
Sie lassen sich im wesentlichen in zwei große Gattungskomplexe gliedern. Die größte Bedeutung haben die plastischen Rohstoffe, welche die Formgebung ermöglichen. Beigemengt werden ihnen unplastische Mineralien und Gesteine als Magerungs- oder Flußmittel. Diese dienen auch zur Erzielung besonderer chemischer bzw. physikalischer Eigenschaften des Fertiggutes. Daneben werden noch eine Anzahl von Kunstprodukten bzw. gereinigten Rohprodukten zur Herstellung von Steinzeugmassen benutzt.

Zu den ersteren, die im allgemeinen den Grundstock jeder keramischen Masse bilden, gehören alle „Tonsubstanz“ enthaltenden Rohstoffe, insbesondere Kaolin, Ton, Tonschiefer, gelegentlich auch Tonmergel und andere. Die unplastischen Zuschlagstoffe sind Rohmaterialien von sehr verschiedenartiger Zusammensetzung, wie z. B. Quarz, Feldspat, Granit, Basalt, Porphyr, Kreide, Dolomit, Magnesit, Korund, Graphit. Für den Aufbau normaler Steinzeugmassen haben Quarz und Feldspat die größte Bedeutung. Sie bilden regelmäßig einen mehr oder weniger großen Bestandteil der fertigen Steinzeugmassen.

Zu den plastischen, nicht tonsubstanzhaltigen Rohstoffen für Steinzeugspezialmassen gehören auch Speckstein bzw. Talk, Magnesiumhydrosilicate.

Zum überwiegenden Teil bestehen alle normalen Steinzeugmassen aus plastischen, Tonsubstanz enthaltenden Tongesteinen, die mineralogisch im wesentlichen Zersetzungs- oder Verwitterungsprodukte tonerhaltiger Mineralien darstellen. Sie enthalten außerdem mineralische Beimengungen der verschiedensten Art wie Quarz, Glimmer, Kalk, Feldspat, Eisenverbindungen und andere sowohl in kristalliner wie auch in kolloider Form.

Je nach Art ihrer Entstehung werden die Tongesteine in zwei Hauptgruppen eingeteilt: Kaoline und Tone. Als Kaoline können alle Tonmineralien bezeichnet werden, die sich noch auf ihrer ursprünglichen, also primären Lagerstätte befinden. Dort sind sie durch Zersetzungs Vorgänge entstanden. Sie enthalten daher außer einer bereits mehr oder weniger vollständig umgewandelten Grundmasse, in diese



WETZEL-SCHUBERT

eingebettet, noch unzersetzte Bestandteile des Muttergesteins, insbesondere Quarz und Glimmer. In den meisten Fällen lassen sie die Struktur des feldspathaltigen Muttergesteins (Granit, Porphyry usw.) noch deutlich erkennen.

Als Tone werden demgegenüber alle nachträglich sekundär umgelagerten Tongesteine bezeichnet, die bei der Umlagerung fast immer sowohl in physikalischer wie in chemischer Beziehung mehr oder weniger verändert worden sind. In erster Linie ist mit der Umlagerung ein Aufbereitungsprozeß verbunden, durch den die ursprünglich vorhandenen unzersetzten Bestandteile des Muttergesteins zur Ausscheidung gelangen. Häufig haben sich aber auch bei dem Transport und der folgenden Ablagerung nichttonige Verwitterungsprodukte und Verunreinigungen aller Art mit abgesetzt und bilden nun erwünschte oder unerwünschte Beimischungen. Dementsprechend enthalten die Tone oft einen höheren Prozentsatz an Erdalkalien, Alkalien, Eisen und Kieselsäure, sowie organischen Beimengungen als die von den Resten des Muttergesteins im allgemeinen durch künstliches Schlämmen gereinigten Kaoline. Während Kaolin den Hauptgrundstoff für die Porzellanfabrikation bildet und als Zusatz zu Steinzeugmassen nur in Sonderfällen Verwendung findet, werden für die Steinzeugherstellung im wesentlichen plastische Tone verarbeitet.

Kaolin stellt chemisch ein komplexes Tonerdehydrosilicat vor. Die Art der Entstehung der Kaolinlager ist umstritten. Von den verschiedenen dafür aufgestellten Theorien hat heute wohl die folgende die allgemeinste Geltung: Es wird angenommen, daß die als Kaolinisierung bezeichnete sekundäre Umwandlung feldspathaltiger Gesteine durch Verwitterungsvorgänge erfolgt ist, die von der Oberfläche ausgehen. Diese Theorie findet ihre Stütze im wesentlichen in den neueren Untersuchungen über den chemischen Vorgang der Kaolinisierung. Die Zersetzung der Feldspate zu Kaolin, bei der das Alkali herausgelöst wird, das Aluminiumsilicat aber unter Wasseraufnahme erhalten bleibt, findet schon unter Einwirkung des Wassers allein statt. In verstärktem Maße geschieht dies unter der Einwirkung einer wässerigen Lösung von Kohlensäure oder Huminsubstanzen. Dagegen sind stärkere Säuren, wie Schwefelsäure oder Flußsäure, zur Kaolinbildung nicht geeignet, weil sie auch das Aluminiumsilicat zersetzen. Außerdem deutet auf die exogene Entstehung der meisten Kaolinlagerstätten ihre flache, breite Gestalt und der allmähliche Übergang des Kaolins nach der Teufe zu in frisches unzersetztes Gestein hin.

Demgegenüber verliert die ältere Theorie der Kaolinisierung durch aus dem Erdinnern aufgestiegene Dämpfe und heiße Lösungen an Bedeutung. Nur für einige bekannte Kaolinlagerstätten, bei denen die aufsteigenden Lösungen im wesentlichen

kohlensäurehaltig waren, kann von einer solchen endogenen Entstehung gesprochen werden. Zu diesen gehören z. B. die kaolinisierten Granite von Ströbel in Schlesien.

Im Gegensatz zu den Kaolinen stehen nach der Art ihrer Ablagerung die eigentlichen Tone, die sich immer auf sekundärer oder noch späterer Lagerstätte befinden. Ihrer Entstehung nach stellen sie Zusammenschwemmungen von tonigen Verwitterungsprodukten ortsfremder Minerale und Gesteine dar, die bei ihrem Forttransport durch Wasser eine weitgehende Aufbereitung erfahren haben. Die gröberen und weniger leicht beweglichen Gesteinsreste, die in der ursprünglichen Verwitterungsmasse enthalten waren, wurden abgeschieden, bevor sich das feinste Gut, Reinsubstanz oder Gemenge annähernd gleicher Korngröße, im stillen Wasser absetzte. Da diese Sedimentation in salzhaltigem Meerwasser, in dem das Salz flockend wirkt, viel schneller vor sich ging als im Süßwasser, sind marine Tone im allgemeinen nicht so rein als die im Süßwasser ganz langsam unter weitgehender Trennung der Korngrößen abgesetzten Tone.

Durch sekundär während des Transports eingeschlammte Fremdstoffe hat die Tonsubstanz in zahlreichen Fällen nachträglich Veränderungen erfahren, so daß die Ablagerungen ganz verschiedenartige Eigenschaften besitzen können, deren Untersuchung und Feststellung für die Verwendbarkeit als Steinzeugrohstoff von höchster Bedeutung ist.

Die Gestaltung der Tonlager ist ganz verschieden und hängt lediglich von der Form des Wasserbeckens ab, durch das und in dem sie gebildet worden sind. Dementsprechend erstrecken sich Ablagerungen von marinem Ton meist über große Gebiete hin und sind in ihrer Mächtigkeit gleichmäßiger als Süßwasserablagerungen. Sie weisen häufig eine deutliche Schichtung auf. Durch veränderte geologische Vorgänge, die ihre Entstehung bewirkten, haben sich auch Wechsellagerungen mit andersartigen, insbesondere Kies- und Sandschichten, bei älteren Ablagerungen mit Konglomeraten und Sandsteinen gebildet.

Außer durch Wasser kann der Transport von tonigen Verwitterungsprodukten und damit die Bildung von Tonlagern auch durch Eis, durch Wind oder durch Gehängerutschung vor sich gegangen sein. Während die durch Eis oder durch Gehängerutschung gebildeten Lager meist sehr unrein sind und technisch nur untergeordnete Bedeutung haben, sind die Windablagerungen, wie sie z. B. der Löß darstellt, weitgehend aufbereitet und von großer Reinheit, aber stets kalkhaltig und häufig von organischen Resten durchsetzt.

Tongesteine treten in den verschiedensten Formen und Graden der Verfestigung auf.

Die Urtonschiefer oder Phyllite, sowie die gewöhnlichen Tonschiefer sind durch geologisches Alter bzw. durch Gebirgsdruck vollkommen verfestigte und harte Gesteine. Auch der geologisch jüngere Schieferton kann noch als regelrechtes, wenn auch ziemlich mildes und weiches Gestein angesprochen werden. Dagegen sind die eigentlichen, meist aus dem Tertiär und jüngeren geologischen Formationen stammenden Tone, die für die Steinzeugfabrikation in erster Linie in Betracht kommen, weich und mit der Hand knetbar. Durch Brauneisen gefärbte sand- und gewöhnlich auch kalkhaltige junge Tone werden als Lehm bezeichnet, stärker kalkhaltige Tone als Tonmergel, vorwiegend kalkhaltige, fast stets steinige als Kalkmergel. Ein alluvialer Ton ist der Schlick, aus dem die Absätze der Überschwemmungsgebiete großer Ströme und des Meerufers bestehen.

Wie die Art ihrer Entstehung schon deutlich erkennen läßt, finden sich Tone in weitester Verbreitung überall auf der Erdoberfläche. Für die Steinzeugindustrie besonders wichtig sind in allen Produktionsländern die mit Braunkohle gemeinsam auftretenden Tertiärtone. Es sind dies gut bildsame Tone, die beim Brande ohne Zugabe weiterer Flußmittel möglichst früh dicht sintern, jedoch verhältnismäßig spät schmelzen, so daß der Schmelzpunkt einen möglichst weiten Abstand vom Sinterungspunkt hat. Normalerweise werden Mischungen verschiedener Tone benutzt, die als für den Einzelzweck geeignet ausgeprobt worden sind. Am geeignetsten sind Tone, deren Sinterungspunkt etwa bei Segerkegel 3 bis 6 liegt, während die Schmelzung erst oberhalb des Segerkegels 28 erfolgt.

Von den unplastischen Rohmaterialien kommen für die Zusammensetzung der Steinzeugmassen in erster Linie Quarz und Feldspat in Frage.

Quarz ist eines der verbreitetsten Mineralien. Er kommt auf primärer Lagerstätte als Gangquarz, normalerweise gebunden an tektonische Störungsgebiete auf Spalten und Klüften, vor und wird in dieser Form von der Porzellanindustrie verwendet.

Für die Steinzeugindustrie sind die sekundären Vorkommen in Form von quarzhaltigem Ton, Sand, Sandstein und Quarzit viel wichtiger. Sande sind lockere Anhäufungen letzter Verwitterungsreste quarzhaltiger Gesteine, und zwar die wegen ihrer weitgehenden chemischen Indifferenz übriggebliebenen Quarzteilchen. Die für die Steinzeugindustrie recht wichtigen, vielfach eisenfreien sogenannten Glasande sind in den meisten Fällen Ablagerungen in der Nähe von Braunkohlenvorkommen und treten weit verbreitet als Umrahmung der tertiären Horste Mitteldeutschlands auf.

Die Sandsteine sind durch kieseliges Bindemittel von häufig amorpher oder mikrokristalliner Struktur verfestigte Sande; bei noch weitgehender Verfestigung

unter Druck gehen sie in Quarzite über, von deren deutschen Vorkommen das im Devon des rheinischen Schiefergebirges das wichtigste ist.

Feldspate sind Kalium-, Natrium- oder Calcium-Aluminiumsilicate. Sie sind aus dem magnetischen Schmelzfluß bei seinem langsamen Erkalten auskrystallisiert. Sie finden sich in Tiefengesteinen in größeren Einzelkrystallen als in den jüngeren Ergußgesteinen, besonders in den als Linsen, Stöcke oder Gänge in juvenilen Gesteinen auftretenden Pegmatiten, aus denen sie häufig gewonnen werden. Für die Steinzeugtechnik ist der Kalifeldspat oder Orthoklas verhältnismäßig wichtig. (Die reichsten Feldspatvorkommen befinden sich in den Urgesteinen der nordischen Länder.)

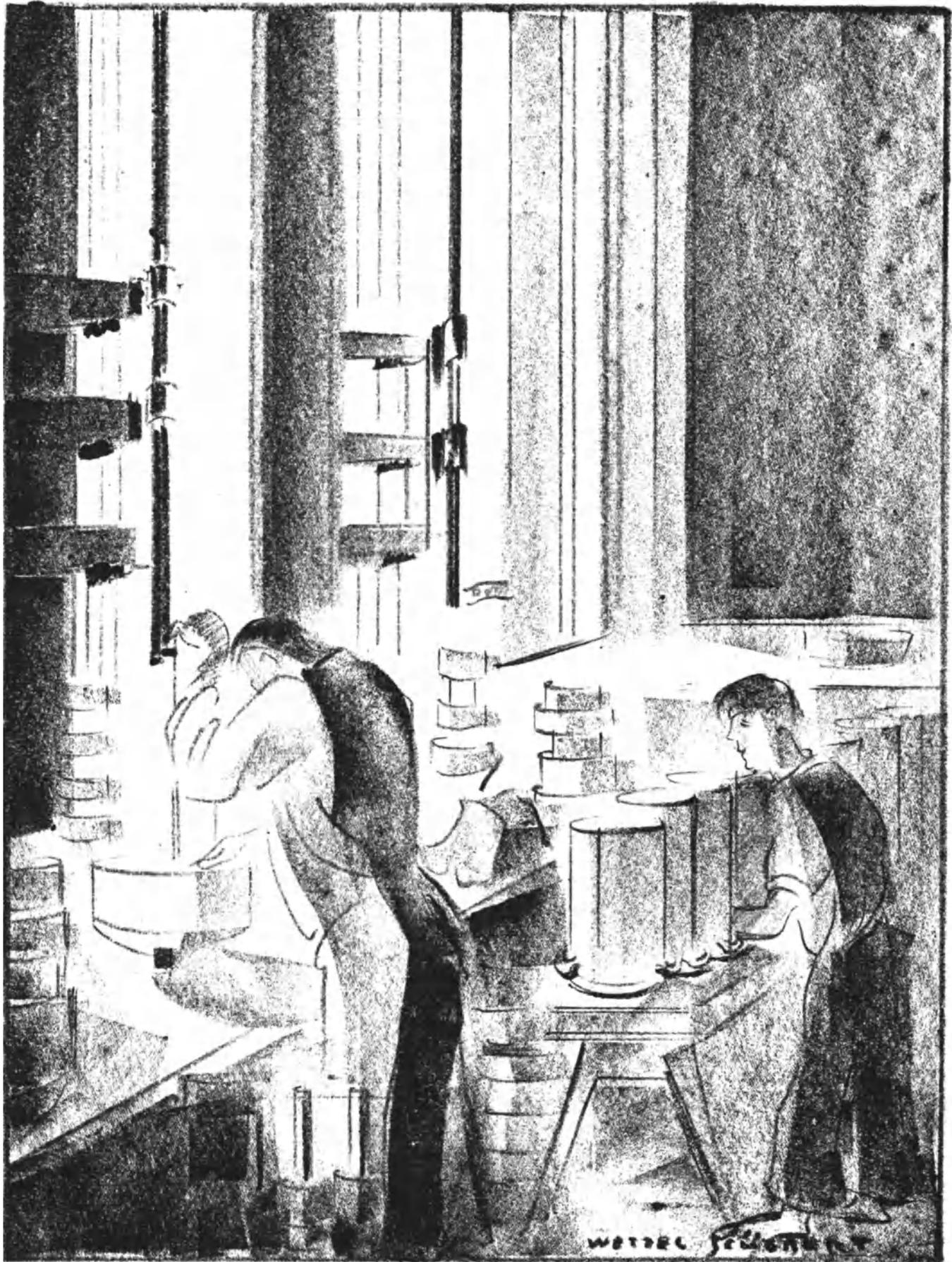
Die deutschen Feldspatvorkommen sind wenig zahlreich; zu erwähnen sind die Vorkommen in der Oberpfalz, in Niederbayern, Oberfranken und bei Birkenfeld. Der sogenannte Quarzspat von Ströbel am Zobten ist ein Gemenge von Quarz mit mehr oder weniger kaolinisiertem Feldspat; er wird oft in der Steinzeugfabrikation verwandt, weil er die beiden für die Massenzusammensetzung regelmäßig benötigten unplastischen Zusätze Quarz und Feldspat gleichzeitig enthält.

Außer Quarz und Feldspat sind als unplastische Zusätze zu den Massen insbesondere Bauxit, Korund, Kalkspat, Dolomit und Magnesit von Bedeutung.

Bauxit, chemisch das Hydrogel des Aluminiums, ist technisch kein einheitliches Mineral, sondern ein erdiges Verwitterungsprodukt vieler tonerhaltiger Gesteine, das in weißlichen, durch Eisenoxyd auch gelb, rot oder braun gefärbten Massen in deckenförmig auf ihrem Muttergestein liegenden Lagern in verschiedenen sedimentären Formationen auftritt. Die wichtigsten Bauxitlagerstätten befinden sich in Südfrankreich, kleinere Vorkommen im Basalt des Vogelsberges, in Ungarn, Südslowien und Italien.

Korund kommt auf natürlicher Lagerstätte in Deutschland abbauwürdig nicht vor. Er ist chemisch krystallisiertes, wasserfreies Aluminiumoxyd und wird meist künstlich aus Bauxit gewonnen. Natürliche Korundlagerstätten, fast immer als magmatische Ausscheidungen, finden sich in Kanada; Lagerstätten von Schmirgel, der ein Gemenge von Korund mit Magneteisenstein und Quarz darstellt, in Griechenland, auch in Deutschland bei Schwarzberg in Sachsen.

Calciumcarbonat kommt als Kalkspat, Marmor, Kalkstein, Kreide, Mergel und Wiesenkalk in großer Verbreitung vor. Unter Marmor versteht man ausschließlich die krystalline oder krystallinische Modifikation des kohlensauren Kalks; wichtige Vorkommen in Deutschland finden sich bei Wunsiedel, Marktredwitz, in der Eifel und im Odenwald sowie bei Kauffung in Niederschlesien.



Die amorphen Vorkommen von kohlensaurem Kalk sind Produkte sekundärer Umwandlung von Kalk-Natronfeldspaten, von Marmor oder älteren krystallinen Kalken oder Ablagerungen von Schalen oder Skeletten tierischer Organismen. Die Kalkgesteine sind typische Schichtgesteine.

Dolomit ist ein Calcium-Magnesiumcarbonat, das sowohl grobkristallin wie feinerdig in der Natur vorkommt und wahrscheinlich ein sekundäres Umwandlungsprodukt von Korallenkalk darstellt.

Auch der Magnesit kommt sowohl dicht als auch krystallin vor. Er entsteht durch Zersetzung von Serpentin. Seine Vorkommen in Deutschland sind örtlich begrenzt; er findet sich bei Frankenstein in Schlesien und am Rande des Zobten; krystalliner Magnesit oder Magnesitpat tritt in besonders großen Lagern in der Gegend von Veitsch in den österreichischen Alpen auf.

Außer den genannten werden in vielen Einzelfällen noch zahlreiche andere unplastische Mineralien als Zusätze zu den Steinzeugmassen verwendet, die aber nur für besondere Fälle von Bedeutung sind. Erwähnenswert sind natürlicher Sillimanit, Rohzirkonerde, Monazitsand, Braunstein, Cobalterze, Chromerze. Als künstlich hergestellte bzw. durch Reinigung der Rohstoffe gewonnene Rohmaterialien der Steinzeugindustrie seien genannt: künstlicher Sillimanit, geschmolzener amorpher Quarz, Elektrokorund, Siliciumcarbid, Ferrosilicium, Zirkonoxyd, Zirkonsilicat, Ceroxyd, Chromoxyd, Cobaltoxyd, Manganoxyd, Enstatit, Klinoenstatit, Forsterit, Plagioklase, Nephelin, Cordierit usw.

# DIE GEWINNUNG DER ROHSTOFFE

Ton klebt! Diese Tatsache muß jeder Beschreibung des Tonabbaues, seiner Aufbereitung und Verarbeitung ausdrücklich vorangestellt werden, wenn ein wirklich anschauliches Bild entstehen soll. Weder Honig, Leim oder Teer kann ohne weiteres von der Schaufel geworfen werden wie Kohle. Auch die Beförderung dieser Materialien in flüssiger Form unterscheidet sich grundsätzlich von der Leitung reinen Wassers. Ton besitzt nicht die gleichen Eigenschaften wie Honig und Leim, in seiner Klebrigkeit kommt er diesen Stoffen jedoch, je nach seinem Wassergehalt, unangenehm nahe. Bei allen Tonabbauverfahren, sei es von Hand, mit dem Bagger, durch Sprengen, Schlämmen usw., muß diese äußerst wichtige Eigenschaft berücksichtigt werden, um über die vielfach komplizierten Bedingungen ein zusammenhängendes Bild zu gewinnen. Das gleiche gilt bei der nassen Tonaufbereitung und der Verarbeitung plastischer Steinzeugmassen. Vollkommen anders sind die Verhältnisse, wenn der Wassergehalt des Tones unter etwa 6% sinkt. Dann verhält sich Ton, sowohl bei der Aufbereitung als auch bei der Verarbeitung, wie ein allgemeiner fester Körper. Er läßt sich wie ein weiches Gestein zerkleinern, transportieren und verarbeiten. In der Natur kommt der Steinzeugton wohl nie in trockenem Zustande vor, sein Abbau bereitet daher grundsätzlich die Schwierigkeiten, die durch seine Klebrigkeit bedingt sind.

Nur in seltenen Fällen liegen die Tone, die Hauptrohstoffe für die Steinzeugfabrikation, frei zu Tage. Fast immer sind sie von mehr oder weniger mächtigen Abraumschichten überdeckt. Außerdem enthalten die Tonlager auch häufig zwischen den einzelnen verwertbaren Tonschichten noch Einlagerungen von unbrauchbaren Schichten, Geröll, Kies und dergleichen, die bei der Gewinnung sorgfältig ausgehalten werden müssen. Nach der Art des Vorkommens, insbesondere der Mächtigkeit der überlagernden Schichten, richtet sich die zu wählende Abbaumethode. Bei geringer Überlagerung bzw. wenn die Mächtigkeit der Abraumschicht in einem solchen Verhältnis zu der Mächtigkeit des anstehenden gewinnbaren Tones steht, daß die Abraunkosten durch die im Tagebau billigeren Gewinnungskosten ausgeglichen werden, wird meist der Tagebau vorgezogen. Bei mächtigerer Überlagerung oder wenn es sich nur um die Gewinnung einer wenig mächtigen Schicht hochwertigen Materials handelt, kann der Tiefbau nach bergmännischen Grundsätzen das Gegebene sein.

Die Grenze, bis zu welcher der Tagebaubetrieb wirtschaftlich möglich ist, kann beim reinen Tonabbau mit einem Verhältnis von Mächtigkeit des Deckgebirges zu

der des anstehenden Tones von 2 : 1 bis 2,5 : 1 angenommen werden. Ein Tonabbau im Tagebaubetrieb hat mit dem Braunkohlenabbau viel Gemeinsames. Er kommt auch häufig, z. B. im Kölner Braunkohlenrevier (Frechen), als kombinierter Abbau von Braunkohle mit darunterlagerndem Ton vor.

Relativ selten sind die Fälle, die zum unterirdischen Abbau zwingen. Der Tiefbau auf Ton erfolgt vollständig nach den allgemeinen Regeln des Bergbaues, selbstverständlich unter Berücksichtigung der Klebrigkeit des Tones. Normalerweise wird ein Schacht bis auf das Liegende des Tonlagers abgeteuft und von da das Lager durch söhlige Strecken vorgerichtet. Wenn die Gebirgsverhältnisse es gestatten, so wird es von einem tiefergelegenen Punkte der Tagesoberfläche durch einen Stollen oder eine einfallende Strecke angefahren. Der Abbau beginnt an der Feldesgrenze und schreitet von dort nach dem Schacht hin vor. Als Abbauverfahren kommt meist der auch im Braunkohlentiefbau oft übliche Pfeilerbruchbau zur Anwendung, bei dem allerdings die Abbauverluste infolge des notwendigen Stehenlassens von Pfeilern zwischen den einzelnen abgebauten Kammern relativ hoch sind und bis zu 45% des anstehenden Tones betragen können. Muß auf möglichste Schonung der Tagesoberfläche Bedacht genommen werden, so ist es notwendig, mit vollständigem Versatz der abgebauten Kammern zu arbeiten, der vielfach in der Weise erfolgt, daß Sand in den Grubenbau eingeschwenmt wird (Spülversatzverfahren). Hierbei ist aber die völlige Undurchlässigkeit feuchter Tonschichten für Wasser zu berücksichtigen.

Die Hereingewinnung des plastischen Tones erfolgt im Untertagebetrieb im allgemeinen von Hand mit Hacke und Schaufel unter besonderer Berücksichtigung der physikalischen Sonderheiten des Materials. Teilweise wird auch Schießarbeit unter Verwendung von Sicherheitssprengstoffen angewandt. Auch schneidend oder fräsend wirkende Spezialmaschinen sind, insbesondere für den Streckenvortrieb, zur Anwendung gekommen. Der auf Grubenwagen geladene feuchte Ton gelangt durch die Grundstrecken zum Schacht und durch diesen zu Tage.

Der bei weitem überwiegende Teil aller Tone und Kaoline wird jedoch im Tagebau gewonnen. In der Regel ist dieser wesentlich billiger, bedingt nur geringe Abbauverluste und ermöglicht in seinen Arbeitsmethoden eine weitgehende Anpassung an die im Einzelfall vorliegenden Verhältnisse. Für die Wahl der Arbeitsmethoden ist in erster Linie, von den Lagerungsverhältnissen abgesehen, die Höhe der beabsichtigten Produktion maßgebend. Sie ist bei der Mehrzahl der Tongruben nicht allzu bedeutend und gestattet daher auch bei modernster Betriebsführung kaum jemals so weitgehende Mechanisierung unter entsprechender Verringerung der Gesteinskosten, wie z. B. der Braunkohlenbergbau. Eine Tongrube zur Ver-

sorgung eines größeren Steinzeugwerkes von beispielsweise 30 000 t Jahresproduktion benötigt hierfür an Rohton etwa 34 000 t, den Fall vorausgesetzt, daß sie ohne wesentliche Fremdbezüge von Ton auskommt. Für die Förderung dieser 34 000 t stehen etwa 125 Arbeitstage jährlich zur Verfügung, da Tongruben im allgemeinen nur in den Sommermonaten betrieben werden. Täglich sind dann rund 270 t Rohton, entsprechend etwa 120 cbm gewachsenem, anstehendem Ton, zu fördern.

Auch in den auf reine Massenerzeugung eingestellten keramischen Betrieben, insbesondere den Großziegeleien, ist der Ton- bzw. Lehmbedarf verhältnismäßig gering; eine Ziegelei, die jährlich 15 Millionen Normalsteine herstellt, besitzt einen Lehmbedarf von ungefähr 30 000 cbm, so daß bei 125 Arbeitstagen etwa 250 cbm täglich zu fördern sind. Zur Bewältigung dieser Menge würde schon ein ganz kleiner Bagger genügen, bei dem die Vorteile der Baggerarbeit sich wirtschaftlich bei weitem nicht in dem Maße auswirken können als im Großbetrieb. Zu der reinen Tongewinnungsarbeit tritt allerdings noch das Abräumen des Deckgebirges, das häufig mehr Arbeit erfordert als die eigentliche Gewinnung. Hierbei liegen die Vorbedingungen für einen maschinellen Betrieb wesentlich günstiger. In vielen Fällen spricht gegen eine rein maschinelle Gewinnung die Unmöglichkeit, bei Baggerarbeit Verunreinigungen des anstehenden Tones durch Zwischenmittel, Sandschichten usw. zu vermeiden. Die Gründe und Schwierigkeiten einer getrennten Gewinnung der einzelnen Tonschichten fallen bei der Abraumbeseitigung weg. Die Entscheidung, ob maschineller oder ob Handabbau bzw. -abraumbeseitigung vorteilhafter ist, wird sich jedoch immer nur auf Grund der im Einzelfall vorliegenden Verhältnisse treffen lassen. Daher erklärt es sich, daß im Tonbergbau heute noch die Gewinnung von Hand eine große Rolle spielt und daß die Mechanisierung der Gewinnungsbetriebe bisher bei weitem nicht so weit fortgeschritten ist, wie in anderen Bergbaubetrieben mit größerer Förderung und günstigeren physikalischen Eigenschaften des Fördergutes.

Die Hereingewinnung des Tones von Hand erfolgt bei leicht lösbarem Material mit Hacke und Schaufel oder durch Abstechen mit dem Spaten, bei fest anstehendem durch Hereintreiben der Tonmassen mit Hilfe von Keilen. Bei geringer Mächtigkeit des Lagers (nicht mehr als  $2\frac{1}{2}$  m) ist es möglich, den gesamten Ton auf einmal zu gewinnen; mächtigere Lager baut man in Strossen ab (siehe Bild S. 8), d. h. in einzelnen Etagen von etwa 2 m Höhe. Die Strossen werden so breit gewählt, daß bequem darauf gearbeitet werden kann. Es müssen jedoch je nach der Beschaffenheit des Tones bestimmte Böschungswinkel von einer Strosse zur nächsten zur Sicherung der Arbeiter innegehalten werden. Wesentlich höhere Leistungen als bei

der Gewinnung mit der Hacke allein werden insbesondere bei zähen Tonen durch Anwendung des Sprengverfahrens erzielt. Hierbei werden Löcher von etwa 2 m Tiefe in die Tonwand gebohrt und mit Sicherheitssprengstoff besetzt. Besonders für harte, schiefrige und zähe, d. h. im wesentlichen in der Grube nicht klebrige Tone, ist das Sprengverfahren mit Vorteil anwendbar. Für 1 kg Sprengstoffverbrauch wird mit einer Loslösung von bis zu 25 bis 30 cbm Ton gerechnet, wobei allerdings die zu groben abgesprengten Schollen noch von Hand nachzuzerkleinern sind. Von großer Bedeutung ist das richtige Ansetzen der einzelnen Schüsse, das so geschehen muß, daß sie abkeilend wirken. Schüsse aus dem Vollen, d. h. solche, die senkrecht zur Richtung des Stoßes in die Tonwand gebohrt sind, bringen wenig und verursachen gefährliche Unterhöhungen der darüber hängenbleibenden Tonmassen. Vorteilhaft ist es, sowohl der höheren Schußleistung wegen wie aus Sicherheitsgründen, mehrere Schüsse gleichzeitig elektrisch zu zünden. Nicht anwendbar ist die Sprengarbeit bei schwächeren Tonschichten von wechselnder Beschaffenheit, die getrennt gewonnen werden müssen, sowie bei Verunreinigungen des Lagers durch Zwischenschichten.

Die amerikanische Methode des Abpflügens der Tonschichten in dünnen, wagenrechten Scheiben hat sich in Deutschland bisher nicht in größerem Umfang eingeführt, obwohl sie den Vorteil besitzt, daß das Gut gleichzeitig stark zerkleinert und dadurch sowohl für das Laden in die Fördergefäße wie für die weitere Verarbeitung geeigneter gemacht wird.

Maschinen, die einen Übergang von reiner Hand- zu rein maschineller Arbeit ermöglichen, sind die meist durch Preßluft angetriebenen Abbaugeräte, wie die Abbauhämmer, die im Steinkohlenbergbau vielfach Anwendung finden, und neuerdings die besonders für Zwecke des Tonabbaues gedachten Preßluftspaten. Der weitgehenden Einführung dieser Mechanisierung stehen die schwierigen Eigenschaften des plastischen Rohtons, vor allem seine Klebrigkeit, entgegen.

In allen Betrieben, in denen größere Förderleistungen in Frage kommen, insbesondere in den Fällen, wo es sich um die Gewinnung nur einer Tonsorte handelt oder eine Vermischung der verschiedenen anstehenden Tonschichten nicht nachteilig ist, spielt die Frage eines rein maschinellen Abbaues eine wichtige Rolle. Die Gewinnungsmaschinen, die im Tonabbau verwendet werden, sind die auch in der Braunkohlenindustrie gebräuchlichen Löffel- oder Eimerkettenbagger. Außerdem werden aber auch speziell für den Abbau klebrigen Tones konstruierte schneidend oder fräsend wirkende Abgrabemaschinen benutzt.

Die Frage, welches Maschinensystem im Einzelfall zur Anwendung gelangt, wird auf Grund der besonderen vorliegenden Verhältnisse, der Fördermenge, der

Beschaffenheit des Tones, vor allem seiner durch den Wassergehalt bedingten Konsistenz usw. geprüft.

Löffelbagger lassen sich für ziemlich kleine Leistungen bauen; sie sind besonders für Arbeiten in hartem, schwerem oder mit Findlingen durchsetzten Ton anzuwenden, außerdem überall da, wo es sich nicht um gleichmäßige Abbaustöße von großer Länge handelt. Ihre Wirkungsweise ist der Handgrabearbeit nachgebildet; ein schaufelähnlich ausgebildetes Gefäß wird von der Sohle der Strosse, auf welcher der auf Gleisen fahrbare Bagger steht, hochgezogen und beim Hochziehen gegen den Stoß gedrückt. Die Schaufel dringt in den Stoß ein und schneidet den Ton ab, der in das Gefäß fällt. Dieses wird hierauf gekippt und in danebenstehende Transportwagen entladen. Eine schnelle Beweglichkeit und vielseitige Verwendungsmöglichkeit des gewöhnlich auf Normalgleis laufenden Löffelbaggers wird durch die Benutzung von Raupenbändern erzielt. So kann unter günstigen Bedingungen in einer Grube der gleiche Bagger sowohl für den Abraum- wie für den Tongewinnungsbetrieb verwendet werden.

Die Eimerkettenbagger arbeiten kontinuierlich (siehe Bild S. 16). Bei Hochbaggern befindet sich die Baggerfahrbahn unterhalb der abzubauenen Strosse, was besonders bei welligem Gelände von Vorteil ist. Tiefbagger erzielen wesentlich größere Leistungen durch die Verwendung langer Eimerleitern.

Der Eimerbagger gestattet die manchmal sehr erwünschte Gewinnung von sehr feinstückigem, weitgehend zerkleinertem Ton, versagt aber unter Umständen bei allzu zäher Beschaffenheit des Tones. Dagegen ist der Löffelbagger auch für die schwierigsten Rohmaterialien anwendbar, jedoch erfolgt bei ihm die Gewinnung des Tones in sehr grobstückiger Form. Ein nachfolgender Zerkleinerungsprozeß bzw. ein Sommern oder Wintern des Tones läßt sich dann nicht umgehen.

Greifbagger werden im Tonbergbau gelegentlich zur Abraumbeseitigung angewendet; für die Gewinnung des zähen Tones eignen sie sich infolge ihrer besonderen Arbeitsweise nicht.

Die geschilderten technischen Schwierigkeiten und die Bedenken, die in zahlreichen Fällen gegen das regelrechte Baggern bestehen, haben zur Entwicklung von Spezialmaschinen geführt. Sie ermöglichen es, den im allgemeinen klebrigen, zähen und festen Ton in einfacher Weise hereinzugewinnen, und dieselbe Maschine übernimmt beim Gewinnungsvorgang selbst sofort eine für die Weiterverarbeitung geeignete Vorzerkleinerung.

Früher wurde dafür vielfach der Schälbagger benutzt. Er ist ein Eimerkettenbagger, auf dessen Ausleger rosettenartig in der Länge der Böschung nebeneinander

arbeitende Messerflügel angeordnet sind, die durch rasche Drehung den Ton vom Stoß in feinen Spänen abschälen.

Neuerdings werden in steigendem Umfang Gewinnungsmaschinen gebraucht, deren Arbeitsweise der des Spatens nachgebildet ist. Diese Tonstechmaschinen bewegen sich auf Gleisen am Abbaustoß entlang und stechen den plastischen Ton mit Hilfe eines nieder- und aufbewegten Messers ab. Der gewonnene Ton wird hierbei in ganz dünne Streifen zerlegt und also weitgehend vorzerkleinert. Die Maschine leistet 10 bis 15 cbm stündlich bei etwa 60 Schnitten je Minute, wobei die Leistung natürlich von der Art des Tones, seiner Festigkeit, Zähigkeit und Klebrigkeit abhängig ist.

Der Kraftbedarf derartiger Tonstechmaschinen ist nicht allzu hoch und beträgt je nach der Leistung und Tonbeschaffenheit 4 bis 10 PS.

Der hereingewonnene Ton muß zwecks Abtransports in Fördergefäße geladen werden. Beim rein maschinellen Betrieb, insbesondere bei der Baggararbeit, ebenso wie bei einigen Ausführungen von Tonstechmaschinen, geschieht diese Verladung durch die Maschine selbst. Der von Hand, durch Schießerarbeit oder halb maschinell durch Preßluftspaten hereingewonnene Ton wird meist einfach mit der Schaufel, selbstverständlich unter Berücksichtigung seiner Klebrigkeit, in die Fördergefäße gefüllt. Mitunter, besonders bei zähem Ton, werden die sogenannten Tonspieße gebraucht, mit deren Hilfe die Tonklumpen einzeln in die Wagen geladen werden. Rein maschinelle Lademaschinen, wie sie heute im Bergbau unter Tage schon angewandt werden, sind bei der Tongewinnung infolge der häufigen Sondermaterialschwierigkeiten wenig verbreitet. Eine halb maschinelle Verladung wird mit Hilfe von sogenannten Schrapern erzielt. Dies sind Gefäße, die beim Schleifen über möglichst locker gelagerte Tonmassen in diese eindringen und sich hierbei mit dem klebrigen Material füllen.

Die Förderung der gefüllten Wagen aus der Grube geschieht durch Kettenbahn oder einfaches Zugseil über schiefe Ebenen. Sie kann auch durch senkrechte Aufzüge mit Hilfe von Dampf- oder elektrischen Haspeln erzielt werden. Ist eine steile Aufwärtsförderung nicht erforderlich, so können Lokomotiven aller Art Verwendung finden.

Von besonderer Bedeutung für den Betrieb der meisten Tongruben ist die Frage der Wasserhaltung. Aus den kiesigen oder sandigen Abraumschichten oder aus im Liegenden des Tones befindlichen wasserführenden Schichten fließt gelegentlich eine erhebliche Wassermenge zu, für deren Entfernung gesorgt werden muß. Ton quillt durch Wasseraufnahme und ist in diesem Zustande für Wasser vollkommen undurchlässig. Daher werden die zufließenden Wasser in einem an der tiefsten Stelle der

Grube angelegten Sumpf gesammelt und von da nach oben gepumpt, falls die Grube nicht so hoch liegt, daß ein unmittelbarer Wasserablauf in die Vorflut möglich ist. Die Pumpenanlage wird für Tongruben nicht zu klein gewählt, um einem Ersaufen der Grube bei plötzlichen unvorhergesehenen Wasserzuflüssen, wie sie z. B. durch Wolkenbrüche oder Wasserdurchbrüche aus Schwimmsandschichten eintreten können, auf jeden Fall vorzubeugen.

Ein verhältnismäßig alt angewandtes, mit gleichzeitiger Reinigung durch Schlammung verbundenes Gewinnungsverfahren löst das am Berge anstehende Material mit Hilfe kräftiger Wasserstrahlen. Das Kaolin- oder Tonmaterial fließt in wässriger Suspension durch ein Schlammrinnensystem, in welchem sich die größeren Verunreinigungen absetzen und dadurch zur Ausschaltung gelangen. Die so gereinigte Suspension wird dann entwässert.

Die Gewinnung der nichtplastischen, daher auch nicht klebrigen Rohmaterialien für die Steinzeugherstellung, wie Sand, Pegmatit, Quarzit und Feldspat, Kalkspat, Dolomit usw., bietet keine besonderen Schwierigkeiten, soweit es sich um Lager von lockeren oder leicht zu lösenden Massen handelt, wie es beispielsweise bei Sand regelmäßig der Fall ist. Derbere oder steinige, felsige Lagerungen, die bei Feldspat und Quarzit häufig vorkommen, sind schwieriger und kostspieliger abzubauen. Die Gewinnung erfolgt, wie in jedem gewöhnlichen Steinbruchbetriebe, meist unter Anwendung von Schießarbeit. Der Härte der zu gewinnenden Materialien wegen lassen sich die Sprenglöcher von Hand nur unter großen Zeitopfern bohren. Im allgemeinen werden hierfür die aus dem Bergbau übernommenen Preßluftbohrhämmer benutzt, die allerdings, wie auch die Preßluftspaten, beim Tonabbau immer die Beschaffung einer kostspieligen Kompressoranlage erforderlich machen, da das Problem des elektrischen Antriebes von Bohrhämmern bisher technisch einwandfrei noch nicht gelöst ist.

So verschiedenartig die Rohstoffe sind, so mannigfaltig ihre Gewinnung daher erfolgt, so wechselnd geht auch ihre nun folgende Aufbereitung vor sich, um zu einer einheitlichen, homogenen Masse zu gelangen.



# DIE AUFBEREITUNG

Die aus ihrer natürlichen Lagerstätte gewonnenen Materialien sind in rohem Zustande in den meisten Fällen nicht direkt zu verwerten, sondern müssen zunächst durch geeignete Aufbereitungsverfahren für die weitere Verarbeitung geeignet gemacht werden. „Aufbereitung“ heißt in der Steinzeugindustrie die Gesamtheit aller Arbeitsprozesse mit dem Ziele, aus den geförderten Rohmaterialien die zur Verformung geeignete Steinzeugmasse herzustellen. Diese Prozesse sind in erster Linie Zerkleinerungs- und Mischungsvorgänge, bei denen stets wieder im Vordergrund steht, daß die Tone im plastischen oder gießfähigen Zustande klebrige Eigenschaften besitzen und daher nicht ohne weiteres nach den gleichen Grundsätzen verarbeitet werden können wie feste oder flüssige Werkstoffe. Von ausschlaggebender Wichtigkeit ist hierbei, sowohl die verschiedenen Tone miteinander auf das innigste zu mischen, als auch die Magerungsmittel und das Wasser in der Tonmischung vollkommen gleichmäßig und homogen zu verteilen. Bei der sehr großen Undurchlässigkeit von plastischem Ton für Wasser sind die Vorgänge im wesentlichen von der Knetwirkung der Arbeitsmaschinen, der Arbeitsdauer und Länge der Lagerung abhängig. Nur teilweise haben die Vorbereitungsarbeiten das Ziel einer Ausscheidung störender Verunreinigungen wie bei der Aufbereitung von Kohle und Erzen. Sie spielen bei der Herstellung von Grobsteinzeugmassen aus an sich grundsätzlich geeigneten Rohstoffen nicht die gleiche Rolle wie in der Feinkeramik. Meistens werden derartige Verunreinigungen nicht durch kostspielige Ausscheidungsmethoden unschädlich gemacht. Vielmehr werden sie, den Erfordernissen des Einzelfalles entsprechend, mehr oder weniger weitgehend zerkleinert. Dadurch wird ihr den Fabrikationsprozeß störender Einfluß entsprechend verringert bzw. ausgeschaltet. Sind dadurch die Schwierigkeiten in der Aufbereitung vielfach kleiner als in anderen keramischen Industrien, so stellen doch die Sonderheiten der Steinzeugtone ganz besonders große Ansprüche. Die Rohstoffe für die Herstellung guter Steinzeugmassen sind gewöhnlich sehr zähe, sehr fest und plastisch und bieten der notwendigen vollständigen Homogenisierung einen großen mechanischen Widerstand.

Grundsätzlich werden zwei verschiedene Aufbereitungsmethoden unterschieden, das Naß- und das Trockenaufbereitungsverfahren. Neben einem dritten Formgebungsverfahren durch Gießen erfolgt die Verformung der Steinzeugwaren ebenfalls unter Benutzung plastischer (nasser) und trockener Masse. Die zahlreichen Naßaufbereitungsmethoden dienen im allgemeinen als Vorstufe für die Formgebung in plastischem Zustande, während die verschiedenen Trockenaufbereitungsprozesse

die Vorläufer für Trockenpressung zu sein pflegen. Diese Regel gilt jedoch durchaus nicht allgemein, und mannigfache Sonderverarbeitungen und Spezialzwecke lassen das Trockenaufbereitungsverfahren für Naßverformung und umgekehrt als zweckmäßig erscheinen.

Allen Trockenaufbereitungsverfahren ist die Zerkleinerung und Mischung in trockenem Zustande gemeinsam. Ob im übrigen die verschiedenen Tone vor der Trocknung naß homogenisiert werden und erst der dadurch entstandene Roh-tonstein gemahlen wird oder ob jeder Ton für sich getrocknet und gemahlen wird, bevor die Mischung erfolgt, sind rein vom lokalen Zwecke abhängige Bedingungen, ebenso die Anordnung der besten Mahlung und Mischung der unplastischen Zuschlagsstoffe, wie Quarz, Feldspat und anderen. Diese Gesteine können für sich oder mit den Tönen gemeinsam gemahlen werden. Daneben besteht die Möglichkeit, die bereits fein gemahlenen Gesteine mit der Mischung der Rohtone naß zu homogenisieren und die im Verfolg dieses Verfahrens naß geformten Massesteine nach dem Trocknen endgültig zu mahlen. Die Rohstoffe können aber auch auf eine verschiedene Korngröße gebracht und so gemischt werden. Im ganzen genommen, eignet sich das Trockenaufbereitungsverfahren durch seine angedeuteten zahlreichen Kombinations- und Anpassungsmöglichkeiten für die verschiedenartigsten Steinzeugfabrikate.

Die Naßaufbereitungsmethoden gestatten vielleicht noch mannigfachere Arbeitsweisen und besitzen dadurch einen größeren Wert. Zunächst haben sie nur die Mischung der Tone oder der Tonmischung mit den Magerungsmitteln in nassem Zustande gemeinsam. Alle anderen Arbeitsvorgänge gestatten weitgehende Variationen. Für die Verarbeitung der plastischen Tone seien einige Möglichkeiten genannt: Schlämmen jedes Tones für sich oder in Mischung mit einigen oder allen anderen plastischen Materialien; Sumpfen der verschiedenen Tone im Zustande der Anlieferung bzw. geeigneten Trocknung oder Verarbeitung zu Rohtonsteinen und darauffolgende Trockenmahlung; Naßmahlung eines Tones oder aller plastischen Materialien in Mischung auf Naßtrommelmühlen; Vorschlämmen der Tone oder der Tonmischung und nachfolgende Naßmahlung. Normalerweise erfolgen die Tonverarbeitungen nicht ohne Kombination mit den Magerungsmitteln. Diese gestatten neue Variationsmöglichkeiten, so werden z. B. Quarz, Feldspat und Steinzeugscherben für sich, aber verschieden fein gemahlen. Der Zusatz der Magerungsmittel kann nach völliger Beendigung der Tonreinigung erfolgen oder einzelne oder alle unplastischen Zuschlagsstoffe können an der Tonnaßmahlung teilnehmen usw.

Die feinste Mahlung von Steinzeugmassen — unabhängig, ob die Zerkleinerung naß oder trocken erfolgt — entspricht dem 10000 Maschensieb. Normalerweise

werden jedoch nicht nur weniger feine Mahlungen gewählt, sondern absichtlich grobkörnige Bestandteile hinzugefügt.

Welches der Verfahren im Einzelfall zweckmäßig angewendet wird, ist sowohl auf Grund der lokalen als auch der wirtschaftlichen Bedingungen zu entscheiden. Technisch lassen sich beide Methoden benutzen. In gewissen Fällen hat die Naßaufbereitung Vorteile, unter anderen Verhältnissen wird das Trockenaufbereitungsverfahren vorgezogen werden. Die industrielle Technik wird an Hand einiger Beispiele veranschaulicht.

Der eigentlichen Aufbereitung gehen in jedem Falle verschiedene Vorbereitungsprozesse voran. Sie beginnen schon bei der Gewinnung des Rohtons in der Grube mit dem dort stattfindenden Vorsortieren der verschiedenen gleichzeitig abgebauten Tone und dem ebenfalls häufig hierbei schon durchgeführten Mischen verschiedener Schichten. Von Ausnahmefällen abgesehen, wird der für die Naßaufbereitungsmethode geförderte Ton zunächst auf Lager gelegt, um hier solange als möglich zu verbleiben. Unter dem Einfluß des Wassers, des Sauerstoffs, der Luft, der Kälte und Hitze usw. macht der Ton einen vorbereitenden Auflockerungsprozeß und eine Oxydation des Eisenkieses mit nachfolgender Herauswaschung durch, der je nach der Jahreszeit als „Sommern“ oder „Wintern“ bezeichnet wird. Dieser Vorbereitungsprozeß ist infolge der großen in den Tonlagern festgelegten Kapitalien teuer, so daß angestrebt wird, ihn durch geeignete technische Einrichtung des ganzen Aufbereitungsverfahrens zu mechanisieren und entbehrlich zu machen.

Die Trockenaufbereitung kann im allgemeinen verhältnismäßig einfach gestaltet werden. Sie setzt eine Vortrocknung des aus der Grube geförderten feuchten und zähen Tones voraus, die, häufig am billigsten, lediglich an der freien Luft in Trockenschuppen erfolgt. Da diese von Witterungseinflüssen weitgehend abhängige Trocknungsmethode verhältnismäßig unzuverlässig ist, wird vielfach zur künstlichen Trocknung geschritten. Hierfür dienen entweder die Abwärme der Brennöfen oder unmittelbar beheizte Trockenvorrichtungen. Als solche kommen in erster Linie Darren und Trockentrommeln in Betracht. Die Darrentrocknung ist häufig billiger als die Trocknung in der Trommel, bei der gewöhnlich eine höhere Temperatur der Heizgase erforderlich ist, so daß die Trommeln oft nicht nur durch Abwärme, sondern unmittelbar beheizt werden müssen. Trotzdem ist die letztere, intensivere Trocknung für einzelne Fälle vorzuziehen, insbesondere für Tone, die wohl an der Oberfläche schnell trocknen, ihre Feuchtigkeit aber aus dem Innern nicht abgeben, sondern dazu neigen, im Kern feucht zu bleiben.

Zur Zerkleinerung des getrockneten Tones, sowie der trockenen Magerungszusätze werden Mahlapparate verschiedenster Art verwendet, wie Schleuder- oder

**Kugelmühlen.** Die Schleudermühle ist jedoch nur für reine Tone, frei von groben und festen Verunreinigungen, geeignet. Harte Steine im Ton beschädigen sonst leicht die Desintegratorstäbe. Die Schleudermühle liefert in allen Fällen, in denen sie gebrauchsfähig ist, ein feineres Mehl als die gegen grobe und steinige Bestandteile des Mahlgutes weniger empfindliche Kugelmühle und erfordert keine so scharfe Vortrocknung wie diese. Die Wahl des Zerkleinerungsapparats wird stets sowohl durch die Beschaffenheit des Tones als auch die Art der im Ton vorkommenden beigemengten Verunreinigungen bestimmt. Manchmal bestehen die Gesteinsteile aus stets unerwünschtem Kalkstein oder Schwefelkies. In dieser Form müssen sie unter allen Umständen entfernt werden. Daher ist bei der Trockenaufbereitung eine sehr weitgehende Feinmahlung erforderlich, unter Umständen erscheint im Anschluß an die Zerkleinerung in der Mühle feinst eingestellte Windsichtung zweckmäßig.

Die Magerungszusätze zur Steinzeugmasse werden meist in der gleichen Weise gemahlen. Zur Zerkleinerung der zuzusetzenden Schamotten (von gebranntem Steinzeug, Porzellan oder Steatit) werden Kollergänge oder Kugelmühlen verwendet. Der Kollergang wird oft bevorzugt, weil er mehr körniges und scharfkantiges Mahlgut als feinstes Mehl liefert. Für die Erzielung gewisser günstiger Magerungseffekte ist eine etwas scharf splittrige Körnung runder Gestaltung der Schamotte vorzuziehen.

Steinzeug-, Porzellan- und Steatitschamotte werden auf eine bestimmte, verhältnismäßig grobe Korngröße, häufig möglichst scharfkantiger Gestalt, gebrochen. Im Gegensatz hierzu werden die anderen Hauptmagerungsmittel, Quarz und Feldspat, so fein gemahlen, als dies der Spesenaufwand für das jeweilige Steinzeugprodukt gestattet. Im allgemeinen werden hierfür Kugel- oder Rohrmühlen benutzt, jedoch dienen dazu auch alle anderen Zerkleinerungsvorrichtungen nach Zweckmäßigkeit für die besonderen vorliegenden Verhältnisse. Die einzeln gemahlene Steinzeugrohmaterialien werden vorteilhaft in getrennten Bunkern gelagert und aus diesen in der für die Zusammensetzung der Masse jeweils benötigten Menge entnommen. Die Mischung der zunächst noch trockenen Materialien erfolgt in Mischapparaturen, die einander im allgemeinen im Typ ähnlich sind: Liegende rohrförmige Behälter, in denen das Gut durch an horizontalen Wellen befestigte Rührflügel oder ebensolche Schnecken durcheinandergerührt wird. Um eine gleichmäßige Aufgabe der anteiligen Menge der verschiedenen Materialien in dem Mischer zu erzielen, werden besondere Beschickungsvorrichtungen verwendet, von denen in der Steinzeugindustrie der Kastenbeschicker der verbreitetste ist. Ein solcher Apparat von langgestrecktem, rechteckigem Grundriß, mit einem als Transportband ausgebildeten Boden, besitzt mehrere hintereinanderliegende Abteilungen für die



Aufnahme der einzelnen Rohstoffe (siehe Bild S. 24). Durch Verstellung der senkrechten Schieber, die sich zwischen den einzelnen Abteilungen befinden, ist es möglich, die Mengen genau und gleichmäßig einzustellen, die aus jedem Abteil in der Zeiteinheit zu entnehmen sind. Mischfehler werden dadurch vermieden und die Art der Zuführung des Gutes zu den Abteilungen des Kastenbeschickers wird von der Aufmerksamkeit des Arbeiters unabhängig. Eine am Ende des Beschickers angeordnete, mit Messern versehene Speisewalze gibt das in übereinanderliegenden Schichten durch das Transportband des Beschickers herangeförderte Gut der nachfolgenden Misch- oder Zerkleinerungsmaschine auf.

Bei einem früher häufiger als jetzt angewandten Verfahren der Trockenaufbereitung erfolgt die Zerkleinerung der einzelnen Massebestandteile nicht oder nur zum Teil vor der Mischung. Die trockenen, noch nicht gemahlene Rohmaterialien werden dem Beschicker aufgegeben, der sie einem Kollergang oder einer Kugelmühle zuführt. Durch sie wird das Gut gleichzeitig zerkleinert und gemischt. Diese Arbeitsweise hat den Nachteil, daß die Aufsicht und Kontrolle wesentlich intensiver durchgeführt werden muß, um die selbstverständlich auch hier benötigte vollkommene Gleichmäßigkeit zu erzielen und Mischungsfehler zu vermeiden.

Bei der Trockenaufbereitung wird die menschliche Arbeitskraft weitgehend ausgeschaltet. Eine Ausscheidung der immer vorhandenen Fremdkörper erfolgt bei der reinen Trockenaufbereitung jedoch nicht. Wenn die Verunreinigungen auch durch die Zerkleinerung für den weiteren Fabrikationsprozeß soweit als möglich unschädlich gemacht werden, sind sie doch auch in dieser Form vielfach unerwünscht und schädlich. Daher müssen bei der Anwendung von Trockenaufbereitungsverfahren die Rohmaterialien dem jeweiligen Zwecke angepaßt ausgewählt werden. Für hochwertige Steinzeugmassen werden nur Rohstoffe größter Reinheit benutzt. Wo diese nicht zur Verfügung stehen, wird die Naßaufbereitung verwendet, die auch in anderen Beziehungen Vorteile besitzt.

Die trocken aufbereiteten Massen, d. h. die trocken zerkleinerten bzw. gemahlene Rohstoffe, können nach erfolgter trockener Mischung auf verschiedene Weise mit verarbeitet werden:

1. nach Trockenformgebungsmethoden,
2. nach plastischen (nassen) Verformungsverfahren,
3. durch Gießen in wässriger Suspension.

Erfolgt die Verformung in trockenem Zustande, so wird im allgemeinen die pulverförmige Masse Mischung, die von der Trockenaufbereitung kommt, als verarbeitungsreif bezeichnet werden können. In besonderen Fällen werden in dem

trockenen Massepulver 5 bis 8% Feuchtigkeit gleichmäßig durch Kneten verteilt. Auch die Bildung von kleinen Tonknötchen durch entsprechenden Zusatz kleiner Wassermengen wird für besondere Fälle der Steinzeugformgebung als erwünscht betrachtet.

Soll trocken aufbereitete Steinzeugmasse in plastischem Zustande verformt werden, so wird die pulverförmige Masse Mischung unter dauerndem Rühren und Kneten in eine entsprechende Wassermenge eingetragen, oder das Massemehl durch Berieselungsvorrichtungen in einem Mischschneckengang benetzt. Dann muß die Steinzeugmasse jedoch vor der Verarbeitung möglichst lange mauken und sorgfältig im Tonschneider verarbeitet werden.

Die Überführung von trockenem Massepulver in Steinzeuggießmasse erfolgt durch Eintragung des Trockengutes in eine angemessene Wassermenge unter stetem Rühren. Als Verflüssigungsmittel wird eine kleine Menge von Soda, Humussäure, Natronlauge oder Wasserglas hinzugefügt.

Bieten die verschiedenen Arbeitsweisen der Trockenaufbereitungsverfahren bereits mannigfache Möglichkeiten, so muß ihre Zahl bei Benutzung der Naßaufbereitungsmethoden als vervielfacht angenommen werden. Die Anpassungsfähigkeit der Arbeitsprozesse ist außerordentlich groß.

Je nach den Anforderungen, welche an die aufbereitete Masse in qualitativer Beziehung gestellt werden, kann das Aufbereitungsverfahren so einfach als möglich sein, oder bis zur letzten Verfeinerung gestaltet werden.

Das grundlegende und einfachste Verfahren der Naßaufbereitung, wie es oft für normale grobkörnige Steinzeugmassen angewandt wird, beruht auf dem Sumpfprozeß der Tone bzw. Masse Mischungen. Eine bestimmte Menge Rohton oder Tonmischung, deren Feuchtigkeitsgehalt beliebig ist, aber zur Herstellung des richtigen Mischungsverhältnisses bekannt sein muß, wird in einen Sumpf gebracht und hier unter Zusatz von Wasser einem längeren Einweicheprozeß unterzogen. Der Ton kann für sich allein sumpfen. Es kann aber auch gleich die richtige Mischung von Rohton und Magerungsmitteln hergestellt und die vorgemischte Masse gemeinsam dem Sumpfprozeß unterzogen werden. Das hat den Vorteil einer ganz gleichmäßigen Durchdringung aller Teilchen mit Feuchtigkeit. Bei der plastischen und gleichzeitig zähen Beschaffenheit der Steinzeugtone und ihrer großen Undurchlässigkeit für Flüssigkeit spielt für den Enderfolg der Aufbereitung die Wasserhomogenisierung die ausschlaggebende Rolle. Das Ausstechen der mit einem beträchtlichen Prozentsatz von Schamotte usw. gemischten Steinzeugtone aus den Sümpfen macht gelegentlich gewisse Schwierigkeiten. Deshalb ist es manchmal günstiger, den allein gesumpften Ton erst vor der Aufgabe in die Homogenisierungsmaschinen mit

Magerungszuschlägen zu mischen. Die Magerungsmittel, wie Schamotte und Feldspat, werden schon vor der Mischung für sich auf trockenem Wege zerkleinert, um den der Sumpfung folgenden Misch- und Mahlvorgang, der zweckmäßig vielfach in einem Koller erfolgt, zu erleichtern und zu verbessern. Mit Rücksicht auf möglichste Fernhaltung von Verunreinigungen durch Eisen werden bisher meist Kollergänge verwendet, deren Läufer aus Granit oder Quarzit bestehen (siehe Bild S. 28). Aber seit sowohl Läuferringe als auch Mahlbahnen aus Hartsteinzeug herstellbar sind, sind diese zu bevorzugen. Als weiterer Homogenisierungsapparat wird hinter oder besser unter den Kollergang ein Feinwalzwerk angeordnet. Durch dasselbe werden etwa noch vorhandene grobe Ton- und Masseknötchen zerquetscht und in der Mischung gleichmäßig verteilt.

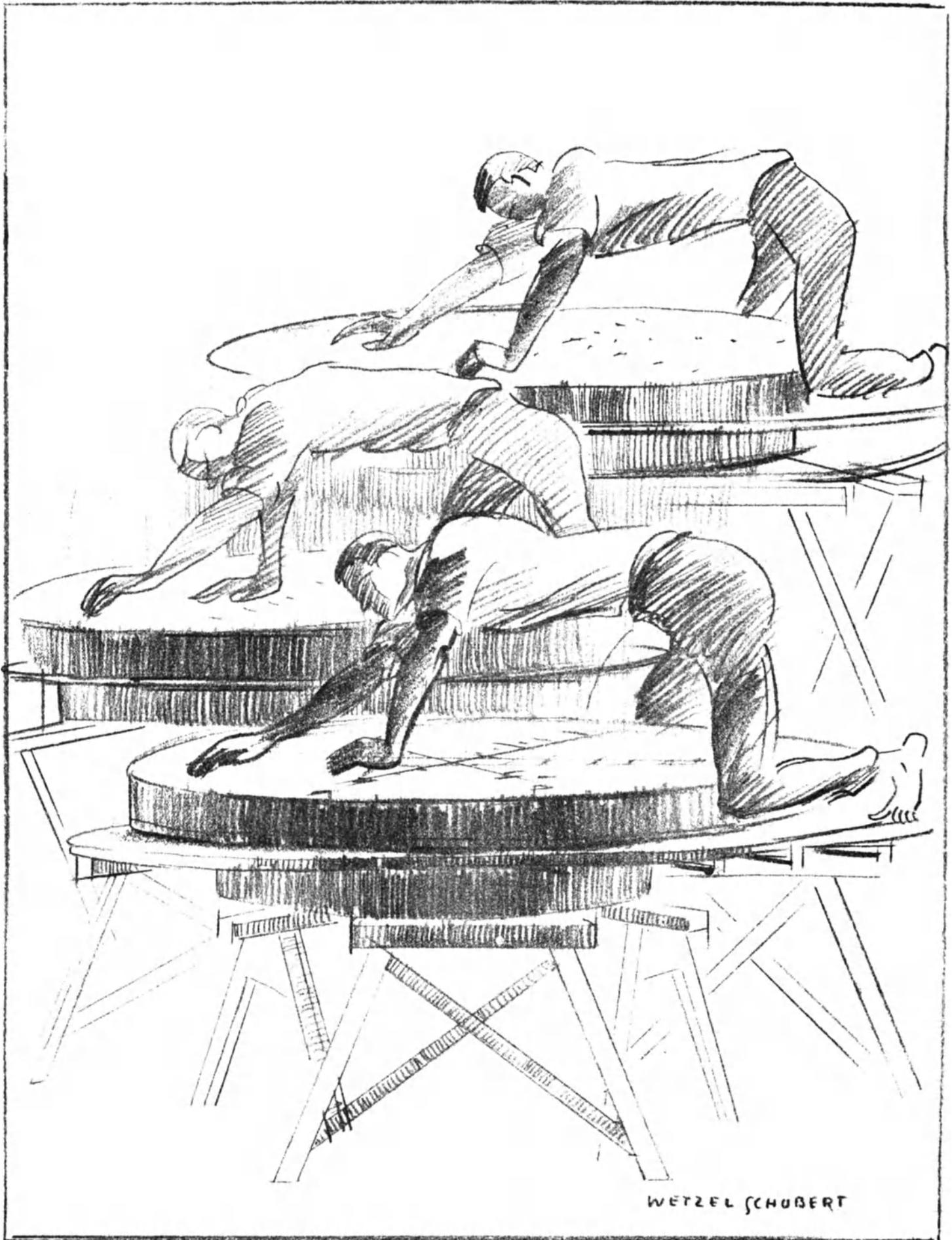
Für die Herstellung aller Sondermassen, an die in gebranntem Zustande hohe Anforderungen bezüglich ihrer physikalischen Eigenschaften gestellt werden, müssen die besten Aufbereitungsmethoden verwandt werden. Ganz besonders auch, wenn die aus lokalen Gründen zur Verfügung stehenden Rohstoffe nicht sehr rein und gleichmäßig sind. Dann genügt es nicht mehr, die schädliche Wirkung der Verunreinigungen durch sorgfältige Zerkleinerung zu verringern. Es wird auch manchmal erforderlich, die zumeist aus kohlensaurem Kalk, Schwefelkies, Gipskrystallen oder Holzigen Bestandteilen bestehenden Einlagerungen aus dem Rohgut restlos zu entfernen und gleichzeitig den Mischvorgang noch intensiver zu gestalten. Es gibt eine Anzahl von Maschinen, die solche Verunreinigungen auch aus dem noch in zähplastischem Zustande befindlichen Ton ausscheiden. Dazu wird der plastische Ton in geschlossenen Zylindern mit Hilfe von Kolben, Schnecken oder Walzen gegen ein Sieb gedrückt, wobei die feinen Tonteile durch das Sieb hindurchgehen und die groben Verunreinigungen vor dem Sieb zurückbleiben. Nach einer anderen Ausführungsform wird die Tonmasse durch enge Schlitze hindurchgepreßt, welche die Verunreinigungen gleichfalls nicht passieren können. Sämtliche derartigen Maschinen sind aber nur zur Ausscheidung von recht groben Verunreinigungen geeignet; Körner unter 2 mm Größe werden durch sie nicht entfernt.

Daher werden in den Fällen erhöhter Ansprüche, in denen erst eine weitgehende Reinigung und Homogenisierung des Tones bzw. der Masse beste physikalische Eigenschaften des Fertigsteinzeugs gewährleistet, die Tone durch Schlämmung gereinigt. Zur Durchführung des Schlammprozesses erfolgt im allgemeinen eine wässrige Suspensierung des Tones in runden Bottichen, in denen ein aufrechtstehendes Rührwerk in Form von Schrauben- oder Schlammquirlen läuft. Durch die Schiffsschraubenbewegung bzw. die Drehung der Rührarme wird der Ton im Wasser zerteilt, aufgelöst und in einen dünnen Schlamm umgewandelt. Der Schlamm-

apparat wird mit einer bestimmten Menge Rohton oder einer Mischung verschiedener Tone beschickt und hierauf das Rührwerk in Umdrehung versetzt. Nach Beendigung des Auflösungsprozesses fließt die gebildete Tonsuspension über feinmaschige Schüttel- oder rotierende Siebe ab. Die nicht mitaufgelösten Verunreinigungen bleiben zurück. Außer den beschriebenen Schlämmvorrichtungen werden zur Auflösung des Tones auch Schlämmeggen verwendet, die den Rührarmschlämmquirlen ähneln. Sie haben eggenartige Zähne, die an den Rührarmen einer aufrecht stehenden Welle befestigt sind, bei ihrem Umlauf den Ton zerteilen und dadurch die Aufschlämmung im Wasser beschleunigen. Zum besseren Aufrühren der niedergesunkenen groben Tonteile wird die Egge noch mit Schleppzähnen ausgerüstet, die an jeden Eggenzahn angefügt werden und es ermöglichen, die eigentliche Egge in einem höheren Niveau des Rührbottichs arbeiten zu lassen. Dadurch wird der Kraftbedarf des Apparats beträchtlich verringert. Auch Schlämmaschinen mit horizontaler Welle sind mit Erfolg im Gebrauch.

Der Quarz, welcher bei der Schlämmung aus dem Ton entfernt wird, kommt oft nach entsprechender Feinmahlung der Steinzeugmasse erneut dazu.

Gleichlaufend mit der Schlämmung erfolgt die Vorzerkleinerung der Magerungszuschläge, in der Hauptsache Schamotte, Feldspat und Quarz, sowie der einzelnen für besondere Zwecke noch verwendeten Zusatzmittel. Sie werden auf trockenem Wege soweit als möglich vorgemahlen, um die Zeit für die endgültige Naßfeinmahlung abzukürzen. Die Vorzerkleinerung erfolgt, wenn die Gesteine in groben Stücken angeliefert werden, stufenweise. Das grobstückige Gut, Mineralien, Gesteine und Sinterzeugscherben, wird zunächst durch Steinbrecher oder Kollergänge vorgebrochen und das von diesen Vorzerkleinerungsapparaten ausgetragene Mahlgut auf Feinmahlanlagen weiter verarbeitet. Die Mahlfinheit des von der Mühle ausgetragenen Feingutes wird vorteilhaft durch Kombination mit einem Windsichter kontrolliert, wobei das durch diesen ausgeschiedene zu grobe Gut immer wieder in die Mahlanlage zurückkehrt und erneut verfeinert wird. Da die Mahlkosten einer solchen Anlage recht beträchtliche sind und mit weitergehender Feinheit des Mahlgutes unverhältnismäßig steigen, wird die Zerkleinerung der Zusätze in jedem Falle nur so weit vorgenommen, als dies unbedingt erforderlich und technisch zweckmäßig ist. In all den Fällen, in denen es angemessen ist, der Trockenvormahlung noch eine Naßfeinmahlung auf Trommelmühlen folgen zu lassen, wird bereits auf trockenem Wege versucht werden, einen möglichst hohen Grad der Zerkleinerung zu erreichen. Mit der Trockenmahlung wird dann bis zu einer Mahlfinheit von 4900 Maschen auf den Quadratzentimeter entsprechend 0,09 bis 0,1 mm lichter Maschenweite gegangen.



WETZEL SCHUBERT

Von großer Wichtigkeit ist es, die Vermahlung ohne Verunreinigung des Mahlgutes durch Eisenteilchen durchzuführen, da dieselben für den Fabrikationsprozeß außerordentlich störend wirken. Das fertig gemahlene Gut läuft sicherheitshalber noch über geeignete Magnetscheider. Je nachdem die Enteisung in trockenem oder nassem Zustande vor sich geht, wird die Konstruktion der Magneten gewählt.

Der Trockenvermahlung folgt meistens die Naßfeinmahlung der Zusätze, die vorzugsweise in zylindrischen Trommelmühlen oder Naßrohmühlen stattfindet. Dieselben werden, um Verunreinigungen des Materials durch Eisen zu vermeiden, am besten mit Steinzeug gefüttert oder bei kleineren Abmessungen ganz aus Steinzeug hergestellt. Als Mahlkörper dienen Flintkugeln. Die Mühlen werden mit der fertigen Mischung sämtlicher vorhandenen Zusätze und außerdem meist einem gewissen Quantum Tonsuspension beschickt. Sie arbeiten diskontinuierlich je nach der gewünschten Feinheit des Mahlgutes 2 bis 100 Stunden.

Nach Beendigung des Mahlvorganges läuft das Mahlgut zusammen mit dem im Schlämmapparat in Suspension gebrachten Ton in einen Mischbehälter, in dem durch einen Schraubenquirl oder ein Rührwerk die endgültige Mischung des Massebreies gewährleistet wird.

Ein anderes Ausführungsbeispiel der Naßaufbereitungsmethode sieht vor, Schlämmanlage und Naßfeinmahlung parallel zu schalten, so daß die Produkte beider Anlagen erst nach dem Durchgang durch diese Apparate zusammengeführt werden. Auch die Naßfeinmahlung findet hier vor der Schlämme statt. Das gesamte feingemahlene Gut geht aus der Naßmühle zunächst in den Schlämmquirl und wird in diesem innig mit dem Quirlprodukt vermischt. Eine weitere technische Möglichkeit ist die Anordnung des Schlämmquirls vor der Naßmühle, so daß die gesamte Tonsuspension zunächst die Feinmahlanlage durchläuft. Hierfür werden jedoch kontinuierliche Rohrmühlmahlanlagen verwendet.

Der für sich geschlammte Ton bzw. die in dem Mischbehälter befindliche fertige Massesuspension wird nun entwässert, um in eine Form zu gelangen, die sich zur Weiterverarbeitung eignet. Die stark gebaute Filterpresse (siehe Bild S. 32), welche in die flüssige Masse durch Membranpumpen gepreßt wird, bewirkt die Entwässerung der festen Bestandteile bis auf einen Wassergehalt von 20 bis 28%. Auch durch Wasserverdunstung des in große, flache Bassins gelassenen Tonbreies kann eine Entwässerung stattfinden. Der Tonbrei setzt sich bis zu einem gewissen Grade ab und das überstehende Wasser kann abgelassen werden. Die eigentliche Eindickung der Schlämme erfolgt jedoch unter dem Einfluß der natürlichen Wärme. Da die Bassins durchschnittlich nur etwa zweimal im Jahre gefüllt werden können, erfordert dieses Verfahren bei Großfabrikation erhebliche Ländereien, ohne in einem sehr

nassen Sommer restlos zu befriedigen. Immerhin arbeitet das Verfahren noch billiger als die Filterpressenmethode, von der frei zu kommen eines der wichtigsten Probleme der Steinzeugindustrie ist.

Die Filterpreßkuchen stellen in gewissen Fällen schon die fertige Masse-mischung vor, im allgemeinen werden sie jedoch noch durch nachträglichen Zusatz von Schamottmehl gemagert. Unter nochmaliger Homogenisierung wird die Masse in eine für den weiteren Fabrikationsprozeß zweckmäßige Form gebracht, indem sie je nach Bedarf ein- oder mehrmals durch einen Tonschneider geschickt wird. Der aus dem Tonschneider ausgepreßte Massestrang wird mechanisch in einzelne Masseballen unterteilt (siehe Bild S. 40). Gelegentlich werden die Masseballen unmittelbar verformt. In der Regel kommen sie jedoch zunächst in feuchte Kellerräume, in denen sie einige Tage bis Wochen liegen bleiben und in denen der sogenannte Maukprozeß vor sich geht. Durch das Mauken, dem sowohl die trocken als auch die naß aufbereiteten Massen in feuchtem plastischen Zustande unterworfen werden, wird die Bildsamkeit und Formbarkeit der Masse sehr verbessert.

Für gewisse Sondermassen ist es zweckmäßig, die letzte Homogenisierung der handgerechten Masse vor der Verarbeitung auf Schlagmaschinen der Porzellanindustrie vorzunehmen.

Der Maukprozeß ist bei denjenigen Massequanten nicht notwendig, welche der Herstellung von Gießschlicker dienen. Die Umwandlung von plastischer Masse in den gießfähigen Zustand erfolgt analog der Gießschlickererzeugung. Trockene, pulverige Masse wird durch Eintragung des berechneten Massequantums in eine entsprechende Wassermenge unter Zusatz der den benutzten Tonen angepaßten Elektrolyten, im allgemeinen Soda und Wasserglas, in den gießfähigen Zustand gebracht.

Um den Kreislauf zu schließen, sei noch erwähnt, daß auch eine naß aufbereitete Masse gelegentlich nach Trockenformgebungsverfahren verarbeitet wird. Für diesen Zweck wird die fertige Masse getrocknet und unter Benutzung von Desintegratoren auf die benötigte Korngröße gemahlen.

# DIE ZUSAMMENSETZUNG DER MASSE

Die normalen durchschnittlichen Massezusammensetzungen von Steinzeug bewegen sich in den Grenzen:



wobei RO : 0,25 bis 0,75 FeO enthält und zum Rest aus CaO + K<sub>2</sub>O besteht. Die Brenntemperatur dieser Massen liegt zwischen SK 4 und 12. Die nachfolgenden Analysen fertiger, gebrannter Steinzeugmassen ergänzen den Überblick.

	Altrömisch	Vauxhall	Helsingborg	Vöisonlieu	Baltimore	Wedgwood	China
SiO <sub>2</sub> . . . . .	65,62	74,00	74,60	74,30	67,40	66,49	62,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	27,94	22,04	19,00	19,50	29,00	26,00	22,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,60	2,00	4,25	3,90	2,00	6,12	14,00
CaO . . . . .	1,25	0,60	0,62	0,50	0,60	1,04	0,50
MgO . . . . .	1,33	0,17	Spur	0,80	Spur	0,15	Spur
K <sub>2</sub> O . . . . .	0,39	} 1,06	1,30	0,50	0,60	0,20	1,00
Na <sub>2</sub> O . . . . .	1,42						

	China	Japan grau	Japan braun	Bitterfeld	Krauschwitz	Muskau	Rheinisch
SiO <sub>2</sub> . . . . .	62,04	71,29	73,68	71,24	53,77	68,05	62,6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	20,30	21,07	19,20	25,25	41,34	29,22	34,2
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	15,58	1,25	4,37	2,11	3,34	1,31	1,7
CaO . . . . .	1,08	2,82	0,70	0,11	0,03	0,13	0,3
MgO . . . . .	Spur	1,98	0,32	0,21	0,01	0,08	0,1
K <sub>2</sub> O . . . . .	Spur	1,03	1,41	0,64	1,40	0,91	0,9
Na <sub>2</sub> O . . . . .	Spur	0,44	0,32		0,10	0,24	0,4

Ein neuerer Rahmen ist bereits durch die Formel



begrenzt, in welcher RO zwischen 0,7 CaO + 0,3 K<sub>2</sub>O bis 0,3 CaO + 0,7 K<sub>2</sub>O schwanken kann und das CaO gelegentlich teilweise oder ganz durch FeO ersetzt ist. Für diese Massezusammensetzungen liegen die Brenntemperaturen zwischen SK 7 und 16.

Daneben haben sich eine große Anzahl von Spezialsteinzeugmassen entwickelt, die aus dem Normalrahmen vollkommen herausfallen. Sie enthalten als RO nicht nur die bisherigen basischen Flußmittel K<sub>2</sub>O, CaO und FeO gleichzeitig, sondern im Einzelfall auch allein oder in maßgebend überwiegender Menge. Daneben treten gesondert oder in Mischung miteinander mehr oder weniger alle Monoxyde auf: SrO, BaO, MgO, ZnO, NiO, CoO, MnO, BeO, Na<sub>2</sub>O. An Stelle von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> können

zum Teil auch andere Sesquioxyde treten, wie  $B_2O_3$ ,  $Cr_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$  usw. Auch die Kieselsäure ist teilweise durch andere Dioxyde wie  $TiO_2$ ,  $SnO_2$ ,  $ZrO_2$  ersetzbar. Daneben finden auch Pentoxyde wie  $P_2O_5$  für Sonderzwecke mit Erfolg Verwendung. Mehr oder weniger sind alle anorganischen Stoffe, die sich bei der jeweiligen Brenntemperatur der Steinzeugmasse nicht zersetzen und nicht in Dampfform verflüchtigen, sondern mit Silicaten Verbindungen eingehen oder sich in ihnen lösen — die Wirtschaftlichkeit vorausgesetzt —, als Zuschlagsstoffe für die Steinzeugmassenzusammensetzung brauchbar. Sehr viele außerhalb der normalen Zusammensetzung liegenden Materialien beeinflussen nicht nur die chemische Zusammensetzung und die chemische Widerstandsfähigkeit bzw. Angriffsmöglichkeit, sondern haben einen noch stärkeren Einfluß auf die physikalischen Eigenschaften der fertigen Steinzeugsorte.

Es ist beispielsweise bekannt, daß Tonerde den Ausdehnungskoeffizienten von Steinzeugmassen vergrößert und gleichzeitig die mechanische Festigkeit erheblich verbessert. Mit steigendem Tonsubstanzgehalt wird die Hitzebeständigkeit erhöht. Wachsender Feldspatgehalt gewährleistet eine hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit, während gleichzeitige Erhöhung des Feldspat- und Quarzgehaltes die mechanische Festigkeit steigert. Es treten auch hier Unterschiede zwischen Kali- und Natronfeldspat speziell beim dielektrischen Verlustwinkel auf, welcher bei der Einwirkung des Natrongesteins viermal größer ist.

Eine besondere Rolle spielen im Steinzeug die abnormalen Basen. Werden die üblichen Flußmittel  $K_2O$ ,  $CaO$  und  $FeO$  vollkommen oder in überwiegendem Maße durch die Erdalkalien  $MgO$ ,  $BaO$  und  $SrO$ , sowie durch  $ZnO$ ,  $CoO$  und  $NiO$  ersetzt, so treten wesentliche Veränderungen der physikalischen Eigenschaften auf; zum Teil wird jedoch in noch stärkerem Maße die chemische Widerstandsfähigkeit verändert. Steigender  $MgO$ -Gehalt vermindert die elektrische Leit- und erhöht die elektrische Widerstandsfähigkeit. Je größer der Gehalt an  $MgO$  wird, desto besser widerstehen Steinzeugmassen basischen Angriffen, desto größer wird auch ihre Korrosionsbeständigkeit gegen die Einwirkung flüssiger Metalle.  $BaO$  verleiht den Produkten eine steigende Basenbeständigkeit; sie sind nun auch sonst sehr korrodierenden Metallschmelzen gegenüber ausgezeichnet widerstandsfähig. Besonders ist die Verbindung  $BaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$  des Dreistoffsystems  $BaO-Al_2O_3-SiO_2$  durch hohe Feuerfestigkeit ausgezeichnet.  $SrO$  steht in der Mitte zwischen  $BaO$  und  $CaO$  und findet selten Anwendung. Steinzeugmassen, die erhebliche Mengen von  $ZnO$  enthalten, zeichnen sich ebenfalls durch gute Beständigkeit gegen Metallschmelzen aus und sind außerdem durch ausgezeichnete Säurebeständigkeit charakterisiert. Wird  $SiO_2$  teilweise durch  $ZrO_2$  ersetzt, so tritt mit Erhöhung des Gehalts an  $ZrO_2$  eine

Erniedrigung der elektrischen Leitfähigkeit, sowie eine wesentliche Steigerung der elektrischen Durchschlagsfestigkeit ein. Die Massen sind nicht nur auffallend gut säurebeständig, sondern gleichzeitig durch eine besonders große Basenbeständigkeit ausgezeichnet. Sie besitzen speziell große mechanische Festigkeit.  $P_2O_5$  verringert den Schmelzpunkt der Steinzeugmassen, verbessert ihre Eigenschaften aber in einem ganz besonderen Punkt; durch Erhöhung des Gehalts an  $P_2O_5$  wird die bereits an sich ausgezeichnete Säurebeständigkeit bis zur weitgehenden Widerstandsfähigkeit gegen Flußsäure gesteigert. Die selten erfolgende Einführung von  $Cr_2O_3$  in Steinzeugmassen verfolgt den Zweck der Verbesserung der Basenbeständigkeit bei gleichzeitiger Beibehaltung der Widerstandsfähigkeit gegen Säuren und Steigerung der Feuerfestigkeit. Durch die Einführung von Siliciumcarbid wird in gleicher Weise die Temperaturwechselbeständigkeit und die Feuerfestigkeit verbessert; steigender Gehalt an Siliciumcarbid erhöht die Wärmeleitfähigkeit, die Korrosionsbeständigkeit Säuren und Basen gegenüber, es steigert die mechanische Festigkeit und macht Steinzeugmassen zunächst zu Widerständen und bei steigendem Gehalt zu elektri-

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Glühverlust
Belitzer Ton . . . . .	61,64	28,16	0,70	0,20	0,30	0,60	0,16	8,86
Bitterfelder Ton . . . . .	67,44	23,57	1,04	0,10	0,20	0,60		7,15
Briesener Ton I . . . . .	42,10	39,48	2,65	0,27	0,15	0,18		14,90
„ „ II . . . . .	45,20	36,60	2,50	0,38	0,12	—	—	14,70
Deggendorfer Ton A III . . . . .	51,62	33,00	2,12	0,03	—	0,54	0,21	12,54
„ „ A V . . . . .	48,55	34,72	1,74	0,08	0,07	0,41	0,23	14,25
„ „ A VII . . . . .	42,94	33,93	9,16	0,30	0,21	0,60	0,14	12,75
„ blauer Ton . . . . .	50,46	33,93	2,87	0,12	0,05	1,22	0,10	12,36
Frohnsdorfer Ton . . . . .	53,89	33,32	0,79	0,88	0,28	0,64		10,30
Guttauer Ton Ia . . . . .	46,33	35,62	2,88	0,03	0,01	1,21	0,09	13,90
Ton von Höhr . . . . .	70,12	21,43	0,77	Spur	0,39	2,62		4,92
Järschauer Blauton . . . . .	47,82	35,23	1,39	0,30	0,25	—	—	14,91
Klingenberger Ton I . . . . .	55,82	29,87	1,30	0,50	Spur	1,05	0,24	11,25
„ „ II . . . . .	54,97	30,85	1,42	1,20	Spur	0,82	0,16	10,60
„ „ III . . . . .	52,98	28,82	3,12	0,09	—	1,28	0,40	13,30
Lämmersbacher Ton . . . . .	64,53	24,59	1,01	Spur	0,34	3,06		6,55
Lehauer Fetton A, graublau . . . . .	46,78	35,50	2,07	1,68	0,84	1,11		12,06
„ „ B, grau . . . . .	57,90	28,02	1,53	1,27	0,76	0,68		9,98
„ Ton C, halbfett . . . . .	69,89	20,12	1,23	1,40	0,89	0,74		5,93
Rohton L, weiß, fett . . . . .	53,80	32,58	1,82	0,59	0,35	0,80	0,17	10,08
Mingo-Ton aus Haydenville (Ohio) . . . . .	72,24	16,87	0,16	4,20	Spur	1,09		5,44
Ottawa-Ton . . . . .	57,40	27,41	3,34	0,34	0,50	0,79		10,18
Ohio-Ton . . . . .	57,45	21,06	7,54	0,29	1,22	3,27	0,39	5,90
Pfälzer Ton . . . . .	56,08	30,02	1,90	1,30	0,80	1,15		8,75
Röthaer Ton . . . . .	52,93	34,64	1,53	0,12	0,05	1,54	0,32	8,89
Seeer Ton . . . . .	46,60	36,65	2,10	0,08	0,02	0,83	0,29	13,40
Speicherer Ton . . . . .	58,26	28,92	1,56	0,05	0,23	2,25	0,68	8,17
Zinzendorfer Edeltton, roh . . . . .	47,64	36,82	1,84	0,03	Spur	0,19	0,10	13,44
„ Blauton, roh . . . . .	50,32	36,38	1,40	0,15	0,09	0,44	0,11	11,13

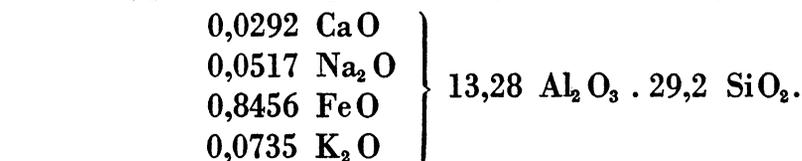
schen Leitern. Die physikalischen Eigenschaften von Steinzeugmassen werden durch die Einführung von BeO äußerst günstig beeinflusst. Schlagbiegefestigkeit und elektrische Widerstandsfähigkeit werden wesentlich erhöht. Die gleichzeitige Herabsetzung des Ausdehnungskoeffizienten bedingt eine bessere Temperaturwechselbeständigkeit.

Der hauptsächlich für die Herstellung von Steinzeugmassen verwendete plastische Grundstoff ist der Braunkohlenton aus der Tertiärzeit. Einige Analysen veranschaulichen typische Muster von Steinzeugtonen (siehe Tabelle S. 69).

Diese in nicht unerheblichen Grenzen schwankenden Rohmaterialien lassen sich gut durch Überführung auf die Segerformel überblicken. Hierfür werden vier Beispiele gewählt:

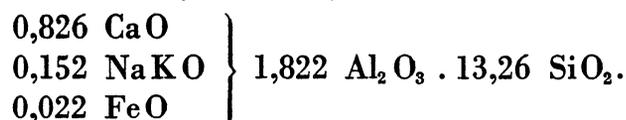
1. Als typisches Beispiel eines guten Steinzeugtones: Zinzendorfer Edeltou:
 

0,0292 CaO	}	13,28 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . 29,2 SiO <sub>2</sub> .
0,0517 Na <sub>2</sub> O		
0,8456 FeO		
0,0735 K <sub>2</sub> O		



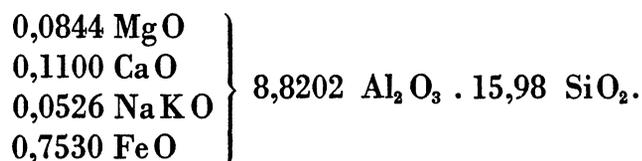
2. Der Mingoton aus Haydenville (Ohio) mit dem höchsten Kieselsäuregehalt:
 

0,826 CaO	}	1,822 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . 13,26 SiO <sub>2</sub> .
0,152 NaKO		
0,022 FeO		



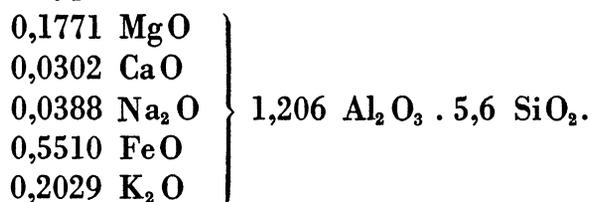
3. Der Briesener Ton als Rohstoff mit höchstem Tonerdegehalt:
 

0,0844 MgO	}	8,8202 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . 15,98 SiO <sub>2</sub> .
0,1100 CaO		
0,0526 NaKO		
0,7530 FeO		



4. Ohioton als Typ eines Tones mit hohem Gehalt aller basischen Bestandteile:
 

0,1771 MgO	}	1,206 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . 5,6 SiO <sub>2</sub> .
0,0302 CaO		
0,0388 Na <sub>2</sub> O		
0,5510 FeO		
0,2029 K <sub>2</sub> O		



Die Ergänzung dieser Tone bzw. ihre zweckmäßige Mischung miteinander, gibt die üblichen Steinzeugrohmassemischungen.

Ganz allgemein wird hierbei Quarz, soweit er nicht bereits im Ton enthalten ist, als Quarzsand eingeführt, K<sub>2</sub>O und Na<sub>2</sub>O in Form von Kali und Natronfeldspat benutzt. Häufig dienen auch vulkanische Schmelzgesteine demselben Zweck. Zusätze von FeO erfolgen als Eisenkiesabbrände und in Form von eisenhaltigen Tonen. Die Einführung der Erdalkalien MgO, CaO, SrO und BaO geschieht im

allgemeinen als Carbonate; ZnO, NiO, CoO werden als Oxyde benutzt. ZrO<sub>2</sub> wird nur dann als reines Oxyd verwendet, wenn gleichzeitige Anwesenheit von Zuschlagstoffen stört, sonst dient es in erster Linie als Silicat oder auch als Roherz. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> wird stets als Phosphat benutzt. Normalerweise wird Tonsubstanz nicht in Form eines einzigen Tones verwendet, sondern in Mischung mehrerer geeigneter Tone.

Übliche Steinzeugmassenversätze werden durch die folgende Tabelle veranschaulicht:

Ton von	%	Quarz bzw. Sand von Hohenboda	%	Feldspat %	Magnest %
Bunzlau . . . . .	78,26	—	10,75	10,99	—
Lämmersbad, mager . . . . .	40,0	}	—	12,0	—
Lämmersbad, fett . . . . .	48,0				
Lämmersbad . . . . .	81,8	Quarzsand, mehlfeln	3,3	13,9	1,0
Goldhausen, fett . . . . .	55,0	Quarz	30,0	15,0	—
Halle . . . . .	60,0	„	18,0	22,0	—
Löthain . . . . .	55,0	„	30,0	15,0	—
Löthain . . . . .	59,2	Quarzsand, mehlfeln	29,5	11,8	0,5

Da die Schwindung der Masse mit ihrem Gehalt an Tonsubstanz steigt, wird für alle die Fälle, in denen eine zu große Trocken- oder Brennschwindung schädlich ist, der feingemahlenen oder geschlämmten Masse körniges Gut zugesetzt. Im allgemeinen dienen hierfür gebrannte Scherben gleicher Zusammensetzung oder sintergebrannter Ton in mehr oder weniger grobkörniger Form.

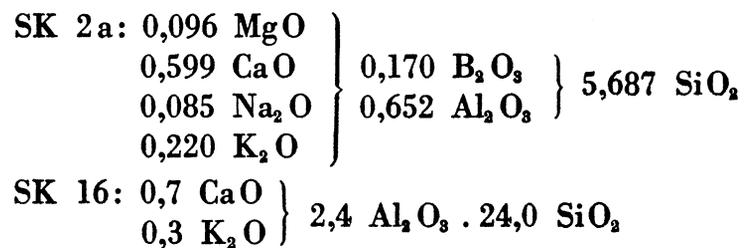
Vielfach wird für Steinzeugmassen äußerlich eine besondere Farbe gewünscht. Ist es nicht zweckmäßig, in diesem Falle den ganzen Gegenstand aus einem Tone dieser Brennfarbe zu gestalten, so wird die aus einer beliebigen anderen guten Steinzeugmasse geformte Ware mit einer dünnen Schicht des Tones überzogen, welcher die verlangte Brennfarbe besitzt. Besondere Bedeutung hat die Abstimmung von Trocken- und Brennschwindung von Masse und Engobeschicht während aller Perioden der Fabrikation, um eine zuverlässige Verbindung dauernd zu gewährleisten.

# DIE GLASUREN

Glasuren sind amorphe, unterkühlte Flüssigkeiten, Lösungen der Kieselsäure und ihrer Salze: Gläser. Sie haben den Zweck, auf Steinzeug in dünner Schicht aufgeschmolzen zu werden, um die Oberfläche glatter zu gestalten und die Verwendbarkeit zu erweitern. Wie alle Gläser werden auch die Glasuren im allgemeinen aus Versatzstoffen erschmolzen, teils für sich, teils direkt auf dem Steinzeugkörper.

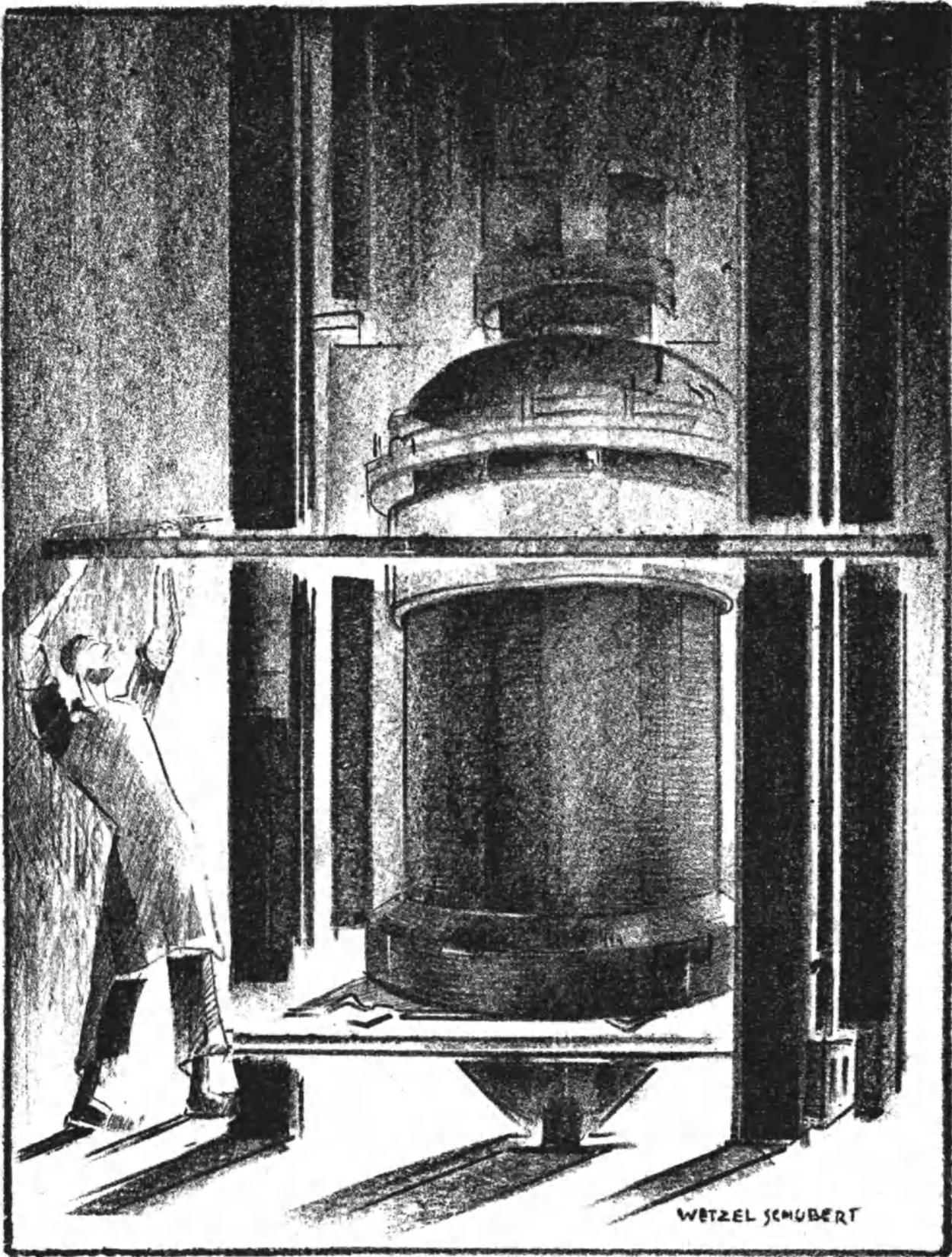
Die Zusammensetzung der Steinzeugglasuren ist von der Brenntemperatur der Masse abhängig. Bedingung ist stets, daß die Glasur bei der Temperatur glasartig ersmilzt, bei welcher die Masse ihre Gare erhält. Sie muß dann im allgemeinen mit glänzender Oberfläche erstarren und so glatt wie möglich sein. Die Forderung der verschiedenen Schmelzbarkeit von Steinzeugglasuren bedingt ihre wechselnde Zusammensetzung, und diese ist die Ursache sehr unterschiedlicher Herstellung.

Grundsätzlich werden drei Hauptgruppen von Steinzeugglasuren unterschieden: erstens Rohglasuren, zweitens Frittenglasuren, drittens Salzglasuren. Je nach der Brenntemperatur können Roh- und Frittenglasuren sowohl als bleifreie, wie als Bleiglasuren ausgeführt werden. Die Grenzen ihrer Zusammensetzungen sind verhältnismäßig leicht schematisch zu veranschaulichen durch die Formeln der Segerkegel, bei denen ihr Garbrand erfolgt:



Im allgemeinen erfolgt jedoch keine Verwendung von Glasuren, die direkt nach den Segerkegeln zusammengesetzt sind. Zahlreiche Gründe sprechen dafür, die Grenzen nur als Richtlinien zu benutzen und jede Glasur ihrem Sonderzweck besonders anzupassen.

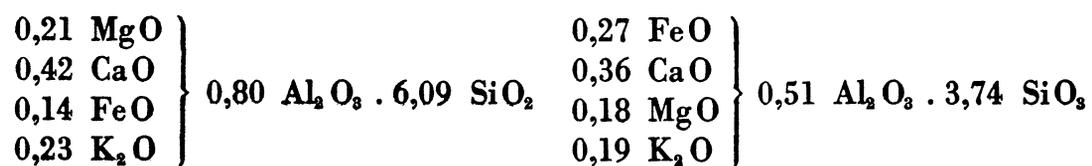
Überall da, wo es sich ermöglichen läßt, die Glasurrohmaterialien in wasserunlöslicher Form zu verwenden, werden Rohglasuren benutzt. Die Versatzstoffe werden im richtigen Mischungsverhältnis naß fein zusammengemahlen und der Glasurbrei auf die Steinzeugware aufgetragen. Ist das zu glasierende Stück genügend dickscherbig, um durch die Flüssigkeitsaufnahme der Glasur nicht aufzuweichen, so erfolgt das Glasieren auf das lederharte oder weißtrockene Stück, d. h. also vor dem Brand. Würde jedoch eine dünne Steinzeugware beim Eintauchen in den wässrigen



Glasurbrei deformieren, so wird sie vor dem Glasieren verglüht, d. h. bis etwa 700 oder 800° C derart vorgebrannt, daß sie noch stark porös ist.

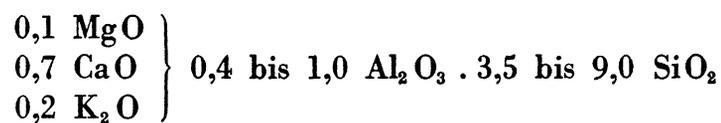
In gewissen Fällen ist es notwendig, den Glasurversatz zum Teil aus wasserlöslichen Stoffen zusammenzusetzen. Sie würden beim Glasieren teilweise als Lösung in den porösen Scherben einziehen und dadurch eine Entmischung verursachen. Um dies zu vermeiden, erfolgt vor der keramischen Verarbeitung ein Einfritten nach glastechnischen Methoden. Die Mischung wird trocken innig vermengt und dann ganz oder teilweise so eingeschmolzen, daß die aus Alumosilicaten bestehende Fritte wasserunlöslich ist. Nach entsprechender feiner Mahlung und Zusatz wasserunlöslicher, nicht eingefritteter Glasurbestandteile (stets wird ein Teil der Tonsubstanz ungefrittet benutzt) erfolgt das Glasieren nach den Methoden der Rohglasuren.

Die Zusammensetzung der Glasuren wird nicht nur durch die Verwendung in ungefritteter oder gefritteter Form bedingt. Zahlreiche andere Forderungen an ihre Eigenschaften verursachen eine besonders reiche Mannigfaltigkeit. Steinzeugglasuren sollen mit ihren Eigenschaften zu denen der Masse passen, auf die sie aufgeschmolzen sind. Beide Stoffe sehr verschiedener Zusammensetzung und in sehr unterschiedlichen Zuständen müssen nicht nur äußerlich fest miteinander verbunden sein, sondern einen dauernd beständigen Körper ergeben. Darum werden Massen und Glasuren einander angepaßt. Hierdurch läßt es sich erzielen, daß die auf den rohen oder verglühten Steinzeugkörper aufgetragenen Roh- oder Frittenglasuren in allen Stadien des Trocknens und Brennens unverändert auf dem Scherben sitzen, ohne abzublättern oder abzurollen. Sie machen die Schwindung des Scherbens mit und schmelzen, während er sintert. Voraussetzung hierfür ist annähernd gleicher Ausdehnungskoeffizient bei allen Temperaturen, von der Erstarrung der Glasur bis zum niedrigsten Kältegrad des eventuellen späteren Gebrauchs. Gelegentlich auftretende Unterschiede in der Größe der Wärmedehnung müssen durch genügend große Elastizität der Glasschicht aufgenommen werden. Alle diese Bedingungen werden durch die wechselnde Zusammensetzung der verschiedenen Steinzeugglasuren restlos erfüllt. Ganz bestimmte Glasuren haben sich in besonders großem Umfang eingeführt und bewährt, die sogenannten Lehmglasuren. Sie bestehen aus in der Natur vorkommenden Lehmen, die bereits an sich genügende Mengen Flußmittel enthalten, um bei der Garbrenntemperatur des Steinzeugs glasartig zu erschmelzen. Typische natürliche Lehmglasuren entsprechen beispielsweise den Segerformeln:



Sie sind durchweg charakterisiert durch einen verhältnismäßig hohen Eisengehalt, welcher die Glasuren färbt und normalerweise undurchsichtig macht. Der auffallende Farbunterschied zwischen der rotbraunen Glasuroberfläche und dem schwarzen Glasurrinnen entsteht während des allmählichen Abkühlens der geschmolzenen Glasur. Das in der Schmelze enthaltene Eisenoxyd zerfällt in schwarzes Eisenoxydul und Sauerstoff. Bei der Abkühlung ist die Reaktion jedoch in gewissem Temperaturbereich reversibel. Daher nimmt das Eisenoxydul (im allgemeinen in Alumosilicatbindung) bei der Berührung mit Sauerstoff unter der Zerfallsgrenze diesen auf, unter Übergang in die rotbraune Eisenoxydverbindung. Die Reaktion kann sich nur an der Oberfläche vollziehen, da die Zuführung weiterer Sauerstoffmengen eine rasche Abkühlung bedingt, die das Eisenoxydul aus dem Bereich der Verbindungstemperatur herausführt. Daher sind auch bei einem an sich grauen Steinzeugscherben alle unglasierten Stellen, die während der Abkühlung frei lagen, rotbraun. Nur wenn Steinzeug durch die Reaktionstemperatur außerordentlich rasch hindurchgeführt wird, beispielsweise bei plötzlichem Abkühlen des glühenden Stückes beim Probeziehen zur Prüfung der Steinzeuggare, ist auch die Steinzeugglasur grünlich bis grauschwarz.

Für kunstgewerblich benutzte Steinzeugwaren werden gelegentlich auch Blei- glasuren bzw. Bleiborsäureglasuren benutzt. Sie besitzen einen erhöhten Glanz, außerordentlich hohe Transparenz, besondere Dekorationsmöglichkeiten durch Verwendung von Unterglasurfarben und durchgehende Färbung. Sie werden stets oxydierend gebrannt. Im allgemeinen finden jedoch die typischen Feldspatglasuren Anwendung, die durch ihre vorzügliche Säurebeständigkeit charakterisiert sind. Im Hauptbrennbereich des normalen Steinzeugs dienen größtenteils Feldspatglasuren in folgenden Grenzen:



Für Steinzeug werden in allergrößtem Umfang Glasuren verwendet, welche als „Salzglasuren“ diesen Werkstoff von allen übrigen keramischen Massen in besonders charakteristischer Weise unterscheiden. Im Gegensatz zu allen ungefrittetten und gefrittetten Blei- und Feldspatglasuren sind Salzglasuren als „Anflugglasuren“ zu bezeichnen. Sie werden nicht vor dem Brande auf das rohe oder verglühte Stück in einem besonderen Arbeitsgang aufgetragen, sondern entstehen erst während des Brandes. Hierfür wird die rohe, unglasierte Ware in den Ofen gebracht und hier gegen Schluß des Garbrandes die Salzglasur auf der Oberfläche des Steinzeugs zum überwiegenden Teile aus der Masse selbst erzeugt. In den Ofenfeuerungen wird

Kochsalz zum Verdampfen gebracht, dessen Zersetzung den ganzen Ofenraum mit dissoziierten Natriumchloriddämpfen erfüllt. Die chemische Reaktion zwischen  $\text{Na}_2\text{O}$  und den davon berührten Steinzeugoberflächen ergibt eine mit dem Scherben durch allmähliche Übergänge überaus innig verbundene, außerordentlich dünne Glasurschicht, die sich für alle Steinzeugwaren seit Jahrhunderten bestens bewährt hat. Die Gründe hierfür liegen in der idealen Anpassung der Salzglasur an den Steinzeugscherben. Es gibt eigentlich so viele Salzglasuren, wie es verschiedene Steinzeugmassen gibt. Und jede Masse hat die aus ihr entwickelte und daher darauf passende Salzglasur.

Diese mechanische Zusammengehörigkeit, durch eine vorzügliche chemische Widerstandsfähigkeit vervollkommnet, zeigt die außerordentliche Überlegenheit der Steinzeugsalzglasur in jeder Beziehung.

Sehr grobkörnige Massen entwickeln die Salzglasur stark narbig. Stört diese kunstgewerblich sehr schöne Oberfläche, wird aus technischen Gründen eine größere Glätte der Oberfläche verlangt, so hilft eine Engobe aus der eigentlichen, jedoch feingemahlten Steinzeugmasse.

# DIE FORMGEBUNG

Die Gestaltung formloser Werkstoffe zu geformten Geräten und Werkzeugen ist bei den mannigfachen hierfür verwendeten Materialien grundsätzlich verschieden. Für die Formgebung kann ganz allgemein gesagt werden, daß sich zwei mischbare Flüssigkeiten beim Zusammengießen mischen, d. h. ein einheitliches homogenes Ganzes, eine Lösung oder dergleichen bilden. Wird diese Flüssigkeit in eine Form gegossen, so füllt sie, dem Gesetz der Schwere folgend, im wesentlichen alle Einzelheiten derselben aus. Gelingt es nun auf irgend eine Weise, diese Flüssigkeit zur Erstarrung zu bringen, oder aus ihr durch bestimmte technische Vorgänge einen festen Körper abzuscheiden, so ist die Formgebung auf diesem Gießwege im Prinzip vollendet.

Vollkommen feste Körper, miteinander in Berührung gebracht, zeigen dagegen zunächst selbst dann keine Verbindung, wenn diese beiden festen Körper aus dem ganz gleichen Stoffe bestehen.

Die Mehrzahl der Steinzeugmassen, d. h. alle Massen in plastischem Zustande, liegen im Sinne der obigen Beispiele zwischen den Grenzen der „Flüssigkeiten“ (bzw. Suspensionen) und „vollkommen fester Körper“. Sie haben wechselnden Wassergehalt, der sie manchmal mehr dem breiförmigen Zustande, in anderen Fällen mehr der festen Form nähert. Die Verbindung von zwei Körpern zu einem einheitlichen und homogenen Ganzen kann jedoch nicht im Zustande fester Körper erfolgen, sondern nur als Flüssigkeiten. Daher erfordern alle nicht gießfähig flüssigen Massen einen erhöhten Preßdruck, um sich als Flüssigkeit zu verhalten und zu einer Verbindung zu gelangen, welche die Grundlage der Gestaltung zu einer bestimmten Form vorstellt. Hierbei spielt die Temperatur eine bedeutsame Rolle. Eine Erwärmung vermindert häufig die notwendige Druckhöhe.

Diese Anschauungen von der Formgebung keramischer Massen bieten im wesentlichen die Grundlagen aller Steinzeugformgebungsmethoden, sei es durch Gießen oder verschiedene Verfahren, die plastische Masse zu drehen, pressen, streichen, spritzen usw. bzw. trockene Massen zu pressen. Mit abnehmendem Flüssigkeitsgehalt und in zweiter Linie mit sinkender Temperatur einer Steinzeugmasse wächst ihre innere Reibung, welcher der notwendige Preßdruck etwa direkt proportional ist, während sich die Viskosität dem Preßdruck umgekehrt proportional verhält.

Dünnflüssige Breie fließen, einfach der Schwerkraft folgend, und füllen alle sich ihnen bietenden Räume, Formen usw. aus. Bei einem Wassergehalt von etwa 50% ist nur ein Preßdruck von ungefähr 0,1 Atmosphären notwendig, um ein Fließen

des Breies zu verursachen. Ein keramischer Gießschlicker mit annähernd 40% Wasser erfordert für das gleiche Fließen etwa 0,4 Atmosphären Preßdruck. Bei gegen 35% Wasser im Tonbrei steigt der notwendige Fließpreßdruck auf ungefähr 1 Atmosphäre. Hier liegt bei Nichtberücksichtigung von Elektrolytzusätzen, welche die Fließgrenze ungemein beeinflussen, der normale Wassergehalt durchschnittlicher gießbarer Steinzeugmassen. Wird der Wassergehalt weiter vermindert, so erfordert eine noch breiförmige, aber schon etwas steifere Masse mit etwa 30% Wassergehalt, bereits einen Preßdruck von ungefähr 2,5 Atmosphären, um sich wie eine Flüssigkeit zu verhalten, d. h. zwei einzelne Teile der vollkommen gleichen Masse vereinigen sich erst zu einer einheitlichen und absolut homogenen „Form“, wenn sie unter dem notwendigen Druck bearbeitet werden. Mit weiter sinkendem Wassergehalt steigt rasch der Preßdruck, der notwendig ist, um die äußerlich fester und fester werdenden Massen im Stadium von Flüssigkeiten miteinander zu vereinigen. Ein Wassergehalt von ungefähr 25% erfordert bereits 10 Atmosphären Druck. Bei etwa 20% Wassergehalt steigt der nötige Fließpreßdruck auf fast 40 Atmosphären. Werden jedoch diese Wassergehalte und damit die Grenzen der knetbaren, plastischen Massen verlassen, so entstehen mit weiter fallendem Wassergehalt lederharte und dann zu trockene Massen. Messungen ergeben einen notwendigen Fließpreßdruck von rund 100 Atmosphären bei einem Wassergehalt von ca. 17%, während 15% Wasser in einer keramischen Masse schon ungefähr 200 Atmosphären Fließpreßdruck erfordern. Der Verlauf dieser systematischen Untersuchungen ergibt bei annähernd 10% Wassergehalt und normaler Temperatur eine so außerordentlich große innere Reibung, daß der für „Fließen“ notwendige Preßdruck als „unendlich“ angesehen wird. Trotzdem lassen sich pulverförmige trockene keramische Massen nicht nur bei erhöhter Temperatur mit einem Wassergehalt von 5 bis 10% unter einem Preßdruck von einigen Hundert Atmosphären sehr wohl verformen. Sie zeigen hierbei durchaus das typische Verhalten sehr viskoser Flüssigkeiten. Dieser Vorgang kann ähnlich den „Reaktionen im festen Zustande“ beim Erhitzen keramischer Massen und der nachfolgenden Sinterung veranschaulicht werden. Die einzelnen Wasserteilchen sind nicht absolut gleichmäßig durch das ganze trockene Massepulver verteilt, sondern ihre lokale Anhäufung an winzigen Massepartikelchen bewirkt an diesen bereits unter geringerem Druck Fließwirkung, die zu einem Zusammenhaften der ganzen Masse führt, ebenso wie die eutektischen Punkte einzelner geringerer Beimengungen zu Steinzeugmassen deren frühere Sinterung verursachten. Häufig wird auch bei erhöhter Temperatur „trocken gepreßt“ und durch diese Kombination von Temperatur- und Druckeffekt die gewünschte „Fließwirkung“ erzielt.

Die wichtigsten Hilfsmittel für das Gießen von Steinzeugmassen sind die Formen. Ihre Herstellung erfolgt aus Gips, durch Umgießen des Modells. Der gegossene Gips erhärtet unter genauer Wiedergabe der Einzelheiten des Vorbildes. Das Gießen beruht nicht nur auf dem verhältnismäßig einfachen Herstellungsverfahren dieser Art der Formen, sondern auch auf ihrer anderen Haupteigenschaft: Gipsformen sind porös und saugen daher das Wasser der keramischen Masse an sich. Dadurch verfestigt sich der zunächst dünnflüssige Masseschlicker, das gegossene Stück schwindet nach Entleerung des noch flüssigen Schlickers etwas von der Gipsform ab, kann daraus entfernt, nun verputzt und weiter verarbeitet werden. Ist das herzustellende Stück sehr kompliziert gestaltet und würde daher die Ausarbeitung der Gießform aus Gips besonders große Schwierigkeiten bereiten, so wird das Modell in einzelne Teile zerlegt. Dieselben werden für sich getrennt gegossen und nach dem Herausnehmen aus der Gießform durch „Garnieren“ zusammengefügt. Für diesen Arbeitsvorgang werden die miteinander zu verbindenden Flächen durch Aufrauen vorbereitet, worauf sie mit einem Massebrei zwar gleicher Zusammensetzung, aber erhöhtem Wassergehalt, bestrichen werden. Derselbe weicht die angrenzenden, aufgerauten Flächen etwas auf. Die so vorbereiteten Garnierflächen werden nun gegeneinander gedrückt. Unter dem Einfluß des Preßdrucks verhalten sich die zu garnierenden Teile, soweit ihr Wassergehalt im richtigen Verhältnis zum Druck steht, als Flüssigkeiten, die sich mischen und hierdurch vereinigen lassen. Die Schwierigkeiten des Garnierens liegen in den verschiedenen Wassergehalten der zu vereinigenden Einzelstücke. Sie können nicht gut aus der Form genommen werden, solange der Wassergehalt über etwa 20 bis 25% beträgt. Der Garnierschlicker pflegt aber einen Wassergehalt von annähernd 30 bis 35% zu haben. Dadurch ist der notwendige Preßdruck für die Überführung der Massen zum Flüssigkeitsverhalten sehr verschieden. Wird verhältnismäßig wasserarm garniert und dadurch der Vorteil einer kleineren Schwindung erzielt, so wächst gegebenenfalls der für die Vereinigung notwendige Preßdruck über die Festigkeitsgrenze des zu garnierenden Stückes, das hierbei zerdrückt wird. Ein dünnflüssiger Garnierschlicker dagegen, der einen niedrigeren Preßdruck erfordert, schließt zwar beim Garnieren sowohl eine Deformation als auch eine Zerstörung aus, aber die Garnierstelle ist durch den erhöhten und beim Trocknen verdunstenden Wassergehalt schwächer. Die Dichte des Scherbens ist häufig an der Garnierstelle geringer als in den übrigen Masseteilen, und die dadurch entstehenden Heterogenitäten und Spannungen beeinträchtigen nicht selten die Qualität und exakte Form des Scherbens. Besonders werden große Stücke stark in Mitleidenschaft gezogen. Je größer eine Garnierfläche wird, um so schwieriger ist es, den Garnierschlicker gleich-

mäßig zu verteilen und den notwendigen Preßdruck für das Verhalten als Flüssigkeit zuverlässig und genügend einheitlich durchzuführen.

Je weiter die Trocknung der Einzelteile vorgeschritten ist, je mehr also mit einer Verringerung des Wassergehalts der zum Garnieren benötigte Preßdruck steigen muß bzw. je größere Differenzen im Wassergehalt zwischen Mittelstück und Garnierstelle notwendig werden, um so größer werden die Schwierigkeiten des Garnierens. Aus diesen Gründen benutzt die Steinzeugindustrie die Garniermethode im wesentlichen nur für gegossene Waren, speziell für kleine komplizierte Stücke, deren Garnierflächen sich ganz genau kontrollieren lassen. Für größere Waren besteht vielmehr eine besondere Steinzeugformgebungsmethode, die alle diese Schwierigkeiten und die dadurch sich ergebenden Möglichkeiten einer Qualitätsminderung zuverlässig ausschließt.

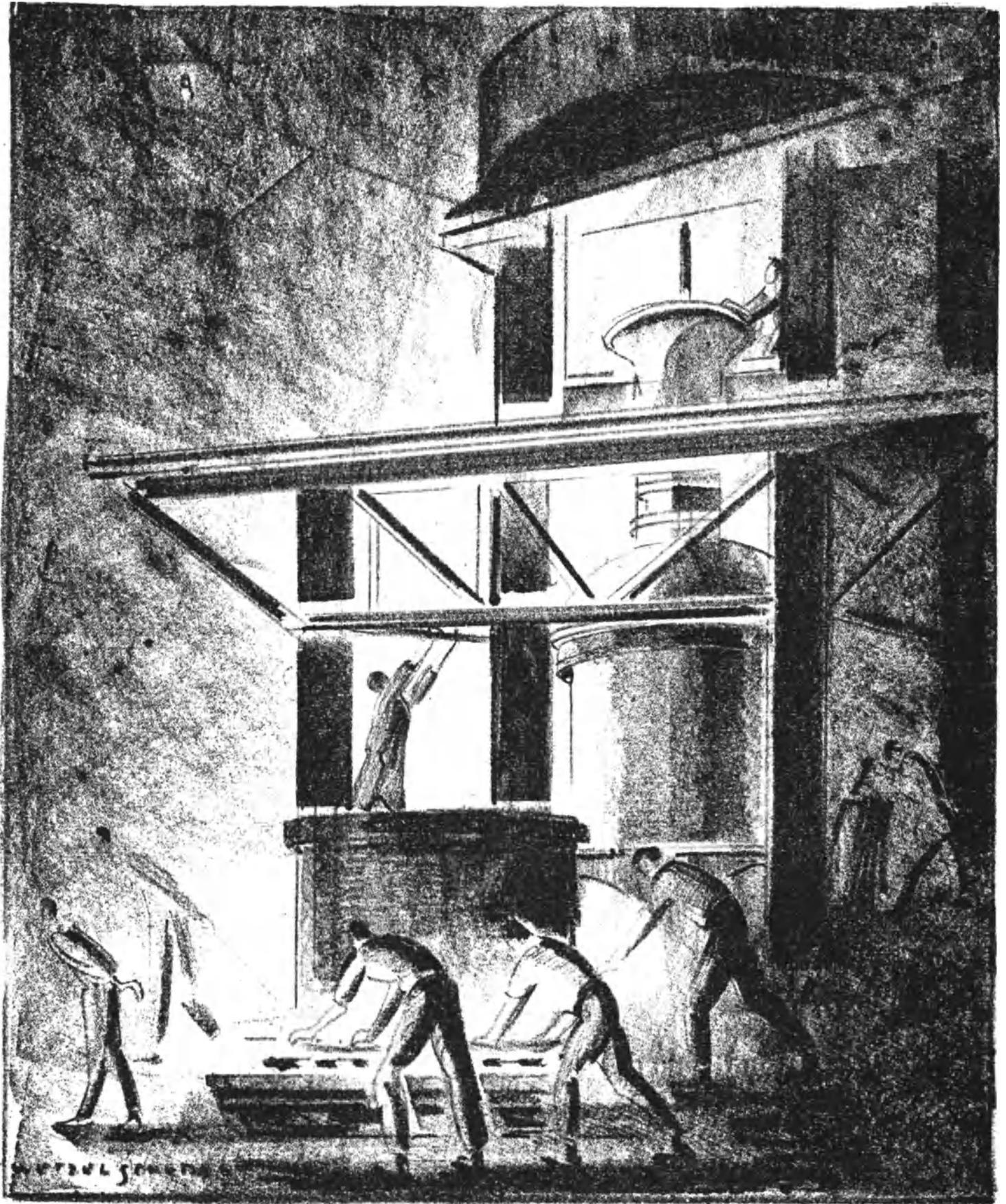
Bei diesen und den anderen Formgebungsarbeitsvorgängen wird der Formling nicht in der gewünschten Größe des fertigen Stückes, sondern wesentlich größer hergestellt. Stets findet die beim Trocknen und Brennen eintretende Schwindung sorgfältige Berücksichtigung. Daher wird das feucht gestaltete Stück in allen seinen Teilen nach jeder Richtung hin nicht nur um die lineare Trocken- und Brennschwindung größer geformt, als es der Proportion zu den gewünschten endgültigen Abmessungen des Fertigfabrikats entspricht, sondern es erfolgt auch noch die Zugabe in den Längenabmessungen und Achswinkeln, die der Schrumpfung des Stückes je nach seiner besonderen Gestalt angepaßt ist.

Das Gießformgebungsverfahren hat wegen seiner einfachen Handhabung und seinem zweckmäßigen Gebrauch in den letzten Jahrzehnten eine ständig wachsende Bedeutung und Ausbreitung in der Steinzeugindustrie erlangt. Die heute allgemeine Benutzung und die praktische Verwendung des Gießens von keramischen Massen beruht darauf, daß man die plastische Masse durch Zusatz von dispergierend wirkenden chemischen Reagenzien mit einem außerordentlich viel geringeren Wasserzusatz verflüssigen kann, als er der normalen Fließgrenze unter Atmosphärendruck entspricht.

Da jeder Wasserzusatz zur Steinzeugmasse vor dem Brande wieder in einem besonderen Trockenprozeß entfernt werden muß und mit der Höhe des Wassergehalts auch die Trockenschwindung und die hierdurch bedingte Gefahr von Trockenrissen zunimmt, bedeutet die Senkung des Wassergehalts von Gießmassen eine wesentliche Verbesserung des Fabrikationsvorgangs. Als wichtigste Dispersionsmittel finden Soda, Natronlauge und Wasserglas mit Vorteil Verwendung. Beträgt beispielsweise der Sodazusatz gegen 0,2 bis 0,4%, so ist nur ein wenig höherer Wasserzusatz zur Gießmasse erforderlich als beim Verformen der plastischen Masse, die

hierbei jedoch erhöhten Druck benötigt. Im allgemeinen enthält Gießschlicker nur ungefähr 20 bis 30% Wasser. Soda oder die anderen Dispersionsmittel, sowie die jeweils noch benötigte Menge an Wasser werden in einem besonderen Schlammquirl der plastischen oder trockenen als Gießschlicker aufzubereitenden Masse zugesetzt, und dann wird bis zur völligen Homogenität gequirlt. Für die weitere Verarbeitung ist der Umfang der Produktion maßgebend. Bei genügend großem Verbrauch an Gießmasse wird dieselbe durch Druckrohrleitungen an den Verarbeitungsort geleitet. Kleinere Betriebe benutzen Einzelgießgefäße, aus denen der Schlicker in die bereitstehenden Gipsformen gegossen wird, bis diese zum Rande gefüllt sind. Die poröse Gipsform nimmt aus der Suspension Wasser auf, wobei sich an der Wandung der Arbeitsform eine wachsende Schicht der nun verfestigten Masse absetzt. Ist eine ausreichende Wandstärke erzielt, so wird der Rest der Flüssigkeit aus der Form ausgegossen und nach entsprechender Neuaufbereitung erneut verarbeitet. Durch das Gießen ist es möglich, Hohlgefäße oder Formlinge aller Art von außerordentlich geringer Wandstärke in einem Stück zu erzeugen. Das Gießverfahren findet daher insbesondere Anwendung für komplizierte, relativ dünnwandige Formstücke, wie z. B. Flügelräder für Zentrifugalpumpen und Exhaustoren aus Steinzeug. Auch starkwandige Gegenstände lassen sich gießen, jedoch muß dann ein Gießschlicker von möglichst niedrigem Wassergehalt verwendet werden. Sonst reicht die Porosität der Gipsform nicht aus, um so viel Wasser aus dem starkwandigen Formling herauszuziehen, daß es sich genügend verfestigt und aus der Form gelöst werden kann. Bei großen Wandstärken wird der wasseraufsaugende Gips auf beiden Seiten der Wand angeordnet, also die Gießhohlform mit einem Gießkern ausgestattet. So entstehen in großem Umfange starkwandige Steinzeuggefäße für die chemische und elektrochemische Industrie. Eine wesentliche Beschleunigung des Gießformgebungsverfahrens tritt ein, wenn das Gießen unter Druck erfolgt und dadurch nicht nur die selbst saugende Kraft der porösen Gipsform für die Entwässerung des Gießschlickers benutzt, sondern durch den Druck das überschüssige Wasser durch die poröse Gipsform hindurchgepreßt wird.

Dieses Gießen unter Druck ist noch grundsätzlich anders zu betrachten als die folgenden Formgebungsverfahren der plastischen Masse. Während die Konsistenz der Steinzeugmasse für das Gießverfahren unter Druck noch die flüssige ist, verhalten sich handgerechte Massen prinzipiell anders. Der Schwerkraft unterworfen, zeigen plastische Massen keinerlei Neigung zum Fließen, vielmehr erfordern sie je nach dem Wassergehalt einen entsprechenden Druck, um Flüssigkeitsverhalten zu zeigen, und dadurch die Voraussetzung für die Vereinigung zweier Masseteile zur Form zu erfüllen. Äußerlich tritt in zahlreichen Fällen der Formgebungsdruck



deshalb nicht sehr in Erscheinung, weil die weiche Masse auf jeden Druck mit Formänderung reagiert. Wird jedoch jeder Einzelheit bis auf den Grund nachgegangen, so werden fast ausnahmslos die schon erwähnten allgemeinen Fließgrenzen bestätigt. Die gesamte keramische Formgebung kann dadurch von einem einheitlichen Gesichtspunkt aus betrachtet werden. Ob flüssiger Schlicker gegossen, plastische Masse gedreht oder trockenes Pulver gepreßt wird, es handelt sich in allen drei Fällen um graduell verschiedene, prinzipiell aber gleiche Erscheinungsformen ein und derselben Materie.

Elektrolytfreie Steinzeugmassen mit einem Wassergehalt von etwa 20 bis 30% sind knetbar, d. h. sie lassen sich unter geeignetem Druck verformen und gestalten, sind plastisch und bildsam.

Mit dem Maukprozeß ist die Aufbereitung der Massen für die Verarbeitung in plastischem Zustande beendet. Die nun folgende Gestaltung geht je nach der Art des herzustellenden Stückes nach sehr verschiedenen Arbeitsmethoden vor sich. Je nachdem, welcher Produktion die Steinzeugmasse dient, erfolgt das Formen rein maschinell, halb mechanisch, ganz oder teilweise von Hand.

Die Möglichkeit, die aufbereitete Masse in die verschiedensten Formen zu bringen, gründet sich auf die besonderen physikalischen Eigenschaften des den Hauptbestandteil der Massen ausmachenden Steinzeugtons, nämlich seine mehr oder weniger große Bildsamkeit und Bindigkeit. Eine etwa zu hohe Plasticität der verwendeten Tone wird durch entsprechenden Zusatz von Magerungsmitteln reguliert.

Bei den Formgebungsverfahren für feuchte, plastische Massen spielt auch heute noch, ganz besonders in der Steinzeuggeschirrtöpferei, neben der maschinellen die Handarbeit eine große Rolle. Hoffentlich gelingt es auch in der Zukunft, diese Handwerkertätigkeit für bestimmte Zwecke zu erhalten, weil die Eigenart des Materials sehr häufig außerordentlich viel deutlicher zu Tage tritt, wenn neben die Bildsamkeit des Tones noch die persönliche Note des Töpfers tritt. Zahllose geschmacklich beeinflussbare Geräte des täglichen Lebens sind reizvoller, wenn die menschliche Hand des Formers sie gestaltet hat. Ganz anders verhält es sich selbstverständlich bei Artikeln der Technik und Industrie. Die Normalisierungs- und Rationalisierungsbestrebungen führen zwangsläufig zur maschinellen Gestaltung, zur systematischen Ausschaltung der Handarbeit. Dauernd wird daran gearbeitet, neue Methoden und verbesserte Maschinen zu finden, um die industriell gebrauchten Steinzeugfabrikate in ihren Formen zu vereinheitlichen und ihre Herstellung zu verbilligen.

Vorbedingung für die Verformung, gleichgültig nach welcher Methode sie erfolgt, ist eine möglichst vollkommene Homogenität der Masse. Dieser Zustand

ist die unbedingte Voraussetzung für die Erzeugung von Produkten, die in allen Teilen so gleichmäßig sind, daß bei dem folgenden Trocken- und Brennprozeß das Auftreten von Spannungen vermieden wird. Trocken- und Brennrisse würden sonst die Folge sein. Daher werden die für die Verformung im plastischen, feuchten Zustande verwendeten, aus dem Maukkeller kommenden Masseballen meist einer nochmaligen besonders sorgfältigen Homogenisierung unterzogen. Die Ballen werden ein oder mehrere Male durch einen einfachen oder kombinierten Tonschneider (siehe Bild S. 40) gegeben, aus dem sie in Gestalt eines endlosen, runden oder vierkantigen Stranges heraustreten. Derselbe wird in Stücke von einer für die Formgebungsarbeiten geeigneten Größe zerteilt.

Das älteste und seit Jahrtausenden gebrauchte Verfahren der Formgebung und wohl die älteste menschliche gewerbliche Betätigung überhaupt, ist das Freidrehen auf der Töpferscheibe (siehe Bild S. 44). Sie besteht aus einer aufrechtstehenden Welle, auf der zwei Scheiben sitzen. Die untere, die Schwung- oder Schubscheibe, hat einen verhältnismäßig großen Durchmesser und ein nicht unerhebliches Gewicht. Die obere Scheibe dagegen hat immer nur den Durchmesser, welcher der Größe des herzustellenden Gefäßes entspricht. Sie ist möglichst leicht und dient der eigentlichen Verformung der Masse. Hierfür wird die große Scheibe von dem vor der Vorrichtung sitzenden Arbeiter durch Treten mit den Füßen in Drehung versetzt. Infolge der schweren Ausbildung der unteren Scheibe wird die durch das Stoßen mit dem Fuße hervorgerufene ruckweise Bewegung sehr gleichförmig auf die obere Arbeitsscheibe übertragen.

Wie in allen Industriezweigen, so wird auch hier schon lange alles mechanisiert. Der Fußantrieb ist längst durch maschinelle Hilfsmittel ersetzt. Mechanisch angetriebene Scheiben sind vielfach und mit Erfolg für alle standardisierten Waren im Gebrauch (siehe Bild S. 48 u. 56). Hierbei wird die mit Fußantrieb sehr einfache Variationsmöglichkeit der Drehgeschwindigkeit durch eine Friktionskupplung erzielt.

Bei der Verformung auf der Scheibe wird der Masseballen auf die Mitte der kleineren oberen Scheibe geworfen. Aus ihm entsteht durch Druck mit der Hand während der raschen Rotation der Scheibe der Formling. Um beispielsweise einen Hohlkörper zu drehen, wird die Mitte des Masseklumpens mit dem Daumen niedergedrückt und die Wand des Gegenstandes zwischen den Fingern beider Hände nach außen und in die Höhe getrieben. Alle auf der Töpferscheibe hergestellten Formlinge sind zunächst Rotationskörper, bei denen, abgesehen von den Abmessungen, nur die Gestaltung der Mantellinie variabel und ein außerordentlicher Reichtum von Formen in immer wieder neuen Linienführungen möglich ist. Diese Arbeitsmethode gestattet dem bildenden Künstler und Handwerker, unerschöpflich Neues

zu schaffen. Andererseits wird von geübten Töpfern durch diese als „Freiaufdrehen“ bezeichnete Art der Verformung, obwohl sie im wesentlichen auf das Augenmaß und die Feinfühligkeit des Arbeiters angewiesen ist, eine sehr große Übereinstimmung der Form wie der Abmessungen, namentlich auch der Wandstärke, erzielt, wenn es sich um die Herstellung einer größeren Anzahl gleichartiger Gegenstände handelt.

Für das Freidrehen von Geschirren und anderen Rotationsgefäßen auf der Töpferscheibe mit der bloßen Hand werden im allgemeinen weitgehend feinkörnige Naturtone und entsprechend aufbereitete Massen verwandt. Die Freidrehmethode auf der eigentlichen Urscheibe diente von je her und auch heute nur dazu, um verhältnismäßig kleine Rotationsgefäße herzustellen, die auch ohne gröberes Korn beim Trocknen und Brennen nicht zum Reißen neigen. Bei der Herstellung größerer Gegenstände wird eine grobkörnigere Massenzusammensetzung gewählt und die bei Rotationskörpern mit dem Fuße bewegte Scheibe durch eine mechanisch betriebene ersetzt. Meistens geschieht dies in Kombination mit der Einführung von Gipsformen. Sollen Körper hergestellt werden, die keine Rotationsform besitzen, beispielsweise viereckige Wannen, so kommt bei kleineren Abmessungen und daher feinkörnigen Massen fast stets nur das Gießverfahren in Betracht. Mittlere eckige Gefäße werden häufig gepreßt, während größere Gefäße unrunder Form eine vollkommen andersgeartete Formgebungsmethode erfordern. Zwangsläufig muß in die von Natur aus feinkörnigen oder feingemahlten Massen auch gröberes Korn, im allgemeinen Scherben der gebrannten gleichen Masse, mit eingeführt werden. Wenn auch die gröbere Körnung der Massen ihre Formgebung bis zu einem gewissen Grade erschwert, so bietet die Zusammensetzung doch auch die großen Vorteile vollkommen neuer und reicher Arbeits- und Formgebungsmöglichkeiten, wie sie sonst keiner anderen keramischen Masse eigen sind. Die hochplastische Steinzeugmasse, deren Körnungszusammensetzung, d. h. Menge und Wahl der verschiedenen Korngrößen, in weitgehendem Maße auf dieses besondere Arbeitsverfahren eingestellt ist, wird durch den Druck des Handballens in ganz dünner Schicht auf eine geeignete Unterlage aufgestrichen (siehe Bild S. 60). Für die Herstellung von Platten dienen Holzböden als Unterlage, während für die Erzeugung von Rotationskörpern oder anderen komplizierten geformten Stücken Gipsformen benutzt werden, welche bereits die negative Gestaltung des Werkstücks besitzen. Ist durch Streichen mit dem Handballen eine dünne Schicht der Steinzeugmasse aufgetragen, so rauhen die Finger der formgebenden Hand beim Rückweg die glatt aufgestrichene Masseschicht wieder auf. Dadurch, daß die Masse ein gröberes Korn in der richtigen Mischung enthält, ist das Aufrauen verhältnismäßig leicht und zuverlässig durchführbar. Wird nun ein weiteres kleines

Massequantum in gleichem Handballenstreichverfahren in einer zweiten ebenfalls ganz dünnen Schicht auf die aufgerauhte erste Schicht aufgetragen, so entsteht durch die aus der unteren Schicht herausragenden größeren Körner eine ungemein innige Verbindung. Dieselbe ist um so intensiver und fester, je scharfkantiger und grobkörniger die Masse ist, je genauer die verschiedenen Korngrößen aufeinander abgestimmt sind und je besser Wassergehalt der plastischen Massen und Streichdruck zueinander passen. Selbstverständlich ist auch bei diesem Arbeitsvorgang eine große Plasticität der Steinzeugmasse Bedingung. Auf diese Weise wird nun Schicht auf Schicht dünn und glatt aufgetragen und aufgerauht, erneut aufgetragen und wieder aufgerauht, bis die letzte Schicht vollkommen geglättet wird (siehe Bild S. 64). Nach dieser Methode lassen sich Wandungen beliebig großer Stärke auftragen und Abmessungen erzielen, die sonst nach keinem anderen keramischen Arbeitsverfahren gleich gut und ebenso zuverlässig homogen ausführbar sind. Die Steinzeugindustrie ist somit imstande, theoretisch beliebig große Gegenstände aus einem Stück herzustellen, ohne daß die häufig unerwünschte Methode des Garnierens benutzt werden muß. Das soll aber nicht heißen, daß Steinzeug sich nicht garnieren ließe.

Diese vor allem feinkeramische Methode des Zusammengarnierens zweier in Gipsform hergestellter Stücke zu einem einzigen Stück ist auf Steinzeugmassen sogar mit ganz besonderem Vorteil anwendbar. Die hohe Plasticität der Steinzeugmasse einerseits und die Grobkörnigkeit der Scherbenzusammensetzung andererseits gestatten eine Verbindung zweier Teile mit einem dünneren Schlicker der gleichen Masse leichter als bei nur feinkörnigen und weniger plastischen Massen, wenn Wassergehalt und Druck im richtigen Verhältnis zueinander abgestimmt sind. Wo es sich jedoch um die Verbindung größerer Flächen handelt oder eine Verbindung von Einzelteilen besonders zuverlässig gestaltet werden soll, verläßt die Steinzeugtechnik die feinkeramische Methode des Garnierens bzw. benutzt sie nur als untergeordnetes und zwischenzeitliches Hilfsmittel. Zunächst werden die garnierten Stellen wieder in zwei Etappen entfernt: Die bereits durch dünneren Schlicker verbundenen Flächen werden mit einer Drahtschlinge vollkommen herausgeschnitten, indem zuerst von der einen Seite die eine Hälfte der Garnierstelle und der angrenzenden Masseteile weitgehend entfernt wird. Die Vertiefung wird aufgerauht und nach der Aufstreicharbeitsmethode die entfernten Masseteile der Garnierstelle systematisch in dünnen Schichten wieder ergänzt, wobei nach jedem Einstrich, d. h. nach jeder Masseauftragung eine neue Aufrauung erfolgt, um die absolute Homogenität des Gesamtscherbens unbedingt zu erzielen. Darauf wird von der anderen Seite die zweite Hälfte der Hilfgarnierstelle nebst angrenzenden Masse-

partien entfernt und ebenso sorgfältig erneuert. Wie bei der Entstehung großer Platten, wird so die kleinste Lücke im Aufbau eines Körpers systematisch in dünnen Schichten wieder aufgetragen und ergänzt, jeweils abwechselnd mit einem Aufrauen der Glattstrichfläche, kombiniert mit dem jeweils notwendigen Preßdruck. Durch diese Nacharbeit wird die zwischenzeitliche Hilfsgarnierstelle ebenso homogen, gleichmäßig und zuverlässig gestaltet, wie der Aufbau eines einzigen großen Stückes erfolgt. Dies ist eine der charakteristischsten Arbeitsmethoden und einer der wesentlichsten Vorteile der Steinzeugtechnik. Auch das Formgebungsverfahren, d. h. die Vereinigung fester Masseteile miteinander zu einer vorher bestimmten Form, gründet sich auf das Verhalten plastischer Steinzeugmassen als ineinanderfließende Flüssigkeiten, wenn Wassergehalt und verwendeter Druck im geeigneten Verhältnis zueinander stehen. Hierbei unterstützt die Grobkörnigkeit der Masse die Durchführung der Arbeitsweise.

Den Übergang vom Handwerk zur maschinellen Arbeit stellt bei der Tätigkeit auf der Töpferscheibe in allererster Linie der maschinelle Antrieb der Scheibe dar. Der zweite Schritt auf dem Wege zur Mechanisierung ist die gleichzeitige Benutzung von besonderen Arbeitsvorrichtungen. Insbesondere gehört hierzu die Verwendung der gleichen porösen Gipsformen, die auch dem Gießprozeß dienen. Hier werden sie gemeinsam mit Schablonen benutzt. Diese kombinierte Arbeit auf der Scheibe erfolgt in der Weise, daß die rotierende Gipsform die äußere Wand des herzustellenden Körpers bildet, während die Schablone vollkommen zentrisch dazu angeordnet ist und durch ihre Gestaltung und Lage die Wandstärke des entstehenden Stückes bestimmt.

Durch Anwendung dieser Hilfsmittel und ihren Ausbau bzw. die Anpassung an die besonderen Einzelbedingungen wird die Arbeit des Formers sehr erleichtert und die beliebig häufige Wiederholung desselben Stückes bei exakter Innehaltung der Abmessungen zuverlässig gewährleistet. Neuere Ausführungen und Verbesserungen der alten Töpferscheibe sind die maschinell angetriebenen Dreher-spindeln mit Reibscheibenantrieb und die mechanische Bechereindrehmaschine. Bei der letzteren erfolgt Einbringen und Ausheben der Schablone aus der Form selbsttätig, so daß sich die Tätigkeit des Arbeiters auf das Einsetzen und Abnehmen der Gipsformen und das Eintragen der Masse beschränkt. Daher bedient ein Arbeiter mehrere Eindrechmaschinen gleichzeitig.

Sämtliche Formverfahren unter Benutzung der gewöhnlichen Töpferscheibe sind auf die Herstellung von Rotationskörpern beschränkt. Für ovale Körper existieren besondere Vorrichtungen an diesen Maschinen. In all den Fällen, in denen es sich um die Herstellung von ebenen und unebenen Flächen und Formen

handelt, die von der reinen Rotationsform abweichen, müssen andere Verfahren angewendet werden. Die Formgebung solcher Stücke erfolgt in den meisten Fällen unter Benutzung von Gipsformen. Hierbei wird die eigentliche Formarbeit auch bei kompliziert gestalteten Stücken nach dem gleichen Handaufstreichverfahren durchgeführt, das zur Erzeugung von Platten dient. Je nach dem Einzelfall erfolgt das Einstreichen direkt in der Gipsform durch Auftragen dünner Masseschichten übereinander mit je zwischenzeitlichem Aufrauhen zwischen zwei Schichten. Eine zweite Möglichkeit gestattet, die in Form ebener Platten gestrichenen, gleichmäßig dicken Masseblätter in die Gipsform zu legen; hierbei müssen jedoch Garnierflächen durch die Ausfüllung der offenen Stellen nach dem gleichen Steinzeugmassenaufstreichverfahren vermieden werden. Dadurch werden absolut homogene Wandungen größter Gefäße erreicht. Die Gestaltung der Innenwandung des Formlings erfolgt entweder von Hand oder mit Hilfe einer Schablone, seltener durch die Benutzung eines Formkerns. Bei Benutzung von Gipsformen lassen sich die kleinsten Einzelheiten des Modells in vorzüglicher Weise nachbilden; ein Beispiel hierfür bieten die bekannten reich verzierten Wedgwood- und Westerwaldsteinzeugeschirre.

Die Herstellung von Steinzeugapparaturen für Zwecke der chemischen Industrie und für die Erzeugung von elektrotechnischen Isolatoren zwingt vielfach, gerade bei Stücken von großen Abmessungen, der Mannigfaltigkeit der Formen wegen zur Anwendung dieses rein manuellen Formgebungsverfahrens. Größere Gegenstände, die sich nicht ohne weiteres in einem Stück formen lassen, werden zunächst in einzelnen Teilen hergestellt. Ihre Verbindung erfolgt nachträglich entweder in frisch geformtem oder ein wenig vorgetrocknetem Zustand durch das „Garnieren“ oder durch die vorübergehende Benutzung dieses Hilfsverfahrens und seine nachfolgende Ausschaltung durch das „Handaufstreichverfahren“, das stets die größte Zuverlässigkeit verbürgt. Häufig ist es auch zweckmäßig, einen Teil eines Gegenstandes maschinell auf der Strangpresse zu formen und lediglich seine mechanisch nicht formbaren Teile von Hand herzustellen und nachträglich mit dem Hauptstück zu verbinden. Nur bei kleinen und wenig beanspruchten Waren findet das Garnierverfahren Verwendung, während im allgemeinen die Handstreichmethode der Vereinigung zweier Steinzeugteile dient.

Die Verformung grobkörnigerer Massen und die häufige Wiederholung desselben Gegenstandes erfordert an Stelle der verhältnismäßig empfindlichen Gipsformen weniger abnutzbare, eisenbeschlagene Holz- oder Metallformen. Dieselben haben zwar nicht den gleichen Vorteil der Gipsformen: der Porosität, jedoch lassen sich Steinzeugmassen auch ohne dieses Hilfsmittel gestalten und beliebig verarbeiten.

In allen Fällen, in denen es sich irgend ermöglichen läßt, werden für die Verformung der plastischen Steinzeugmasse maschinelle Verfahren angewendet, auch wenn sie noch einer nachträglichen Ergänzung durch Arbeit von Menschenhand bedürfen. Diese maschinellen Formgebungsverfahren benutzen sämtlich eine Kombination der Regelung des Wassergehalts der plastischen Masse und der Wahl des Preßdruckes, um das Verhalten der Massen als Flüssigkeiten zu verwerten. Diejenigen Verfahren haben sich als weitaus am wichtigsten gezeigt, bei denen Formlinge in endlosem Stränge erzeugt werden. Solche sind hohle und massive Prismen, Zylinder und entsprechende Körper, die in jeder Höhenlage den gleichen Querschnitt besitzen. Daher ist dieses Arbeitsverfahren kontinuierlich bzw. annähernd ununterbrochen und besonders rationell. Bei allen Ausbildungsformen des Strangpreßverfahrens und bei einer großen Massenmenge wird zunächst die wichtigste, d. h. parallel zur Hauptachse laufende Flächenentfaltung der zu erzeugenden Waren gefertigt, und dann der in überall gleichem Querschnitt geformte Massestrang durch geeignete Zerteilungsvorrichtungen in Einzelstücke zerschnitten.

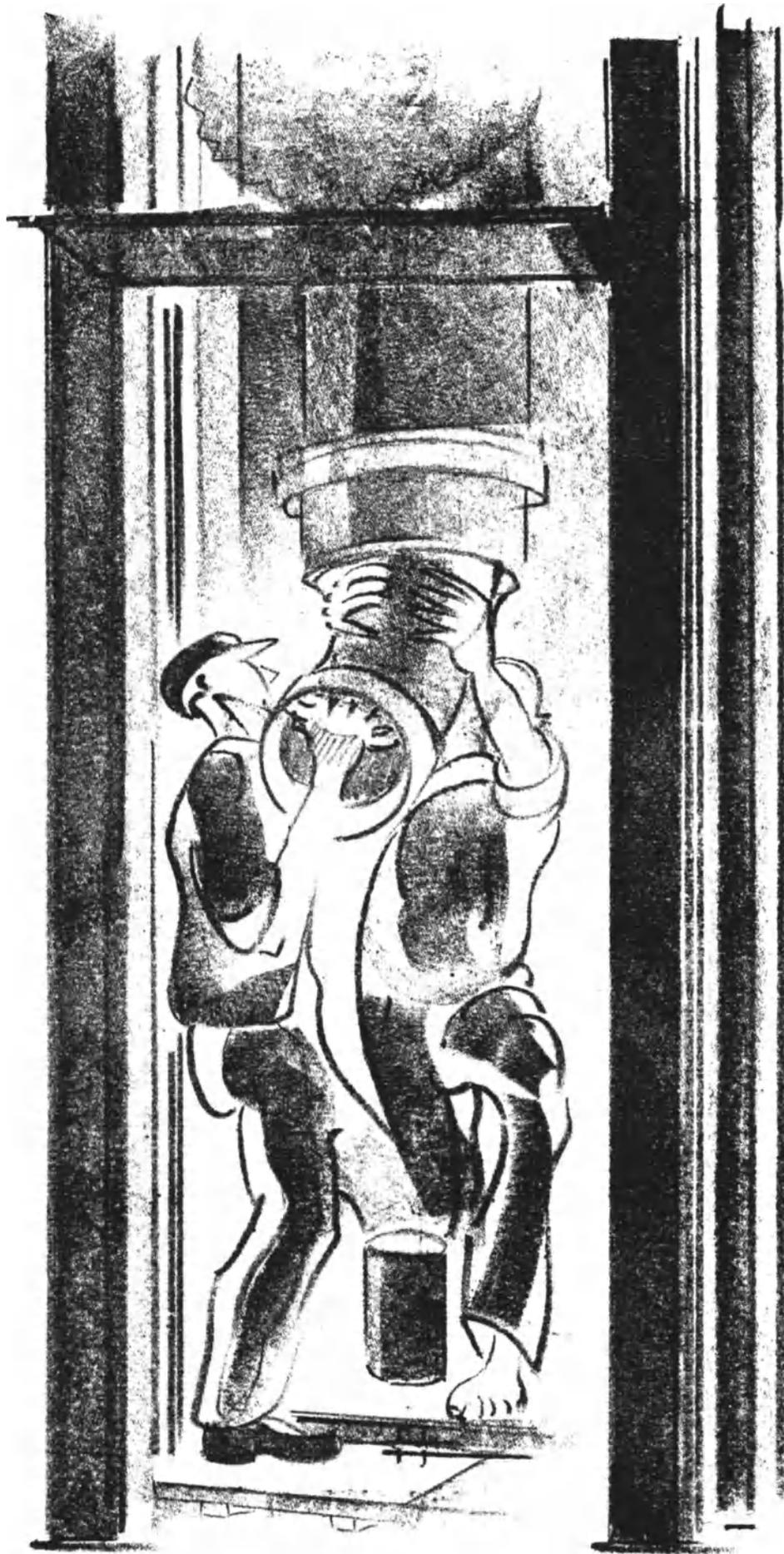
Die Maschinen unterscheiden sich je nach der Art und Weise, in welcher der Strang vorwärts getrieben wird, in Kolben-, Schnecken- und Walzenpressen. Nur die Kolbenpressen arbeiten nicht kontinuierlich, sondern intermittierend. Sie stellen die erste Form der Strangpressen überhaupt dar und bestanden ursprünglich aus einem wagrecht liegenden Zylinder, der mit Masse gefüllt wurde, mit einer durch einen Deckel verschließbaren Einfüllöffnung. Nach Verschließen des Deckels wurde der innen liegende Kolben durch eine Spindel vorwärts getrieben, hierdurch die Masse zusammengepreßt und durch ein geeignet gestaltetes Mundstück herausgetrieben. Derartige Pressen standen insbesondere in der Rohrfabrikation in Benutzung. Sie sind hierfür technisch durchaus verwendbar, jedoch ist ihre Leistung zu klein, um damit einen wirtschaftlichen Großbetrieb durchführen zu können. Für die Steinzeugrohrindustrie kommt eben nur die größte Rationalisierung in Frage. Auch eine in Amerika ausgearbeitete Ausführung der Kolbenpresse mit zwei Preßzylindern zur Erzielung einer kontinuierlichen Arbeitsweise, die so arbeitet, daß während des Pressens des einen Zylinders der zweite gefüllt wird, hat sich in Deutschland nicht eingeführt.

Die Erkenntnis, daß es für die Gestaltung im endlosen Stränge keiner großen Preßdrucke bedarf, um die bildsame und in ihrem Wassergehalt dem Preßdruck angepaßte Tonmasse durch ein Mundstück der gewünschten Form hindurchzudrücken, leitete den Übergang zum vollkommen kontinuierlichen Betrieb ein. Zunächst wurden Walzenpressen ausgebildet, die in bezug auf die Mengenleistung bereits einen wesentlichen Fortschritt gegenüber den diskontinuierlich arbeitenden

Kolbenpressen vorstellen. Bei dieser Art von Pressen wird die Vorwärtsbewegung der Masse und damit der Preßdruck durch zwei sich in entgegengesetzter Richtung mit gleicher Geschwindigkeit drehende Walzen erzielt. Die vorher meist nochmals in einem Tonschneider homogenisierte Masse wird durch die Walzen gefaßt und in einen das Walzwerk nach unten abschließenden Zylinder hineingedrückt. Sie durchwandert denselben und stößt an seinem anderen Ende auf das Mundstück. Für die Herstellung von Formlingen auf Walzenpressen ist es wichtig, Steinzeugmassen zu benutzen, die keine groben Steinteile mehr enthalten. Dieselben würden durch das Walzwerk zerdrückt werden und könnten nachträglich nicht mehr in der Masse so gleichmäßig verteilt werden, wie dies absolut erforderlich ist. Vielmehr würde die zerdrückte Masse in dem fertigen Formling an einer einzigen Stelle zusammenliegen und ihn dadurch unbrauchbar machen. Ein großer Nachteil der Walzenpressen ist außerdem die Erzeugung des Preßdrucks lediglich auf einer dünnen Linie. Von dieser pflanzt sich der Formgebungsdruck nicht nach allen Richtungen hin in dem Preßzylinder gleichmäßig fort, so daß die Masse bei ihrem Austritt aus dem Mundstück nicht an allen Punkten unter gleichmäßigem Druck steht. Hierdurch entsteht verhältnismäßig leicht ein Dichteunterschied an den verschiedenen Stellen des gepreßten Formlings, der häufig eine verschiedene Schwindung und entsprechende Minderwertigkeit der gebrannten Ware bedingt. Besonders bei Formlingen größerer Abmessungen besteht diese Gefahr in verstärktem Umfang.

Alle diese Nachteile haben dazu geführt, daß die in der Steinzeugrohrindustrie früher vielfach verwendeten Walzenpressen in neuerer Zeit in steigendem Umfang durch Schneckenpressen ersetzt werden. Dieselben sind in ihren verschiedenen Ausführungsarten die zurzeit vollkommensten Formapparate für die Gestaltung von Steinzeugmassen im endlosen Strang.

Die Schneckenpresse hat sich aus dem Tonschneider entwickelt und ist im Prinzip nichts anderes als ein solcher. Sie enthält an Stelle des Kolbens der Kolbenpresse eine sich drehende Förderschnecke, welche die an einem Ende eingeführte Steinzeugmasse durch einen sich verengenden Konus preßt, an dessen anderem Ende sich das Formmundstück befindet. Bei ununterbrochener Aufgabe der plastischen Steinzeugmasse tritt aus dem Mundstück der Presse ein endloser Strang der gewünschten Querschnittsform aus und wird durch geeignete Abschneidevorrichtungen in der Länge des Formlings abgeschnitten. Bei der Bemessung des Mundstücks und der Länge der abgeschnittenen Teile wird ebenso wie bei der Formgebung durch Gießen, Drehen, Aufstreichen, die später eintretende Trocken- und Brennschwindung berücksichtigt. Die richtig eingestellte Schnecke treibt die Tonmasse auf dem kürzesten Wege unter möglichst gleichmäßigem Druck nach dem Mundstück zu und



WETZEL SCHUBERT

durch dieses hindurch. Sowohl liegende als auch stehende Schneckenpressen sind in Anwendung. Ebenso finden auch Pressen Verwendung, die unmittelbar nochmals mit einem vorgeschalteten Tonschneider zusammengebaut sind. Die Schnecke selbst wird gleichzeitig als Transportvorrichtung, Preßinstrument und Homogenisierungsmaschine ausgebildet. Es ist zweckmäßig, auf der Schneckenwelle Gegenmesser anzuordnen, um zu vermeiden, daß die Steinzeugmasse sich mitdreht. Häufig werden nicht durchgängige, vollkommen ausgebildete Schnecken verwendet, sondern nur einzelne, schräg zur Welle stehende, in Form einer Spirale angeordnete Messer, die sich leichter auswechseln lassen und durch die eine bessere nochmalige Durchknetung der Masse erzielt wird. Die Beschickung der Presse erfolgt durch Walzenpaare, welche die Masse unter Druck der Schnecke zuführen. Der weiche Massestrang, der in der gewünschten Form aus dem Mundstück der Presse austritt, muß bei horizontaler Anordnung der Schnecke gestützt werden, damit er sich nicht nach unten biegt oder abbricht. Er gleitet aus diesem Grunde über einen beweglichen Tisch, dessen Oberfläche aus Rollen besteht und häufig mit festem Segelleinen überzogen ist.

Alle Strangpressen gestatten durch entsprechende Gestaltung des Mundstücks die Herstellung der verschiedensten Formen. Je nachdem, ob das Mundstück eine rechteckige, runde oder beliebig anders gestaltete Form besitzt, ob die Wandstärke gleichmäßig oder verschieden ist, erhält der austretende Strang einen entsprechenden Querschnitt.

Beim Durchgang durch das Mundstück sind die seinen Wänden zunächst liegenden Teilchen des Massestranges einer stärkeren Reibung ausgesetzt als die Innenteilchen und werden hierdurch etwas zurückgehalten. Dadurch tritt zwar die Gefahr der Entstehung von Sprüngen und Rissen auf, insbesondere an den Ecken des Stranges, doch wird dieser Schwierigkeit durch eine Bewässerung des Mundstücks bis zur Fließgrenze unter Druck abgeholfen, durch welche die Reibung an den Kanten verringert und ein gleichmäßig scharfkantiges Austreten des Stranges erzielt wird. Andererseits wird die Not zur Tugend gemacht und durch eine Reibungssteigerung an den Kanten eine absichtliche Aufrauung bis zur Bildung sogenannter Drachenzähne erzielt, die der mechanisch festeren Verlegung von Steinzeugrohren und Platten dienen.

Gewichts- und mengenmäßig sind die meisten Steinzeugfabrikate Hohlkörper und die auf der Strangpresse hergestellten Produkte aus Steinzeug in erster Linie Rohre oder aus Rohrteilen geformte Stücke, speziell für Kanalisationszwecke. Daher handelt es sich bei der Steinzeugrohrfabrikation nur selten um die Herstellung einfacher Muffen- bzw. flanschenloser Rohre von geringen Durchmessern,

ähnlich den aus geringwertigem Rohmaterial hergestellten porösen Drainagerohren. Die Erzeugung erfolgt auf normalen Horizontalstrangpressen unter Verwendung geeigneter Mundstücke, wobei der austretende Strang durch Abschneiden mit einem Draht in die gewünschte Rohrlänge unterteilt wird. Ganz allgemein wird bei der Formgebung von Steinzeugrohren besonders darauf geachtet, daß die Masse die größte Steifigkeit besitzt, die durch den Preßdruck überwunden werden kann. Das ausgepreßte Rohr darf sich nicht im Querschnitt oder in der Länge verändern und muß schon unmittelbar nach Beendigung des Formvorganges eine gewisse Standfestigkeit haben.

Die Flanschenrohre werden insbesondere für Zwecke verwendet, bei denen sowohl an das Material an sich, wie auch an die Rohrleitungen hohe Beanspruchung in bezug auf Druck oder Dichtigkeit gestellt werden. Ihre Formgebung erfolgt in analoger Weise, wie die der flanschenlosen Rohre; die Flanschen werden gesondert gepreßt und nachträglich mit dem Rohre verbunden.

Der weitaus größte Teil aller Steinzeugrohre sind Muffenrohre, die insbesondere für Kanalisationszwecke eine außerordentlich große Bedeutung und Verbreitung besitzen. Ihre Formgebung erfordert die Verwendung besonderer Pressen, die es ermöglichen, das Rohr mit der Muffe in einem Arbeitsvorgang zu pressen.

Die Steinzeugrohrpressen sind heute fast ausschließlich Schneckenpressen mit hängend angeordnetem Preßzylinder, bei denen die Masse durch die Schnecke nach einem besonderen vor dem Mundstück liegenden Übergangszylinder und aus diesem durch das Mundstück herausgepreßt wird (siehe Bild S. 72). Damit das Eigengewicht des ausgepreßten Stranges kein Abreißen herbeiführt, wird der Rohrformling während des Austretens durch einen leicht dagegen gedrückten, mit Gegengewicht ausbalancierten Tisch gestützt. Der Rohrquerschnitt kann durch Verwendung entsprechender Mundstücke beliebig gestaltet werden. Es werden sowohl Rohre mit rundem, wie elliptischem, eiförmigem oder auch viereckigem Querschnitt gepreßt. Derartige Steinzeugrohrmuffen werden regulär in Durchmessern von 50 bis 1000 mm hergestellt, wobei die Wandstärken der Rohre mit dem Durchmesser wachsen und z. B. bei einem 1000-mm-Rohr bis zu 50 mm betragen.

Der Preßvorgang auf einer Muffenrohrpresse beginnt mit dem Anstauchen der Muffe unter Verwendung eines sogenannten Muffenstuhles. Dieser ist eine vor das eigentliche Mundstück der Presse geschaltete Vorform mit einem dem inneren Durchmesser der Muffe entsprechend ausgebildeten Kern. Zu Beginn des Preßvorganges wird der bewegliche Tisch angehoben, bis der darauf befindliche Muffenstuhl das Pressenmundstück berührt, hierauf wird die Masse in den leeren Raum zwischen Muffenstuhl und entsprechend erweitertem Preßzylinderaustritt gepreßt, worauf

der Stuhl entfernt und durch einen Massering ersetzt wird. Nun gleitet der Tisch mit dem darauf befindlichen Muffenstuhlersatz unter dem Gewicht des nunmehr aus dem Mundstück austretenden Rohrstranges langsam nieder. Der Muffenstuhl ist mit einer Abschneidevorrichtung versehen, durch welche die überflüssige Tonmasse sofort von der Muffe entfernt wird. Wenn der Rohrstrang in der gewünschten Länge aus der Presse ausgetreten ist, wird diese still gesetzt und das Rohr durch einen Draht unter der Pressenvorlage abgeschnitten und hierauf von dem beweglichen Tisch abgesetzt. Der Arbeitsvorgang auf der Rohrpresse ist daher kein vollkommen kontinuierlicher, es ist nach Formung jedes Rohres ein kurzes Stillsetzen der Presse erforderlich, um das fertig gepreßte Rohr abzusetzen (siehe Bild S. 80). Um diese Stillsetzungsperiode so kurz wie möglich zu halten, werden Rohrpressen mit einer möglichst schnell und sicher arbeitenden Kupplung ausgerüstet, denn das übliche Ein- und Ausrücken der Presse mit Hilfe einer Fest- und Losscheibe würde zuviel Zeit in Anspruch nehmen und die Leistung der Presse und ihrer Bedienung reduzieren. Daher werden für Steinzeugrohrpressen meist Reibungskupplungen verwendet, zweckmäßiger noch elektromagnetische Kupplungen.

Es ist sehr wesentlich, daß der Pressentisch gut geführt und in seinem Gewicht einwandfrei ausgewuchtet ist, sowie daß er sich in jeder Höhenlage schnell und sicher festklemmen läßt. Dann lassen sich Rohre jeder gewünschten Länge herstellen.

Für Rohre der verschiedenen Durchmesser können an sich in gewissen Grenzen die gleichen Pressen verwendet werden. Im praktischen Betriebe ist jedoch eine Arbeitsteilung zweckmäßig. Eine Presse, die normalerweise für großkalibrige Rohre gebaut ist, wird mit einem Mundstück beispielsweise für Rohre von 10 cm Durchmesser gewichtsmäßig bei weitem keine angemessene Leistung ergeben. Wichtig ist es für die Schnecke der Presse, die am allermeisten dem Verschleiß ausgesetzt ist, einen Stahl von besonders guter Qualität zu verwenden. Für das Ausfütern der Muffenform wird mit Vorteil Holz verwendet, das nicht zum Ankleben an der Tonmasse neigt.

Mit dem Pressen ist die Formgebung des Rohres noch nicht beendet. Bereits während des Formvorganges, mehr noch beim Abtragen der weichen Rohrformlinge, sind dieselben Beschädigungen und Deformierungen der verschiedensten Art ausgesetzt, die ein nachträgliches Verputzen der rohen Rohre erforderlich machen. Außer der Ausbesserung dieser Beschädigungen findet beim Verputzen auch das Eindrehen der Rillen in die Muffen und an den Spitzen statt. In einfachster Weise erfolgt dieses Verputzen von Hand, ebenso auch das Eindrehen der Rillen mit Hilfe einer einfachen Schablone, in etwas vollkommener Weise bei kleineren Rohren auf einer Drehbank, bei größeren Rohren aufrechtstehend auf einer Drehscheibe,

ebenfalls unter Benutzung einer Schablone zum Eindrehen der Rillen. Es war außerordentlich schwierig, diese Nacharbeit von Hand durch maschinelle Tätigkeit zu ersetzen, weil die Eigenart der Masse und die Vielfältigkeit der möglicherweise vorkommenden Beschädigungen und Unregelmäßigkeiten eine individuelle Behandlung jedes einzelnen Rohrformlings erforderte, insbesondere, wenn schwierig aufzubereitende Massen zur Verpressung gelangten.

Das einzige industriell in größerem Umfange eingeführte Rohrverputzverfahren erfordert eine genau gleiche Länge aller Rohre. Das Abschneiden der Rohre geschieht aus diesem Grunde halb automatisch, das Verputzen im unmittelbaren Anschluß an den Preßvorgang, so daß das Rohr überhaupt nicht der Gefahr einer nachträglichen Deformierung ausgesetzt wird. Das läßt sich dadurch erzielen, daß der Muffenstuhl fahrbar ausgebildet wird und für jede Rohrpresse zwei solcher fahrbaren Muffenstühle vorgesehen werden. Einer findet bei dem eigentlichen Pressen Verwendung und steht dabei auf dem Tisch der Presse, während auf dem anderen das gepreßte Rohr nach der Verputzmaschine gefahren wird, die unmittelbar neben der Presse aufgestellt ist. Hier vollzieht sich das Eindrehen der Rillen und Verputzen des Rohres in der Weise, daß in das Spitzende des auf dem fahrbaren Muffenstuhl stehenden Rohres eine Führung eingelassen wird. Hierauf wird der Muffenstuhl mit Hilfe einer Handkurbel gedreht, wobei eine an ihm angeordnete Rillenvorrichtung die inneren Rillen in die Muffe und eine an dem Führungsstück am oberen Ende des Rohres angebrachte entsprechende Vorrichtung die Außenrillen an der Spitze in das Rohr eindreht. Hierbei wird eine Deformation des Rohres durch eine an der Muffe außen umlaufende Rolle und am oberen Ende durch das eingelassene Führungsstück vermieden. Nach dem nur ganz kurze Zeit in Anspruch nehmenden Eindrehen der Rillen wird das Rohr umgedreht und auf die Spitze gestellt. Für diesen Zweck wird das oben eingesetzte Führungsstück abgehoben, ein Deckel auf die Rohrspitze gelegt und durch diesen und das Rohr eine Stange gesteckt, die am Muffenende mit dem Muffenring gekuppelt wird. An dieser Stange wird das Rohr in einer besonderen Schwenkvorrichtung gedreht und in dieser Lage an eine Kettenbahn gehängt, die es zum Trockenboden befördert. Inzwischen ist der Preßvorgang des nächsten Rohres beendet und das neu gepreßte Rohr nach einer zweiten auf der anderen Seite der Presse angeordneten Verputzvorrichtung gefahren worden, so daß die Presse wieder für das Auffahren des freigewordenen Muffenstuhles bereit steht und sich der ganze Vorgang wiederholt. An dem auf den Trockenboden gelangten Rohrformling ist nun eine weitere Nacharbeit von Hand nur bei Einzelstücken erforderlich. Daher ist eine sehr weitgehende Mechanisierung der gesamten Verputzarbeit erzielt, in erster Linie durch planvolle Verwirklichung des Gedankens,

nicht erst bei der Verputzarbeit entstandene Beschädigungen des Formlings auszubessern, sondern das Entstehen solcher Schäden überhaupt zu verhüten. Es ist augenscheinlich, daß die Anwendung des Verfahrens eine große Steigerung der Leistung unter gleichzeitiger Verbesserung der Qualität und Senkung der Produktionskosten ermöglicht. Außerdem besteht noch der Vorteil, daß bedeutend weniger Abfall auftritt als beim Verputzen von Hand und daß dieser noch nicht angetrocknete, also gut formfähige Abfall unmittelbar wieder homogenisiert und erneuert verpreßt werden kann.

Die Anlagekosten für die Einrichtung dieses Verputz- und Transportverfahrens sind recht beträchtlich. Daher bedeutet seine Einrichtung für den Großbetrieb eine recht schwierige Kalkulationsfrage, nach ihrer Klärung aber häufig einen ganz wesentlichen technischen Fortschritt.

Außer geraden Formlingen werden auf der Rohrpresse auch die Krümmer und Kniestücke kleiner bis mittlerer Abmessungen hergestellt. Die ersteren entstehen von Hand unter Benutzung einer der inneren Krümmung entsprechenden Schablone, an der entlang das aus der Presse nach Herstellung der Muffe austretende Rohr herumgebogen wird (siehe Bild S. 88). Ein maschinelles Verputzen ist hierbei nicht möglich. Bei größeren Abmessungen wird, wenn der Krümmer nur einen Sektor von höchstens 60° bildet, für den ganzen Krümmer ebenfalls noch das beschriebene Pressen mit gleichzeitigem Handformen benutzt. Zur Herstellung von größeren Kreishögen dagegen wird das Einformverfahren in Gipsformen angewandt.

Bei Erzeugung von Abzweigen werden die einzelnen Rohrstücke getrennt gepreßt. Aus dem einen wird die entsprechende Öffnung nach Schablone ausgeschnitten, das andere in seiner Form entsprechend ebenfalls nach Muster angepaßt und nun die zwei Stücke sorgfältig von Hand miteinander vereinigt (siehe Bild S. 96). Hierbei wird das jeweils zweckmäßigste und dem Fabrikat angepaßte Verfahren benutzt und die Zusammensetzstelle verputzt. Häufig müssen gepreßte und geformte Rohrstücke erst einen Tag trocknen, bevor sie weiter verarbeitet werden. Um Trockenrisse zu vermeiden, ist es hier wie bei jedem größeren und zusammengesetzten Stück wichtig, daß die beiden zusammenzufügenden Stücke den gleichen Feuchtigkeitsgehalt besitzen und daher gleichmäßig schwinden.

Steinzeug-Heiz- und Kühlschlangen bestehen aus dünnwandigen Rohren, die auf liegenden Pressen hergestellt werden. Das aus dem Preßmundstück austretende, weiche und hochplastische Schlangenrohr wird unmittelbar auf ein ebenfalls aus roher Steinzeugmasse geformtes Gestell aufgelegt, das während des Formvorganges langsam gedreht wird. Die Steinzeugschlange verbleibt während des ganzen Fabrikationsprozesses, während des Trocknens und Brennens auf diesem Gestell

aus dem gleichen Werkstoff (siehe Bild S. 100). Werden mehrere Schlangen nebeneinander angeordnet und zweckmäßig verbunden, so entstehen die bekannten Mehrrohrschlangen, die eine ungemein große Heiz- bzw. Kühlfläche besitzen.

Das Rohrpreßverfahren dient auch für zahlreiche andere Formgebungsarbeiten, vielfach als Zwischenhilfsmittel. Beispielsweise werden Rohre gepreßt, zerschnitten und in Gipsformen eingebracht, in denen die einzelnen Stücke in der gewünschten Weise miteinander verbunden werden. So werden auch Pökel- und Einmachefässer, Syphons, Sinkkästen usw. hergestellt. Viehtröge z. B. oder eckige Rinnen werden auf der vertikal arbeitenden Strangpresse als sechs- oder fünfeckige Rohre gepreßt, die nach dem Angarnieren der Böden am Kopfende der Länge nach in zwei symmetrisch gleiche Tröge geteilt werden. Die reiche Anwendungsmöglichkeit der Rohrpreßverfahren wird besonders auch durch die Tatsache veranschaulicht, daß zahlreiche ebene Platten nach den gleichen Arbeitsmethoden hergestellt werden. Zunächst und unmittelbar entstehen viereckige Prismen, die während des Preßvorgangs an den Ecken bis etwa zur Hälfte der Wandung angeschnitten werden, um nach dem Brennen als an sich geschlossene Hohlkörper durch Aufsprengen der Stoßkanten in vier Platten unterteilt zu werden. Häufig wird die Rückseite dieser Platten mit Drachenzähnen aufgerauht, um eine sichere Verlegung zu gewährleisten.

Volle Massestränge, aus denen unmittelbar durch Abschneiden fertige Formlinge hergestellt werden, kommen in der Steinzeugfabrikation nur selten vor. Eine Ausnahme hiervon, freilich in allergrößtem Maßstab und mit höchster wirtschaftlicher Bedeutung, bildet die Herstellung der Klinker, für welche das Naßpreßverfahren noch weitgehende Verbreitung besitzt, wenn es auch höchstwahrscheinlich durch das Trockenpreßverfahren verdrängt werden dürfte.

Das Rohr- und Strangpreßverfahren besitzt vor dem nur noch für Spezialzwecke angewandten Verfahren des Einzelpressens der Formlinge auf der Quetschpresse den großen Vorzug der ganz oder fast kontinuierlichen Arbeitsweise. Demgegenüber stellt die Verformung auf der Quetschpresse vielfach nur den Abschluß eines bereits auf der Strangpresse begonnenen Formvorgangs dar. Eine bestimmte, zweckmäßig von einem mechanisch vorgepreßten Massestrang abgeteilte Menge der plastischen Masse wird gezwungen, den beim Aufeinanderpressen zweier Formteile, der Matrize und der Patrize, noch verbleibenden Zwischenraum einzunehmen. Beispielsweise wird bei der einfachen Spindelpresse in die meist aus Eisen bestehende Form ein entsprechendes Massequantum gebracht, worauf ein Preßstempel, dessen Gestalt der inneren Form des herzustellenden Gegenstandes entspricht, durch die Spindel in die Form eingedrückt wird, so daß die Masse den Zwischenraum zwischen Form und Preßstempel ausfüllen muß und hierdurch den gewünschten Formling bildet.

Ein etwaiger Überschuß an Masse tritt zwischen dem oberen Rande der Form und dem Preßstempel aus. Nach Beendigung des Formvorganges wird durch die Spindel der Stempel wieder aus der Form herausgehoben und hierauf durch Heben des Bodens der Form der gepreßte Gegenstand ausgedrückt, worauf nach Absetzen des Formlings der Vorgang von neuem beginnt. Derartige Spindelpressen werden sowohl von Hand als auch maschinell angetrieben, sei es durch Reibscheibe oder hydraulisch. Der hydraulische Antrieb kommt insbesondere für sehr schwere Pressen zur Herstellung großer Formstücke in Frage, wobei Preßdrücke bis zu 200 Atmosphären angewendet werden.

Diese Stempelpressen lassen sich weitgehend automatisieren. Hierbei werden mehrere Formen auf einem kreisförmigen Tische angeordnet und, während eine Form abgepreßt wird, erfolgt die Beschickung der zweiten mit Masse, worauf der Tisch eine kleine Drehung macht, und die soeben beschickte Form unter den Preßstempel kommt. Nun wiederholt sich der Arbeitsvorgang.

Bei der Verpressung von Steinzeugmassen auf solchen Stempelpressen bestehen jedoch eine Reihe von Schwierigkeiten. Dieselben verhindern eine allgemeine Einführung des Verfahrens, das an sich geeignet wäre, Handarbeit zu ersetzen und dadurch für die Herstellung von Formlingen der mannigfachsten Gestaltung in Betracht käme. Für die Verpressung sind nämlich nur restlos feingemahlene oder geschlämmte Massen, frei von grobem Korn, geeignet, die zwischen Stempel und Form herausquellen, wenn der Preßdruck genügend hoch wird, um schwierigere Formen restlos zu füllen. Außerdem liegt in vielen Fällen die Gefahr nahe, daß in der den Formling bildenden Masse Schichtungen auftreten, die beim Brennen zur Bildung von Blasen, Rissen und Sprüngen führen. Bei allen Steinzeugmassen, bei denen es gelungen ist, diese Formgebungsmethode zur Anwendung zu bringen, hat sich die Arbeitsweise hervorragend bewährt. Da es sich hier um Verfahren der Feinkeramik handelt, zeigt die Anpassung in die Steinzeugtechnik erneut die Vielseitigkeit der Formprozesse dieses Werkstoffs.

Eine weitere recht bedeutsame Anwendung des Formverfahrens mit der Quetschpresse ist das Nachpressen von im kontinuierlichen Betriebe vorgeformten Stücken in bereits etwas vorgetrocknetem Zustande. Insbesondere die Klinkerfabrikation benutzt diese Methode; gelegentlich dient sie auch zur Herstellung von Steinzeugformsteinen. Das Nachpressen bezweckt eine Verdichtung des Gefüges und scharfkantigere Gestaltung des Formlings und geschieht mit Hilfe von mechanischen oder hydraulischen Schwungradnachpressen.

Besondere Beachtung muß auch hier die Abstimmung zwischen restlichem Feuchtigkeitsgehalt und Preßdruck finden. Jeweils muß die Höhe des erzeugten

Formgebungsdruckes so gewählt werden, daß bei dem noch vorhandenen Wassergehalt das Verhalten der Steinzeugmasse als Flüssigkeit gewährleistet ist.

Nach beendeter Formgebung erfolgt ein Glätten der Oberfläche (siehe Bild S. 64), die zunächst, besonders bei grobkörnigen Massen, häufig rau und unansehnlich ist. Mit der Hand, eisernen Ziehklängen, hölzernen Spachteln und Gummiwischern wird so lange die Oberfläche bearbeitet und gestrichen, bis alle scharfkantigen Körner in das Innere des Scherbens eingedrückt und ihre Zwischenräume mit den angrenzenden Massepartikelchen vollkommen ausgefüllt sind. Auch hierbei spielt das Verhältnis zwischen Wassergehalt und Preßdruck für das Gelingen der Arbeit eine ausschlaggebende Rolle.

Bei sämtlichen bisher beschriebenen Formgebungsverfahren, bei denen die Masse in flüssigem Zustande gegossen oder in plastischer Form gedreht oder gepreßt wird, muß mit der Tatsache gerechnet werden, daß der geformte Körper feucht ist. Es ist notwendig, diese Feuchtigkeit dem Formling durch eine nachfolgende Trocknung wieder zu entziehen, um ihn ofenreif zu machen, und dieser Arbeitsvorgang bedeutet immer eine große Gefahrenquelle für das Stück. Alle aus nicht ganz einwandfrei aufbereiteter Masse hergestellten oder beispielsweise nicht absolut sorgfältig verarbeiteten Stücke neigen zur Bildung von Trockenrissen, welche den Formling unbrauchbar machen, so daß die gesamte darauf verwandte Arbeit verloren ist. Daher bestehen seit langem Bemühungen, an Stelle der feuchten Verformung eine Trockenformgebung zu setzen. Nach dem heutigen Stande der Technik ist dies nur im rein maschinellen Wege mit Hilfe von Pressen möglich.

Den Übergang zur trockenen Verformung bildet die Halbtrockenpresse, die z. B. bei der Herstellung von Ziegeln aus feuerfestem Schiefertone vielfach, für die Steinzeugindustrie aber als unmittelbares Formgebungsverfahren nur selten angewendet wird. Sie dient hier in gewissen Fällen für die Klinkerfabrikation und für die Herstellung von Steinzeugplatten. Dafür wird ein Material verarbeitet, das zwar eine geringere Feuchtigkeit als die auf der Strangpresse verarbeitete Masse, jedoch immer noch eine gewisse Plasticität besitzt.

Die Halbtrockenpressen sind meist Kniehebelstempelpressen, bei denen die einzelnen Formen sich auf einem rotierenden Tisch befinden und, nacheinander unter die Austrittsöffnung eines darüber angeordneten Tonschneiders gebracht, hier gefüllt und dann unter den Stempel geschoben werden. Auch Spindelpressen mit maschinell oder von Hand betätigten Spindeln werden angewendet.

Halbtrockenpressen sind auch die Nachpressen, die z. B. bei der Formgebung von auf Strangpressen vorgeformten, lederhart getrockneten Klinkern verwendet werden, um das Gefüge des Formlings unter einem dem geringen Feuchtig-



keitsgehalt entsprechenden hohen Druck dichter und die Form sauberer und scharfkantiger zu gestalten. Hierfür werden mechanische Schwungradpressen verwendet, bei denen die Bewegung des Preßstempels durch ein Schwungrad mit Zahnradvorgelege und Exzenterantrieb bewirkt wird; auch einfache von Hand betätigte Pressen stehen häufig in Anwendung, bei denen durch eine Hebelbewegung mit Hilfe von unrunder exzentrisch gelagerten Rädern ein Unter- und ein Oberstempel gegeneinander bewegt werden, wobei der dazwischen liegende lederharte Formling entsprechend dem verhältnismäßig niedrigen Gehalt an Wasser stark zusammengepreßt wird. Je kräftiger der Nachpreßdruck ist, je größer daher die Gewähr des Flüssigkeitsverhaltens der wasserarmen Masse ist, um so besser wird die Qualität des Klinkersteines. Deshalb werden auch sehr oft hydraulische Pressen, die es gestatten, sehr hohe Preßdrucke zu erreichen, für diesen Zweck verwendet.

Eine noch weitergehende Verfestigung des Materials und die Erzeugung von Produkten, die stärkster mechanischer Beanspruchung gewachsen sind, erfolgt beim reinen Trockenpreßverfahren, bei dem Preßdruck und immer noch vorhandener Feuchtigkeitsgehalt, sowie die Verteilung dieser geringen Wassermenge in der Masse die ausschlaggebende Rolle spielen. In besonderer Ausbildung dient das Trockenpreßverfahren hauptsächlich bei der Fabrikation von Fußbodenplatten und Steinzeugfliesen, sowie der Klinkerherstellung. Naßgepreßte, wie halbtrocken gepreßte Klinker besitzen, auch wenn sie in vorgetrocknetem, lederhartem Zustande nachgepreßt werden, eine wesentlich höhere Schwindung und geringere Härte und Druckfestigkeit nach dem Brande als vollkommen trocken gepreßte Steine.

Das Trockenpreßverfahren hat fabrikationstechnisch in den äußersten Grenzen seiner Anwendungsmöglichkeit sehr erhebliche Vorteile. Infolge der mit diesem Arbeitsverfahren verbundenen wesentlichen Verkürzung der Trockenperiode und der entsprechenden Verringerung der Trockenrißgefahr besteht die Möglichkeit, in wesentlich kürzerer Zeit als bei Anwendung anderer Formverfahren offenreife Formlinge herzustellen. Daher hat dieser Arbeitsprozeß viele Anwendungsgebiete erobert; in der Zukunft ist ihm eine weitere Verbreitung sicher.

Zur Trockenpressung wird die Steinzeugmasse vom Wasser im wesentlichen befreit, pulverisiert und unter sehr hohem Druck in geeigneten stählernen Formen gepreßt. Der Wassergehalt der in dieser Weise verarbeiteten Masse ist sehr gering und schwankt zwischen 3 und 12%, je nach seiner Verteilung in der Masse, nach der Bildsamkeit des verwendeten Tones und der Höhe des angewendeten Druckes.

Welcher Feuchtigkeitsgrad im einzelnen Falle zweckmäßig ist, läßt sich nur durch Versuche, d. h. geeignete Abstimmung mit dem benutzten Preßdruck be-

stimmen. Abgesehen von den ausschlaggebenden Gesichtspunkten ist für die Handhabung die Notwendigkeit einer guten Entlüftung der Masse während des Preßvorganges zu berücksichtigen. Das lose in die Form eingeschüttete Massepulver enthält zunächst sehr viel mit Luft gefüllte Zwischenräume, die, wenn keine einwandfreie Entlüftung stattfindet, zum Entstehen der sogenannten Facettenrisse Veranlassung geben. Diese Risse, die von der äußeren Ecke des Stückes diagonal nach dem Mittelpunkte zulaufen, sind an dem rohen Formling zunächst kaum zu erkennen, sondern werden erst beim Brennen offensichtlich. Ist die Masse zu trocken, so hat sie neben dem Nachteil einer genügend gleichmäßigen Verteilung der Feuchtigkeit im Gemenge und der Schwierigkeit eines außerordentlich hohen Preßdruckes noch die Unannehmlichkeit einer ungünstigen Entlüftung. Ist die Massemischung dagegen zu feucht, so ist das eigentliche Trockenpreßverfahren, charakterisiert durch sehr hohen Preßdruck, überhaupt nicht anwendbar, da sich hierbei das Massepulver nicht innig genug zusammenpressen läßt, weil Wasser nicht komprimierbar ist.

Um eine gute Entlüftung zu erzielen, wird der Preßdruck zu Beginn des Formvorganges allmählich gesteigert, so daß die Luft aus der Form und der Masse zu entweichen vermag. Erst wenn dies erfolgt ist, wird der Druck auf die volle, für die Durchführung der Arbeit notwendige, dem Wassergehalt der Masse und seiner Verteilung im Gemenge angepaßte Höhe gebracht. Häufig wird auch in zwei Stufen gepreßt. Die Arbeit beginnt zunächst mit einem Druck von etwa 50 Atm.; erst in der zweiten Druckperiode wird der volle Druck von 150 bis 300 Atm. je nach den im Einzelfall vorliegenden Verhältnissen erzielt. Je höher der Preßdruck bei einem bestimmten Wassergehalt ist, je inniger daher die einzelnen Massepartikelchen sich im Flüssigkeitszustand durchdrungen haben, um so fester wird der Formling und der daraus gebrannte fertige Stein. Von der Höhe des angewendeten Druckes ist auch der Hitzeegrad abhängig, der zur Erzielung der völligen Sinterung beim Brande notwendig ist. Bei ungenügendem Druck wird es bei sonst gleicher Zusammensetzung der Masse erforderlich, bei wesentlich höheren Temperaturen zu brennen, um eine völlige Sinterung zu erzielen. Es gibt dabei in jedem Falle ein Optimum des anzuwendenden Druckes, über das hinaus eine weitere Druckerhöhung keine Verbesserung der Eigenschaften des Formlings mehr mit sich bringt, weil dann Schieferungen im Preßling auftreten, die ihn gegebenenfalls unbrauchbar machen können.

Die hohen Drucke, mit denen beim Trockenpressen gearbeitet werden muß, erfordern die Verwendung besonders sorgfältig für diesen Zweck konstruierter Pressen, von denen drei verschiedene Systeme in Anwendung stehen.

Bei der gewöhnlichen Stempelpresse mit Kniehebelantrieb befinden sich die Formen auf einer drehbaren, kreisrunden Platte, und eine nach der anderen gelangt bei der Drehung der Platte unter den Stempel. Diese Maschine besitzt den Nachteil, daß der erzielbare Preßdruck von der Formfüllung weitgehend abhängig ist, die nur schwer vollkommen gleichmäßig gestaltet werden kann. Bei geringer oder lockerer Füllung sinkt der Preßdruck, die notwendige Abstimmung zwischen Wassergehalt und Druck wird beeinträchtigt und damit die Qualität des hergestellten Preßlings sofort beträchtlich vermindert. Die Versuche, die Schwierigkeit durch Verwendung eines Gegenstempels auszugleichen, der während des Preßvorganges gleichzeitig mit dem Druck des oberen Stempels einen Gegendruck von unten her ausübt, blieben zunächst noch ohne Erfolg. Auch dann bleibt eine Abhängigkeit des Druckes von der Füllung bestehen. Aus diesem Grunde werden solche Pressen noch mit Vorrichtungen versehen, durch welche die Menge des jeweils in die Form eingeschütteten Materials einigermaßen reguliert und gleichmäßig gestaltet werden kann. Mit Kniehebelpressen lassen sich bei entsprechend schwerer Bauart der Presse ohne weiteres hohe Preßdrucke erzielen, jedoch ist eine Regulierung des Druckes, z. B. beim Übergang von einer Massenzusammensetzung auf eine andere bzw. bei wechselndem Wassergehalt, schwierig.

Das Bestreben, den Preßdruck konstant zu halten und von der Füllung der Form weitgehend unabhängig zu machen, führte zur Ausbildung der Fallstempelpresse (siehe Bild S. 104), die eine ziemliche Bedeutung erlangt hat. Bei dieser Presse wird der Druck durch den freien Fall von etwa 400 kg schweren Stempeln auf das in der Form befindliche Massepulver erzeugt. Durch einen ersten Schlag des Stempels wird das lose Material zusammengedrückt, hierauf die Form bis zum oberen Rande wieder nachgefüllt, der Stein mit dem Stempel noch zweimal festgeschlagen, dann durch einen Unterstempel nach oben aus der Form herausgedrückt und abgenommen. Die Leistung dieser Presse ist sehr gut. Sie hat ferner den Vorteil, daß ihre Bauart von dem Gewicht der verwendeten Stempel und damit dem zu erzielenden Preßdruck nur in geringem Maße abhängig ist, weil der fallende Stempel mit der übrigen Presse in dem Augenblick des Auffallens in keiner Verbindung steht, diese also nicht mechanisch beansprucht.

Ein Nachteil dieser Presse ist die plötzliche Einwirkung des Druckes. Damit ist die Gefahr verbunden, daß unter Umständen die Ecken der Form nicht vollkommen ausgefüllt werden, weil der Druck zu plötzlich und nur in der Richtung von oben nach unten wirkt. Außerdem ist auch bei dieser Maschine eine Variierung des Preßdruckes schwierig. Sie läßt sich wechselnden Verhältnissen in bezug auf die Zusammensetzung der Masse und ihres Feuchtigkeitsgehaltes, sowie der Gestaltung

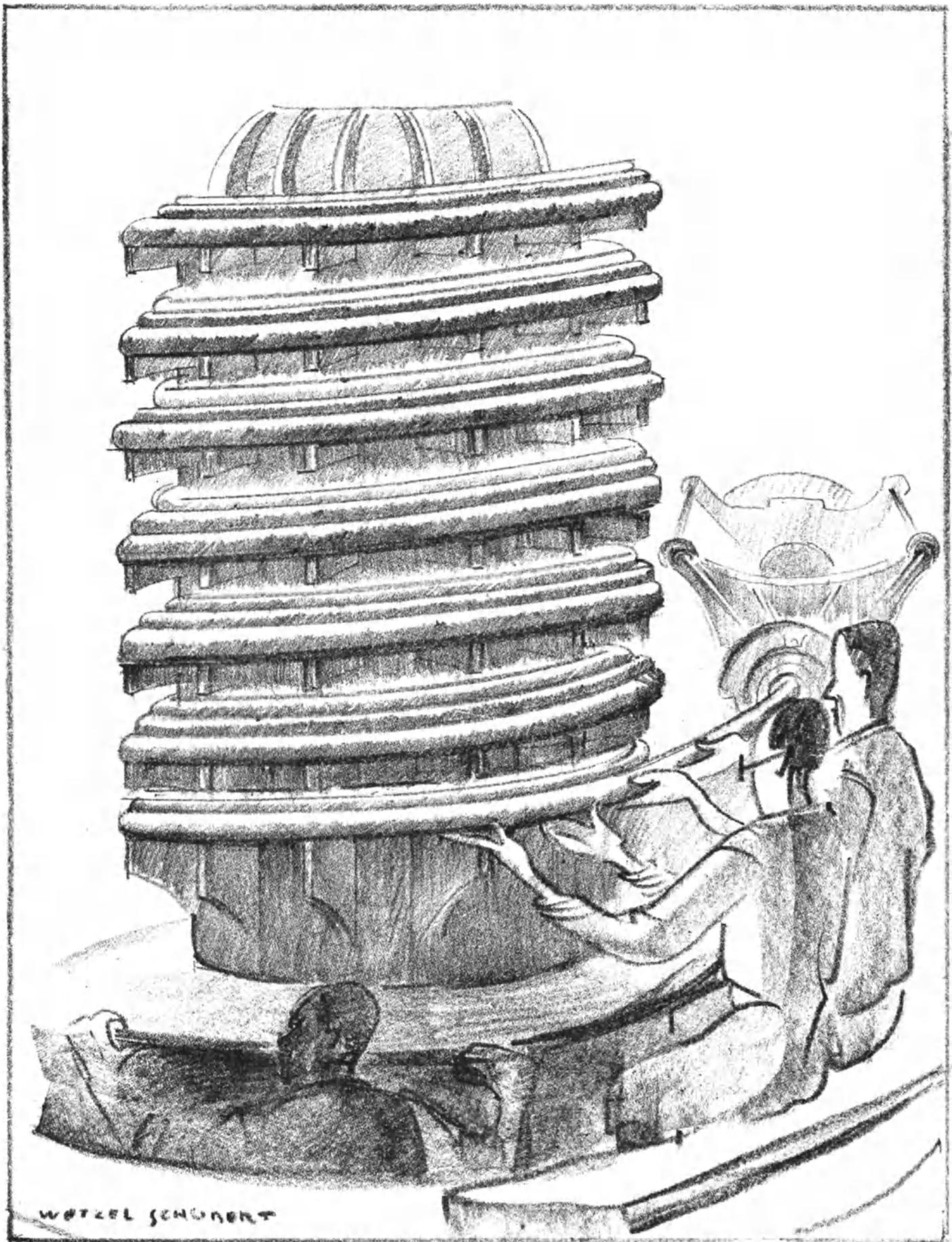
des Formlings schlecht anpassen. Daher sind diese Pressen nur für ganz einfache Preßlinge, wie Klinker und Fliesen, da aber mit gutem Erfolg, im Betrieb.

Die großen Vorzüge, die das hydraulische Preßverfahren in bezug auf leichte Regelbarkeit des Preßdruckes und weitestgehende Anpassung an alle vorkommenden Betriebsverhältnisse besitzt, haben in letzter Zeit dazu geführt, für die Trockenpressung von Steinzeug mehr und mehr zur Verwendung von hydraulischen Pressen überzugehen.

Hydraulische Pressen sind Kolbenpressen, deren Vorschubung des Preßkolbens durch Wasserdruck erzielt wird. Durch Hochdruckpumpen wird das angesaugte Wasser in sogenannte Akkumulatoren gedrückt, die als Druckausgleicher wirken. Im Prinzip sind sie nichts anderes als aufrechtstehende, zylindrische, unten geschlossene Behälter, in denen sich ein Kolben befindet, der gegen die Behälterwandung gut abgedichtet und mit einem Gewicht beschwert wird, das dem in Frage kommenden Preßdruck entspricht. Für die beiden im allgemeinen gebräuchlichen Druckstufen von 50 Atm. Niederdruck und 200 Atm. Hochdruck wurden früher zwei verschiedene Akkumulatoren verwendet. Heute wird das Niederdruckwasser in sogenannten Multiplikatoren vor jeder einzelnen Pressung auf Hochdruck gebracht, so daß sich besondere Hochdruckakkumulatoren mit den dazugehörigen Rohrleitungen erübrigen. Ein Sicherheitsventil sorgt dafür, daß der Akkumulator bei Stillständen der Presse oder augenblicklichem geringeren Bedarf an Preßwasser nicht überlastet wird.

Die Pressen selbst sind zwar von sehr verschiedener Bauart, je nachdem, ob damit Klinker, Fußbodenplatten oder anders gestaltete Formlinge hergestellt werden; ihre Arbeitsweise ist jedoch im Grunde immer die gleiche.

Die richtig durchfeuchtete Masse wird in geeigneter Weise auf dem Arbeitstisch der Presse in die stählerne Form gefüllt, die eine herausnehmbare Bodenplatte in Gestalt des Formenquerschnitts besitzt. Hierauf wird sie unter die Presse geschoben und dann durch Betätigung des Steuerapparats der Preßkolben hydraulisch hochgetrieben. Der Kolben tritt in die Form ein und preßt die darin enthaltene Masse zusammen. Durch stufenweises Steigern des Druckes wird ein vollkommener Austritt der in der Masse enthaltenen Luft vor Einwirkung des Höchstdruckes erzielt. Nach beendigter Pressung wird der Steuerapparat umgestellt, das Druckwasser tritt aus dem Preßzylinder aus und der Kolben senkt sich wieder. Die Form geht in ihre Grundstellung zurück, so daß sie abgesetzt und der Formling ausgestoßen werden kann. Bei Pressen älterer Bauart erfolgt die Pressung nur von einer Seite; neuere Pressen arbeiten mit Ober- und Unterstempel, so daß der Preßdruck doppelseitig auf die Masse einwirkt. Bei einseitig wirkenden Pressen liegt insbesondere bei dicken



Formlingen die Gefahr nahe, daß der Preßling auf der einen Seite dichter gepreßt wird als auf der anderen, was sich in ungleicher Schwindung und Verdichtung beim Brande und demzufolge ungleicher Härte und Verwerfung des fertigen Stückes auswirkt.

Eine moderne Presse dieser Art mit doppelseitiger Druckwirkung besitzt zwei durch Stahlsäulen fest miteinander verbundene, gegenüberliegende Preßzylinder und arbeitet mit dem sehr hohen Druck von 400 Atm. Zwischen den beiden Preßkolben befindet sich der Formtisch, in den der Gestalt der Preßlinge entsprechend auswechselbare Formen eingesetzt werden. Bei der Herstellung von Klinkern werden beispielsweise vier Formen gleichzeitig benutzt.

Sowohl der obere wie auch der untere Preßkolben sind mit je einem ständig unter Druck stehenden hydraulischen Rückzugskolben ausgerüstet. Derselbe ist durch ein Querstück und Zugstangen mit dem Preßkolben verbunden und zieht diesen nach erfolgter Pressung beschleunigt in die Grundstellung zurück. Die unteren in die Formöffnungen hineinragenden Formenstempel sind auf einer mit dem unteren Preßkolben verbundenen Stempelplatte befestigt und die Oberstempel auf einem besonderen auf Rollen und Schienen beweglichen und ausziehbaren Preßklotz angeordnet. Die Füllung der Formöffnungen mit Preßmasse geschieht durch einen Füllkasten, der aus einem darüber befindlichen Massekasten beschickt wird. Zur Steuerung der einzelnen Preßvorgänge dient ein kombinierter Ventilsteuerapparat. Die Presse liefert mit einer Viersteinform in der Stunde 500 Preßlinge bei Bedienung durch zwei Mann.

Bei einer hydraulischen Trockenpresse anderer Bauart weicht die Arbeitsweise nicht unwesentlich ab. Die Formen befinden sich bei dieser Presse ähnlich wie bei den Kniehebelpressen, auf einem Drehtisch, der sich kontinuierlich ohne Unterbrechung in rotierender Bewegung befindet, so daß alle Arbeitsvorgänge während der Drehung des Preßtisches stattfinden und Pausen überhaupt nicht eintreten. Die Presse arbeitet je nach Bedarf einseitig oder doppelseitig und berücksichtigt hierbei die Dicke des Preßlings. Sie arbeitet ohne Pumpen und Akkumulatoren und ist eigentlich eine kombinierte mechanische und hydraulische Stempel-  
presse, bei der die Wirkung des Preßwassers nur zur Betätigung einer besonderen hydraulischen Druckausgleichsvorrichtung verwendet wird, die erst wirkt, nachdem bereits eine rein mechanische Vorverdichtung und Entlüftung der Masse in der Form stattgefunden hat. Durch die Druckausgleichsvorrichtung soll bewirkt werden, daß jeder einzelne Preßling genau mit dem gleichen Gesamtdruck gepreßt wird, ganz gleich, ob die Füllung, die Feuchtigkeit oder die Korngröße des Materials sich ändert. Die Presse ist recht kompliziert gebaut, hat aber infolge der kontinuierlichen

Arbeitsweise eine sehr hohe Leistung; sie liefert stündlich mehr als 1000 Klinkerpreßlinge.

Um das Ankleben der Masse zu vermeiden, wurde die Form bei den älteren Pressen nach jedem Formvorgang gereinigt und eingeölt. Bei modernen Pressen verhindert man ein Anhaften der Masse an die Form durch einen geringen Zusatz von Rüböl oder ähnlichen geringwertigen Ölen zur Masse, die beim Preßvorgang austreten und dabei die Formwandung schmieren. Noch vorteilhafter ist eine Beheizung der Form oder des Stempels, weil das Massepulver an heißen Eisenflächen bedeutend weniger leicht anhaftet als an kalten. Selbstverständlich wird berücksichtigt, daß die Arbeitstemperatur auf das Gleichgewicht zwischen Feuchtigkeitsgehalt der Masse und Preßdruck von ausschlaggebendem Einfluß ist.

Von besonderem Interesse ist eine Spezialfabrikation der Steinzeugindustrie, nämlich die Herstellung ein- oder mehrfarbiger Mosaikplatten. Für die Erzeugung des Mosaikmusters dienen verschieden gefärbte Steinzeugmassen. Dieselben werden zunächst mit Blechformen, welche den Geräten für das Ausstechen von Backwaren ähneln, auf den Boden der Form eingefüllt und die Höhe der Füllung in den einzelnen Fächern egalisiert. Hierauf wird die Blechform vorsichtig herausgezogen, die Grundmasse aufgeschüttet und die Platte in der normalen Weise hydraulisch gepreßt.

In ähnlicher Weise wird auch bei der Herstellung von Klinkern vorgegangen. Bei Rohtonen von verschiedener Güte und wechselnder Brennfarbe wird die höherwertige Masse lediglich als Engobeschicht benutzt und auf eine geringere aufgefüllt.

In beiden Fällen muß darauf geachtet werden, daß Grund- und Deckmaterial eine vollkommen gleiche Schwindung besitzen, damit nicht nach dem Brande Haarrisse in der Farbschicht oder ein Abplatzen der einen Schicht von der anderen eintritt.

Die Bestrebungen, das Anwendungsgebiet des Trockenpreßverfahrens zu erweitern und sich seine Vorzüge, insbesondere hinsichtlich der ganz wesentlichen Abkürzung der Trocknungszeit in der Steinzeugindustrie auch für andere Fabrikationszweige als für die Formgebung von Klinkern und Platten nutzbar zu machen, haben bisher vereinzelt schon zum Erfolge geführt, so daß dieses Gebiet mit besonderem Interesse weiterbearbeitet wird.

Dem Verfahren des Trockenpressens nahe steht das sogenannte Stanzen, das bei der Herstellung von besonders kompliziert gestalteten Gegenständen, insbesondere für elektrotechnische Bedarfsartikel, vielfach mit bestem Erfolg angewendet wird. Bei diesem Verfahren wird das Massepulver durch Zusatz einer

geringen Menge von Öl, Petroleum und Wasser in einen krümeligen Zustand gebracht und dann durch Hebel- oder Spindeldruck oder auf Schlagpressen verpreßt („gestanzt“). Da es sich hierbei nicht nur um die Abstimmung zwischen Feuchtigkeitsgehalt und Preßdruck handelt, sondern auch den Ton nicht benetzende Flüssigkeiten benutzt werden, liegen die Grundlagen der Formgebungsfragen hier bedeutend komplizierter. Praktisch bestehen jedoch auch weitgehende Handhabungsanalogien. Dieses Verfahren, das die Vorzüge des Trockenpreßverfahrens in bezug auf die Abkürzung der Trocknungszeit nahezu besitzt, und außerdem ohne Schwierigkeit vollkommen automatisch gestaltet werden kann, hat vom fabrikationstechnischen Standpunkt aus bedeutende Vorteile und dehnt sich mit großem Erfolg immer mehr in der Steinzeugindustrie für die Erzeugung elektrotechnischer Massenfabrikate aus.

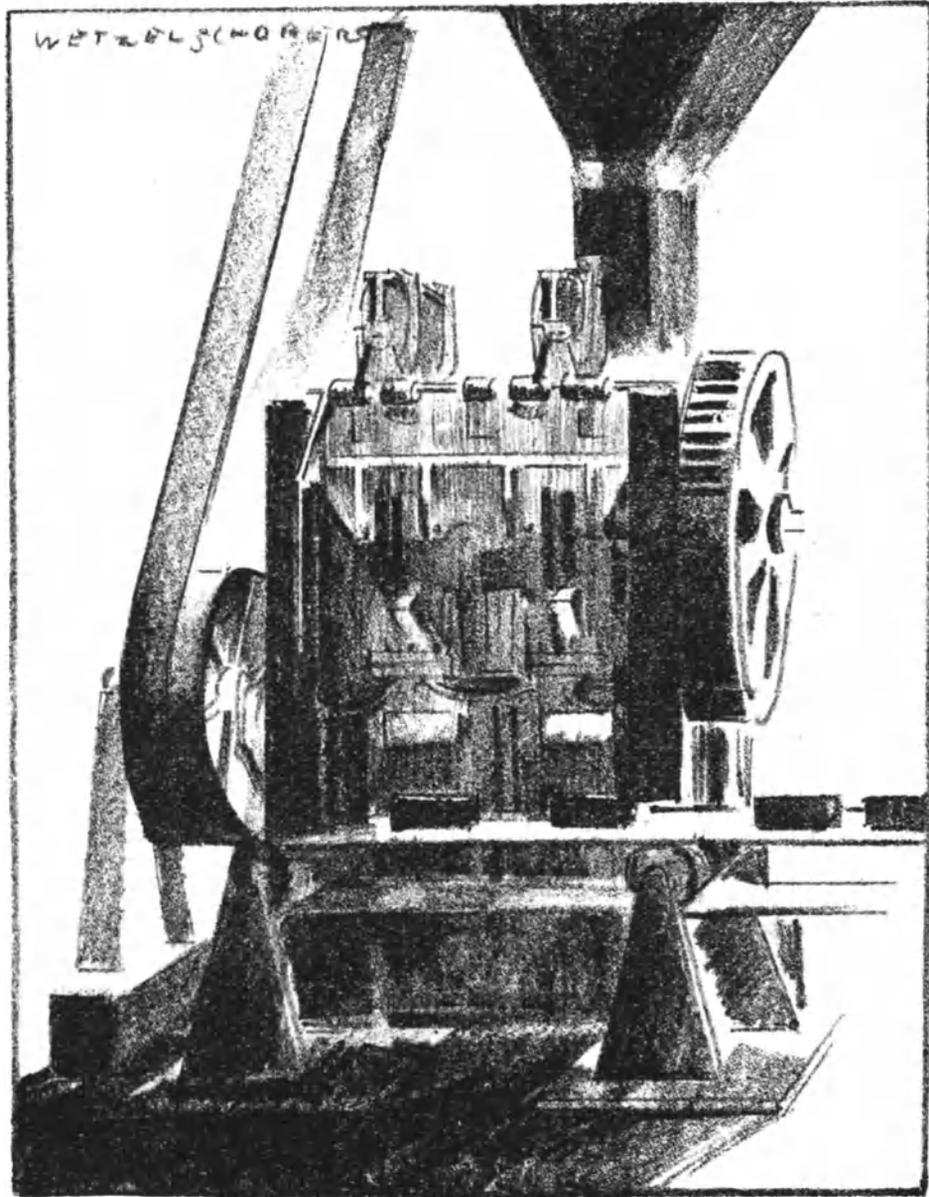
Die außerordentliche Mannigfaltigkeit der Steinzeugformgebungsmethoden, die noch durch Kombination mancher Verfahren vermehrt wird, steigert die Vielseitigkeit dieser Industrie und ihrer Anpassungsfähigkeit an die zahllosen an ihre Fabrikate gestellten Bedingungen.

# DAS TROCKNEN

Mit der Vollendung der Formgebung hat der Herstellungsprozeß des Steinzeugfabrikats einen wesentlichen Abschnitt erreicht. Nun beginnen neue Schwierigkeiten, denn der fertige Formling bedarf, auch wenn er nach dem Trockenpreßverfahren hergestellt wurde, einer weiteren Behandlung, um ihn ofenreif zu machen. Die Vorbereitung für den Brennprozeß durch geeignete Trocknung gehört auch heute noch zu den langwierigsten Arbeitsvorgängen der Steinzeugtechnik. Obwohl es schon in allen Zweigen dieser Industrie versucht wurde, den häufig besonders lange dauernden Trocknungsvorgang abzukürzen, ist dies nur bei ganz gewissen Fabrikaten geglückt. Große und kompliziert geformte Stücke müssen auch heute noch wochenlang trocknen, um eine wirklich einwandfreie Ware zu garantieren. Zweifellos werden die systematischen weiteren Versuche auch hier schließlich zu einer Rationalisierung führen. Zwischenzeitlich muß man jedoch für diesen Abschnitt des Herstellungsverfahrens eine um so längere Frist einsetzen, je größer die herzustellenden Stücke sind. Jede überstürzte Beschleunigung führt zu einer Verminderung der Warenqualität und zu einer Steigerung des Ausfalls.

Je nach dem angewendeten Formgebungsverfahren besitzt das geformte Steinzeugstück einen mehr oder weniger hohen Feuchtigkeitsgehalt. Bei der Trockenpressung ist derselbe mit etwa 5 bis 8%, natürlich am geringsten und hindert daher den sofortigen Brand nicht, während Stücke, die beispielsweise nach dem Gießverfahren geformt sind, häufig bis zu 30% Wasser enthalten. Die Feuchtigkeit tritt teils als Porenwasser, teils als Adhäsionswasser, das die einzelnen festen Partikelchen mit einer dünnen Wasserhaut umgibt, teils ferner in den kolloiden Bestandteilen des Scherbens auf. Ihre Entfernung ist Aufgabe der Trocknung, welche dem Brennprozeß vorangeht.

Es ist unmöglich, den feuchten, gerade transportfähigen Formling unmittelbar in den Ofen einzusetzen und zu brennen. Unter diesen Umständen ginge der Trocknungsvorgang unter dem Einfluß der normalen Temperatursteigerung der Steinzeugöfen viel zu schnell vor sich; es würden Spannungen in dem Material entstehen, die zur Bildung von Rissen und Sprüngen und damit zur Zerstörung der geformten Ware führen müßten. Obwohl die mechanische Festigkeit von rohen Steinzeugwaren größer ist als von allen anderen keramischen Produkten im gleichen Fabrikationsstadium, genügen doch diese möglichen Trockenspannungen auch hier, um den noch feuchten Körper zu zerreißen. Um den Brennprozeß daher nicht ungebührlich zu



verlängern, d. h. den Trockenvorgang in den Ofen zu verlegen, wird die Trocknung ganz allmählich und unter besonderer Berücksichtigung aller speziellen Bedürfnisse der Ware durchgeführt. Die Geschwindigkeit des Verlaufes des Verdampfungsvorganges wird so bemessen, daß ein ständiger selbsttätiger Ersatz der an der Oberfläche des Stückes verdunstenden Wassermengen aus dem Innern des Scherbens heraus erfolgt. Die in der Masse vorhandenen Kapillaren sorgen in dem Umfang der erfolgenden Oberflächenverdunstung dafür, daß die äußeren Schichten des Formlings nicht schneller trocknen als die inneren. Lediglich gegen Ende der Trocknung wird der Arbeitsvorgang unter Vermittlung der Kapillaren von außen nach dem Innern des Scherbens weitergeführt. Das nach Vollendung des Schwindungsvorganges noch in dem Formling enthaltene Wasser kann schnellstens aus dem Körper ausgetrieben werden. Die Einzelheiten sind von dem gewählten Trocknungsverfahren abhängig.

Die Trocknung eines Formlings wird stets um so mehr Zeit erfordern, je dicker der Scherben und je feuchter die Masse ist. Die Scherbendicke ist durch den Verwendungszweck des Fertigfabrikats bedingt und der Anfangsfeuchtigkeitsgehalt des Rohformlings in erster Linie eine Funktion des angewendeten Formgebungsverfahrens. Daher wird schon bei der Wahl desselben auf die Trocknungsfrage Rücksicht genommen. Wenn irgend möglich, wird ein Verfahren angewandt, das gestattet, Formlinge mit möglichst geringem Feuchtigkeitsgehalt herzustellen, für die nur eine kurze Trocknungsdauer erforderlich ist. Abgesehen von der Möglichkeit, den Trockenprozeß abzukürzen, ist damit auch eine wesentliche Verringerung der Gefahr der Bildung von Trockenrissen verbunden.

Bei dem Verdunstungsvorgang verhalten sich die einzelnen Steinzeugmassen je nach den für ihren Aufbau verwendeten plastischen Bestandteilen der Menge und Korngröße ihrer Magerungsmittel ganz verschieden. Während viele Naturtone ohne besondere Vorsichtsmaßregeln gleichzeitig und ohne Fehler trocknen, machen andere sehr große Schwierigkeiten, insbesondere weil sie ungleichmäßig schwinden und daher leicht reißen. Vor allem neigen fette und hochplastische Tone beim Trocknen sehr zum Reißen und Verziehen; sie werden auch aus diesem Grunde in geeigneter Weise gemagert, wobei noch zur Erzielung einer rissefreien Trocknung eine geeignete Korngröße des Magerungsmittels Vorbedingung ist. Ist das Magerungsmittel sehr grobkörnig, so sind Schwindrisse nur schwierig zu vermeiden. Andererseits erfordert die Herstellung sehr großer Gegenstände mit wachsender Wandstärke auch größeres Korn, so daß die Lösung dieser Fragenkomplexe dauernden Kompromissen unterworfen ist. Die Trocknungsvorgänge sind weitgehend bestimmend. Hierbei wird unter Trockenschwindung die während des Wasserabgabeprozesses

eintretende Raumverminderung verstanden. Sie unterscheidet sich sehr wesentlich von der folgenden beim Brennen einsetzenden Feuerschwindung. Die Raumverminderung während des Trockenvorganges entsteht dadurch, daß die von Feuchtigkeit umgebenen Masseteilchen beim Verdunsten des Wassers schrumpfen und sich näher aneinander lagern. Dadurch füllen sie einen Teil des vorher vom Wasser eingenommenen Raumes aus. Die Schwindung ist natürlich um so größer, je mehr Feuchtigkeit die verformte Masse enthält.

Bei der Verdunstung des im Formling enthaltenen Wassers wird die ihn umgebende Luft mit Feuchtigkeit angereichert oder sogar gesättigt. Hierbei wird Wärme gebunden, so daß eine Abkühlung der Luft unter entsprechender Herabsetzung ihrer Wasseraufnahmefähigkeit eintritt. Damit der Verdunstungsprozeß ständig seinen Fortgang nehmen kann, muß die feuchtigkeitsbeladene Luft immer wieder durch frische, trockene ersetzt werden. Es ist zweckmäßig, zum Ausgleich der durch die Verdampfung eintretenden Wärmebindung gleichzeitig mit der frischen Luft auch Wärme zuzuführen.

Die Wasserverdunstung und damit auch die Trockenschwindung schreiten zu Beginn des Trockenprozesses ziemlich rasch, im weiteren Verlauf jedoch langsamer fort. Das Ende der Trockenschwindung ist wesentlich vor beendigter Wasserentziehung erreicht, so daß im letzten Stadium des Trockenvorganges keine weitere Schwindung eintritt.

Naturgemäß macht der Trocken- und Schwindprozeß die schnellsten Fortschritte an den Stellen des Formlings, die ihrer Lage und Gestalt nach am meisten den Einwirkungen der sie umspülenden Luft ausgesetzt sind, z. B. vorspringende Ecken und Kanten, Henkel und dergleichen. Dadurch werden Ungleichmäßigkeiten im Verlauf des Trocknungsvorganges bedingt, die außerdem ganz allgemein bei verschiedener Scherbendicke des Formlings eintreten. Diese Unregelmäßigkeiten wirken außerordentlich nachteilig, wenn das Trocknen und Schwinden an einzelnen Stellen des Formlings so schnell erfolgt, daß die übrigen Teile nicht in der gleichen Weise folgen können. Dadurch entstehen immer Risse, die den Formling unbrauchbar machen. Es ist daher absolut notwendig, eine gleichmäßige Trocknung aller Teile zu erzielen, nur nicht durch Überstürzung die Qualität der Arbeit zu beeinträchtigen. Zurzeit ist es noch nicht möglich, die Trocknung der Stellen des Formlings, die weniger der Luft ausgesetzt sind bzw. eine größere Scherbendicke besitzen, in einfacher Weise zu beschleunigen, um Schritt mit der Trocknung der exponierten Stellen zu halten. Daher wird zunächst noch der umgekehrte Weg beschritten und der Trocknungsvorgang entsprechend verlangsamt. Die rasch trocknenden Teile werden vor dem unmittelbaren Angriff der Trockenluft durch Auflegen von feuchten

Lappen, Tonwülsten, Papier und dergleichen geschützt und diese Auflagen nach und nach mit fortschreitender Trocknung der übrigen Stellen entfernt.

Die Fläche, mit welcher der Formling auf seiner Unterlage ruht, darf natürlich nicht an dieser festkleben, um den ungehinderten Schwindungsvorgang nicht zu beeinträchtigen. Daher werden insbesondere dicke Gegenstände während der Trocknung auf mit Sand oder Schamotte bestreute oder mit Papier isolierte Platten oder Gitter gestellt.

Wesentlich ist ferner für eine einwandfreie Trocknung eines Formlings die Vermeidung jedes einseitigen Luftzuges während der Verdunstungsperiode, da er sonst auf der einen Seite schneller trocknet als auf der anderen. Durch die infolgedessen eintretende zu schnelle Schwindung der dem Luftzug ausgesetzten Seite muß sich das ganze Stück einseitig verziehen. Um diesen Übelstand zu vermeiden, werden insbesondere größere Formlinge während des Trockenprozesses mehrfach umgesetzt, und dadurch ist jede Ungleichmäßigkeit praktisch völlig ausgeschlossen.

Der eigentliche Trockenprozeß erfolgt nach den verschiedensten, den einzelnen Zwecken angepaßten, mehr oder weniger weitgehend mechanisierten Verfahren.

Die einfachste Art der Trocknung wird durch Einwirkung der freien Luft auf die Formlinge herbeigeführt. Bei kleinen und gleichmäßigen Waren geschieht dies in Stapeln oder etwas vollkommener in offenen Trockenschuppen. Natürlich ist dieser ganze Trockenvorgang völlig von den Witterungsverhältnissen abhängig. Die Steinzeugindustrie kann ihre Ware selten so behandeln. Sie muß sorgfältiger und schonender damit umgehen, um die oft außerordentlich großen Rohformlinge nicht zu gefährden.

Am gebräuchlichsten ist hierfür die Trocknung in Kammern bzw. Trockenräumen, die aus wärmewirtschaftlichen Gründen, sowie zum Zwecke der Abkürzung der Transportwege für die empfindlichen Rohformlinge, in die unmittelbare Nähe der Formgebungsräume gelegt bzw. mit diesen verbunden werden. Größtenteils befinden sich die Trockenräume neben und über den Brennöfen, um die ausstrahlende Wärme so gut wie möglich auszunutzen. Hierbei müssen die verfügbaren Trockenräume ausreichend groß sein, um eine genügend lange Trocknungsperiode für das einzelne Stück zu gewährleisten.

Die Ausnutzung der Wärme der abkühlenden Öfen besitzt besondere Wichtigkeit für die Trocknung. Die aus den abgebrannten Öfen abziehende heiße Luft wird durch in den Fußboden des Trockenraumes eingelassene Kanäle geführt oder durch einen Ventilator aus dem Ofenfuchs abgesaugt und in den Trockenraum eingeleitet. Selbstverständlich wird stets für gleichmäßigste Verteilung von Temperatur und Feuchtigkeit gesorgt.

Bei Massenfabrication, beispielsweise bei der Klinkerherstellung nach dem Naßpreßverfahren, steht meist nicht genügend Trockenraum über oder neben den Öfen zur Verfügung. Dann müssen besondere Trockenanlagen mit einer Anzahl nebeneinander liegender Trockenkammern eingerichtet werden. In diesen sind Trockengerüste angeordnet, auf welche die Erzeugnisse möglichst mechanisch abgestellt werden. Auch für die Beheizung solcher gesonderten Trockenanlagen wird die Abwärme der Öfen benutzt. Gelegentlich findet auch etwa zur Verfügung stehender Abdampf von Dampfmaschinen oder auch eine besondere Heizeinrichtung Verwendung.

Eine erhebliche Beschleunigung des Trockenvorganges ist das Kammertrocknungsverfahren. Es wird in zuglosen Räumen durchgeführt, in denen die nassen Formlinge, zunächst unter Ausschluß jeder Trocknung, durch feuchte Luft auf etwa 80 bis 95°C erwärmt werden. Durch die Vorwärmung dehnt sich der feuchte Scherben unter gleichzeitiger Erweiterung der in ihm vorhandenen Kapillaren aus. Trotzdem können in der stets feuchtigkeitsgesättigten Luft einzelne exponierte Stellen des Formlings nicht bereits zu trocknen anfangen. Wird nun dem vorgewärmten, nassen Formling bei gleichbleibender Temperatur allmählich trockene Luft zugeführt, welche die Feuchtigkeit aufnimmt und weiterträgt, so geht die Trocknung infolge der Erweiterung der Kapillaren mit wesentlich höherer Geschwindigkeit vorstatten, und die Dauer der ganzen Trocknungsperiode läßt sich auf einen Bruchteil reduzieren. Auch die Gefahr der Bildung von Trockenrissen wird hierbei wesentlich verringert. Der Nachteil dieses an sich ausgezeichneten Verfahrens ist die Beschränktheit seiner Anwendung auf einfache und verhältnismäßig kleine Stücke. Es besteht aber kein Zweifel, daß ein weiterer Ausbau der Methode auch der Großsteinzeugindustrie zu der gewünschten Fabricationsbeschleunigung und gleichzeitigen Verminderung des Ausfalls verhelfen wird. Zurzeit stört sowohl der außerordentlich hohe Anschaffungspreis der Trockenanlagen, wie auch der ständig gleich hoch bleibende Wärmeverbrauch, der unter Umständen durch die Abhitze der Öfen nicht gedeckt werden kann und eine künstliche und teure Wärmezufuhr nötig macht.

Das Kammertrocknungsverfahren läßt sich den im Einzelfall gegebenen Verhältnissen häufig anpassen. Es ist in der Steinzeugindustrie überall da gegeben, wo es sich um eine Fabrication verhältnismäßig kleiner Stücke handelt, bei denen kurze Lieferfrist eine große Rolle spielt. Die Industrie chemischen Steinzeugs kann die künstlichen Trockenmethoden zurzeit noch nicht benutzen; für die Steinzeugrohrindustrie sind sie im allgemeinen zu teuer. Das gleiche gilt für eine weiter entwickelte Stufe der Trockenkammern: die Kanaltrockner.

Dieselben sind dem Prinzip der Tunnelbrennöfen nachgebildet und arbeiten in kontinuierlichem Betrieb. Das Trockengut befindet sich auf geeigneten Transportvorrichtungen und wird auf diesen langsam durch einen geheizten Kanal aus isolierten Eisenkonstruktionen oder aus Mauerwerk hindurchtransportiert. Warme Luft strömt dem Gut entgegen und erwärmt und trocknet dieses allmählich. Vorbedingung für die Kanaltrocknung ist ein ununterbrochener Arbeitsgang. Die Trockenkanäle sind nur dort anwendbar, wo die vorgeschalteten Betriebe Tag und Nacht durcharbeiten oder wo am Tage ein genügender Vorrat von zu trocknenden Rohformlingen bereitgestellt werden kann, die dann kontinuierlich auch während der Nacht zur Trocknung in den Kanal eingefahren werden.

Der Durchtransport des Trockengutes durch den Trockenkanal erfolgt entweder auf Wagen mit periodischem Vorschub oder auch auf Transportbändern, die durch einen Antrieb mit ständig gleichbleibender Geschwindigkeit durch den Kanal bewegt werden.

Verwendung finden solche Kanaltrocknungsanlagen in der Steinzeugindustrie bei der Klinkerherstellung, während sie in der Rohrfabrikation vielfach sowohl in der Anlage wie auch im Betriebe zu teuer sind.

Für besonders empfindliche Tone und kompliziert geformtes Trockengut wird die Kanaltrocknung in Kombination mit dem Verfahren der Vorwärmung der feuchten Ware durch feuchtigkeitsgesättigte Luft mit Vorteil angewandt.

Die an das Endergebnis der Trocknung zu stellenden Anforderungen sind, unabhängig von der Art des gewählten Verfahrens, immer die gleichen: das ofenreife, getrocknete Gut soll einen möglichst geringen Feuchtigkeitsgehalt besitzen. Bei gemeinsamer Trocknung von Formlingen, die infolge verschiedener Größe und Wandstärke, sowie wechselnder Empfindlichkeit der Rohtone an sich unterschiedliche Trocknungsdauer erfordern, wird deshalb immer auf die Waren Rücksicht genommen, welche die längste Trocknungsdauer benötigen.

Weitgehende Schonung der nassen Formlinge während des Transports nach der Trocknungsanlage ist unbedingtes Erfordernis. Das Gut wird häufig auf vierrädrigen, möglichst gefederten Hubwagen, häufig auch auf Wagen mit kleinen Automobilrädern, transportiert. Die gleichen Wagen werden auch für den Transport des fertig getrockneten Gutes aus der Trockenanlage in den Ofen benutzt. Abnormal geformte und besonders große Stücke bedürfen hierbei noch immer der Menschenhand (siehe Bild S. 112).

# DAS BRENNEN

Der trockene aber noch ungebrannte Formling besitzt bereits eine auffallend verhältnismäßig hohe Festigkeit. Immerhin ist sein Scherben noch in Wasser aufweichbar. Er ist nicht atmosphärenbeständig und zerfällt bei feuchter Witterung. Erst durch den Brennprozeß erhält Steinzeug seine eigentliche Vollendung. Die getrocknete Rohware wird zu diesem Zwecke auf Temperaturen erhitzt, die nahe am Schmelzerweichungspunkt der Masse liegen. Erst infolge der bei diesem Brennprozeß eintretenden, sich hierbei abspielenden chemischen und physikalischen Vorgängen, die zur Schwindung und Sinterung führen, erhält der Steinzeugscherben seine besonderen Eigenschaften hinsichtlich Dichte, Härte, Festigkeit und überhaupt Widerstandsfähigkeit gegen physikalische und chemische Einflüsse und Angriffe aller Art.

Der Brennvorgang ist zunächst eine Fortsetzung der Trocknung. Unter dem Einfluß der steigenden Temperaturen wird der in der schon weitgehend feuchtigkeitsfreien Masse noch verbliebene Rest des Anmachewassers ausgetrieben. Dann findet bis zu einer Temperatur von etwa 170°C die Verdunstung des bei den normalen Trockenprozessen nicht entfernbaren hygroskopischen Wassers statt, das bis zu 3 Gewichtsprozenten der Masse ausmachen kann.

Bei weiterer allmählicher Erhitzung beginnt die Abgabe des Konstitutionswassers der wasserhaltigen Tonerdesilicate. Sie setzt im allgemeinen bei ungefähr 400°C ein. Bei 475°C liegt in den meisten Fällen der charakteristische Zersetzungspunkt, und die Wasserabgabe verläuft dann bis etwa 700°C normal, ist aber gelegentlich erst bei 900°C restlos beendet. Außerdem erfolgt bereits in diesem Temperaturintervall eine Anzahl weiterer chemischer Zersetzungen und Reaktionen, insbesondere ein Weiterzerfall der Tonsubstanz nach ihrer Anhydrierung in Tonerde und Kieselsäure. Diese beiden Stoffe reagieren erneut miteinander, wobei sich Aluminiumsilicate verschiedener Zusammensetzung, insbesondere Sillimanit:  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$  bzw. Mullit:  $3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2$  bilden. Ferner tritt ein Zerfall der etwa vorhandenen Carbonate und Sulfide, oberhalb 800°C auch der Sulfate ein. Bei Erreichung einer Temperatur von 575°C erfolgt außerdem der Übergang des Quarzes aus der  $\beta$ -Modifikation in die  $\alpha$ -Modifikation, der mit einer plötzlichen Volumenvergrößerung verbunden ist.

Die Plasticität der Masse geht bereits bei 200 bis 250°C zum größten Teil verloren, um bei weiterem Erhitzen vollständig zu verschwinden. Keine nachträgliche Behandlung kann der über die kritische Temperatur erhitzten Masse diese merkwürdigste aller physikalischen Eigenschaften wieder verleihen.

Der „Zersetzungsperiode“ im Brandprozeß folgt über 900°C die sogenannte Scharfffeuerperiode. In ihr nehmen die chemischen Umsetzungen, vor allem Neubildungen, Lösungen und Krystallisationen ihren Fortgang und finden in der Vollendung des Steinzeugscherbens ihren Abschluß. Die in der Masse enthaltenen Flußmittel lösen Kieselsäure und Tonerde ganz oder teilweise auf und bilden mit diesen zunächst eine amorphe, glasige Grundmasse, in welcher die etwa ungelöst bleibenden Teilchen und neu gebildeten Krystallite eingebettet sind. Die Summe all dieser physikalischen und chemischen Vorgänge führt zur Sinterung, zur völligen Verdichtung des Scherbens, zur Entstehung seiner Eigenschaften als Werkstoff.

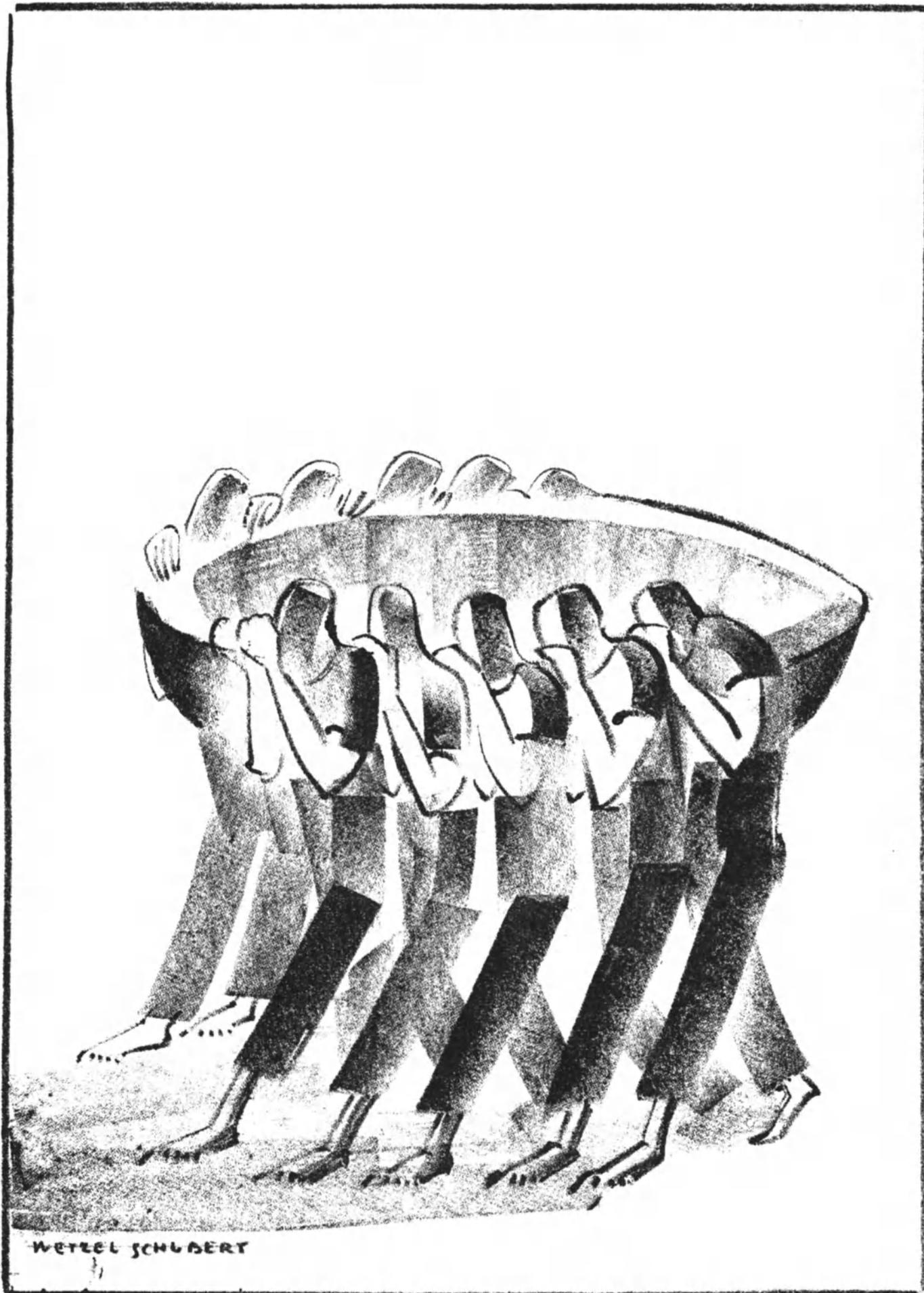
Parallel mit dem Anhydrierungsvorgang tritt ein der abgehenden Wassermenge entsprechender Gewichtsverlust des Formlings ein. Derselbe erhöht sich noch durch das Ausbrennen bituminöser Substanzen und das Entweichen der Kohlensäure aus etwa vorhandenen Carbonaten. Mit diesem Gewichtsverlust ist ebenso wie mit dem bei der Trocknung eintretenden eine Volumenverringerung des Körpers verbunden. Er vergrößert zunächst sein Porenvolumen, und erst die Schmelzungen der verschiedenen Eutektika, die darauf folgenden Lösungen und chemischen Reaktionen führen zur Verdichtung der Masse. Entsprechend der Raumausfüllung des bisherigen Porenvolumens ist diese mit einer wesentlichen Volumenverringerung verknüpft, die als Brennschwindung bezeichnet wird. Im Gegensatz zur Trockenschwindung, die gerade in der ersten Stufe des Trockenvorganges vollständig vor sich geht, ist der Betrag der Brennschwindung zu Beginn des Brandes, also bei niedrigeren Temperaturen, ziemlich gering. Sie tritt erst bei höheren Temperaturen, bei 900° C, in entscheidendem Umfange in Erscheinung. Abgesehen vom Feuchtigkeitsgehalt des Formlings besteht Abhängigkeit der Sinterung und Brennschwindung von der chemischen und mineralischen Zusammensetzung der Masse. Maßgebend sind auch die Korngröße der Teilchen und insbesondere der Gehalt an bereits vorgebrannten Magerungsmitteln. Ausschlaggebenden Einfluß hat ferner die Höhe der Brenntemperatur, die Erhitzungsdauer und die gleichmäßige oder wechselnde Zusammensetzung der Ofenatmosphäre. Durch Veränderung all dieser Vorbedingungen, insbesondere aber der chemischen Zusammensetzung, der Mahlfeinheit und der Menge der Magerungsmittel läßt sich die Brennschwindung in weiten Grenzen regulieren. Der Schwindungsvorgang verläuft im allgemeinen parallel mit der Verringerung der Porosität bzw. der Verdichtung des Scherbens. Er geht also gerade im gefährlichsten Teile der Brennperiode vor sich, nämlich während die den Scherben erweichenden Eutektika schmelzen, bilden sich Lösungen, bevor noch die Neukrystallisation dem Gefüge neue Standfestigkeit verleihen. Daher verlangt gerade dieser Teil des Brandes besondere Sachkenntnis und ständige Beobachtung. Jedoch erfordern

auch alle anderen Einzelheiten des Verlaufs eines Steinzeugbrandes genaue Überwachung. Die einzelnen Brennperioden müssen genau innegehalten werden, damit der Brand sowohl in bezug auf die Erzeugung einwandfreier Ware, wie auch in thermischer Beziehung wirtschaftlich ist. Die Zeitdauer des Brandes ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Im allgemeinen wird angestrebt und kann als vorteilhaft bezeichnet werden, Steinzeug so schnell wie möglich zu brennen. Die Möglichkeit der Brenndauerverkürzung ist jedoch nicht nur von den Größenabmessungen der zu erzeugenden Waren abhängig, sondern in gleicher Weise von der Zusammensetzung der Masse. Gewisse Steinzeugmassenzusammensetzungen sind sehr empfindlich gegen rasche Temperatursteigerung im Brande und müssen daher langsamer gebrannt werden als andere Massemischungen, die sich ohne Bedenken rasch erhitzen lassen. Häufig kommt es auch vor, daß bei gleicher Gesamtbrennstundendauer die verschiedenen Brennperioden mit wechselnder Geschwindigkeit durchgeführt werden müssen, um jeweils höchste Qualität und geringsten Ausfall zu gewährleisten. Das gleiche gilt auch für die Abkühlungsgeschwindigkeit bei verschiedenen Steinzeugmassen in wechselnden Kühlperioden.

Die Übertragung der Wärme von den Ofenwandungen bzw. den Feuergasen auf die Oberfläche des Formlings geschieht durch Wärmeströmung (Konvektion) und -strahlung: von der Oberfläche des Formlings überträgt sich die Wärme nach dem Innern des Scherbens durch Wärmeleitung.

Der Wärmeübergang zwischen einem Gas und einem festen Körper durch Konvektion hängt nicht allein von dem Temperaturunterschied beider Materialien, sondern auch von Form und Oberflächenbeschaffenheit des Wärmeempfängers ab. Insbesondere wirken rauhe Oberflächen der vom Gas bespülten Körper und oberhalb einer bestimmten unteren Grenze auch Erhöhung der Gasgeschwindigkeit auf den Wärmeübergang durch Strömung beschleunigend. Die Grundlage für die Übertragung von Wärme durch Strahlung ist das bekannte Stephan-Boltzmannsche Gesetz, nach dem die Gesamtstrahlung eines schwarzen Körpers mit der vierten Potenz der absoluten Temperatur wächst. Das Maß des Wärmeüberganges durch Leitung ist dem Temperaturgefälle im Körper und der Wärmeleitfähigkeit desselben proportional. Die richtige Auswertung dieser theoretischen Grundlagen gibt die Unterlagen nicht nur für den Bau des Steinzeugofens, sondern überhaupt für die ganze Führung des Brandes.

Die geringste bisher für die Durchführung eines Steinzeugbrandes erreichte Zeitdauer in großindustriellen Öfen beträgt etwa 24 Stunden. Im allgemeinen wird jedoch eine erheblich längere Brenndauer benötigt. Besonders Einsatzgut von größerer Scherbendicke verlangt häufig ein Vielfaches dieser Brenndauer. Während



WETZEL SCHUBERT

der Brennzeit von 24 Stunden wird ebenso die Höchsttemperatur von etwa 1250°C erzielt, wie bei empfindlicherer Ware in längerer Brenndauer. In beiden Grenzfällen wird die Temperatursteigerung in absolut vorgeschriebener Weise auf die einzelnen Brennstunden verteilt.

An sich könnte eine auf die gesamte Brennzeit gleichmäßig verteilte Erhöhung der Temperatur keine Entstehung von Spannungen bzw. Rissen und Sprüngen im Scherben verursachen, weil selbst bei relativ großen Scherbendicken die Temperaturdifferenzen von der Oberfläche bis zur Mitte des Scherbens theoretisch sehr gering sind. Durch die gleichzeitige Verdampfung des im Scherben enthaltenen Wassers werden jedoch praktisch weit größere Temperaturdifferenzen von der Mitte bis zur Oberfläche des Scherbens verursacht, als sich theoretisch ergeben würde. Wenn sich infolge zu raschen Temperaturanstieges die Poren im Scherben schließen, ehe die Feuchtigkeit vollkommen aus ihm entwichen ist, so treten Abplatzungen an den Wandungen der Stücke auf, die zur Zerstörung des ganzen Ofeneinsatzes führen können. Auch der im Scherben enthaltene Kohlenstoff kann bei zu rascher Abdichtung der Poren nicht mehr herausbrennen, wodurch bei höheren Temperaturen an den Wandungen blasenartige Aufbauchungen entstehen. Diese Schwierigkeiten verlangen sehr häufig eine wesentlich längere Zeitdauer des Brandes, als sie unter Berücksichtigung der möglichen Wärmeaufnahme des Einsatzes durch Strahlung und Leitung erforderlich wäre.

Die praktische Durchführung eines Steinzeugbrandes vollzieht sich daher nicht unter vollkommen gleichmäßigem Temperaturanstieg, sondern unter langsamerem Steigern der Hitze während des Vorfeuers. Der entwickelte Wasserdampf kann hierbei entweichen und der Kohlenstoff ausbrennen. Schärfere Steigerung desselben tritt erst während der Vollfeuerperiode ein, in der eine nachteilige Beeinflussung des Scherbens durch zu schnelle Erhitzung in den meisten Fällen nicht mehr erfolgen kann.

Während des Vorfeuers wird mit starkem Luftüberschuß, also oxydierend gebrannt. Trotzdem lagert sich im Innern des Ofens Ruß ab, weil die Flamme sich an dem kalten Ofeninhalt zu rasch abkühlt und die Temperatur an vielen Stellen noch zu niedrig ist, um den ganzen Kohlenstoff mit dem reichlichen Luftüberschuß vollkommen zu verbrennen. Die Dauer des Vorfeuers ist von der mehr oder weniger großen Empfindlichkeit des eingesetzten Materials bei diesen Prozessen abhängig.

Um den Austritt des während des Vorfeuers zunächst sich bildenden Wasserdampfes aus dem Ofen zu erleichtern, wird für sehr reichlichen Zug gesorgt. Unter Umständen werden auch noch besondere Kanäle vorgesehen, welche die feuchte Luft schnell abführen. Nach Erreichung bestimmter Temperaturgrenzen, die bei

wechselnden Steinzeugmassen verschieden sind, aber im allgemeinen zwischen 700 bis 1000°C liegen, wird der weitere Temperaturanstieg ohne besondere Vorsichtsmaßregeln so schnell wie möglich und im allgemeinen reduzierend durchgeführt. Wichtig ist hierbei eine sorgfältige Überwachung der Feuerungen, insbesondere bei solchen für feste Brennstoffe, und die unbedingte Vermeidung des Zutritts falscher Luft infolge ungeeigneter Beschickung der Roste. Auch beim reduzierenden Brennen wird nur so wenig Kohlenoxyd entwickelt, wie unbedingt notwendig ist, um den thermischen Wirkungsgrad des Ofens so hoch wie möglich zu steigern.

Mit ungefähr 1250°C ist die Sinterungstemperatur des normalen Steinzeugs erreicht, während Spezialsteinzeugsorten teilweise schon viel niedriger, teilweise aber auch erst bei sehr viel höheren Temperaturen sintern. Das Normalsteinzeug erhält in den meisten Fällen mit dem Eintreten der Sinterung seine „Anflugglasur“.

Die Salzglasur für Steinzeug ist schon seit dem 11. Jahrhundert bekannt. Ihre Entstehung auf der Oberfläche des Scherbens beruht auf dem chemischen Vorgang der Spaltung von Kochsalz in Natrium und Chlor bzw. in Natriumoxyd und Chlorwasserstoff. Die hierbei entstehenden Spaltungsprodukte, insbesondere das Natriumoxyd wirken auf die Kieselsäure und das Aluminiumoxyd des Scherbens ein und verbinden sich mit diesen zu der Glasur, die chemisch ein hochsiliciertes Natrium-Aluminiumsilicat darstellt. Die so entstehende hauchdünne Glasur auf der Oberfläche des Scherbens ist um so besser, je höher die Temperatur beim Salzen, je besser der Scherben gesintert ist und je weniger Flußmittel er enthält. Die Anwendung der Salzglasur ist ausschließlich auf Steinzeug beschränkt. Sie gelingt nur auf einem gesinterten Scherben mit entsprechend hohem Gehalt an freier und fein verteilter Kieselsäure und einem angemessenen Tonerdegehalt gut. Die Salzglasur zeigt die bekannte leichte Narbung, die dem Aussehen des Steinzeugs einen ganz besonderen Reiz verleiht.

Vor Beginn des Salzens werden einige Brennproben aus dem weißglühenden Ofen gezogen, um die Salzgare des Scherbens festzustellen. Nun erfolgt eine neue Beschickung der Feuerungen, bis der Ofen völlig reduzierend brennt. Nachdem die Hauptvergasung des neu aufgeschütteten Brennstoffs vorbei ist, wird das Kochsalz auf die Feuerungen aufgeworfen und hierdurch die Salzglasur im Ofeninnern auf der Oberfläche der Ware erzeugt.

Mit der Bildung der Salzdämpfe bzw. ihrer Zerfallsprodukte, welche den Ofen sofort anfüllen, ist die Bildung erheblicher Wärmemengen und die Gefahr eines Temperaturrückganges verbunden. Daher werden während des Salzens die Feuerungen stark beschickt, um die Temperatur im Ofen hoch zu halten. Im allgemeinen wird der Salzungsvorgang nochmals wiederholt. Um einen unerwünschten schnellen

Abzug der Salzdämpfe aus dem Ofen zu vermeiden, wird während des Salzens der Zug gedrosselt.

Für öl- und gasgefeuerte Brennöfen kommt ein anderes Salzungsverfahren in Betracht. Hier wird das Einblasverfahren, bei dem das Salz mit Hilfe von Preßluft oder überhitztem Dampf durch Düsen in den Ofen hineingeblasen wird, benutzt.

Nach vollkommener Beendigung des Salzens wird die Temperatur des Ofens im allgemeinen nochmals, und zwar bei oxydierender Atmosphäre, gesteigert. Hierauf werden bei periodischen Öfen die Feueröffnungen zugemauert und mit feuerfestem Mörtel dicht verschmiert. Nachdem der Ofen so vollständig geschlossen etwa 30 bis 36 Stunden gestanden hat, wird die Einsatztür langsam durch allmähliches schichtweises Einstoßen der Mauerung geöffnet, so daß eine ganz allmähliche Abkühlung des Ofeninhalts erfolgt. Die Dauer der Abkühlungsperiode schwankt hierbei zwischen 2 und 18 Tagen.

Besondere Sorgfalt erfordert der Brennprozeß bei der Klinkerherstellung wegen des relativ starken Scherbens der Ware. Alle dickwandigen keramischen Erzeugnisse werden verhältnismäßig langsam angewärmt und ebenso im Vollfeuer sehr systematisch gebrannt, um auch das Innere der Steine auf die entsprechende Temperatur zu bringen.

Die Bestrebungen zur kontinuierlichen Gestaltung des Fabrikationsprozesses haben auch in der Steinzeugindustrie bereits wesentliche Erfolge gezeitigt. Sowohl beim Brennvorgang wie auf zahlreichen anderen Gebieten der Fabrikation ist es gelungen, diesen Gedanken in beträchtlichem Umfang zur praktischen Anwendung zu bringen. Das „laufende Band“ spielt in Steinzeugfabriken bereits eine erhebliche Rolle und ist an vielen Stellen unentbehrlich.

Von ganz besonderer Bedeutung ist die kontinuierliche Arbeitsweise für den Brennprozeß, da sie eine weitgehende Ausschaltung aller rein manuellen Arbeit gestattet und gleichzeitig außerordentliche Erfolge in fabrikationstechnischer Beziehung mit sich bringt. Die Vorteile gründen sich auf die Gesamtheit der beim Brennprozeß stattfindenden physikalischen und chemischen Vorgänge, die am günstigsten verlaufen, wenn sie ganz allmählich ineinander übergehen. Dies läßt sich nur bei einem vollkommen kontinuierlichen Betrieb erzielen.

Das rationellste Brenninstrument der Steinzeugindustrie ist, wie für die Keramik ganz allgemein, der Tunnelofen, der seiner ganzen Betriebsweise nach die vollkommenste Verkörperung des Gedankens der Fließarbeit darstellt (siehe Bild S. 120). Er läßt sich in seinen verschiedenen Ausführungsformen ohne Schwierigkeiten sehr vielen beim Brennen von Steinzeug in Frage kommenden Betriebsverhältnissen mit Erfolg anpassen.

Noch vor wenigen Jahren konnte mit Recht gesagt werden, daß Tunnelöfen für Kleinbetriebe grundsätzlich ausscheiden. Zu dieser Zeit wurden auch tatsächlich nur Tunnelöfen für verhältnismäßig große Mindestherzeugungsmengen gebaut, die in sehr vielen Betrieben mit wenigen kleinen periodischen Öfen nicht erreicht werden. Inzwischen hat jedoch die Ofenbautechnik solche Fortschritte gemacht, daß es heute möglich ist, kleine und billige Tunnelöfen zu konstruieren, die sich jedem regulären Fabrikationsbetrieb auch geringsten Umfanges anpassen lassen. Für kleine, normalisierte Stapelarbeit gibt es keinen einfacheren, bequemeren und billigeren Ofen als den jeweils dem Spezialzweck entsprechend konstruierten Tunnelofen. Für Stapelartikel großer Dimensionen liegen die Verhältnisse nicht mehr so eindeutig. Handelt es sich um eine genügend große Menge gleich großer oder ungefähr gleich dimensionierter Waren, so besteht keine prinzipielle Schwierigkeit, auch hierfür den Tunnelofen anzupassen und zu konstruieren. Die früheren Schwierigkeiten des nicht immer erschütterungsfreien Transports schwerer Waren durch den Ofen sind durch mechanische Vorschubvorrichtungen überwunden. Dagegen ist es auch heute noch nicht zweckmäßig, Mehrtausendlitergefäße und Kleingeräte gemeinsam oder abwechselnd in einem und demselben Tunnelofen zu brennen. In solchen Fällen ist — bei genügend großer Produktion — der im Feuerfortschritt ebenfalls kontinuierliche Gaskammerofen dem Tunnelofen vorzuziehen, während kleinere Fabrikationsstätten sich des Einzelofens bedienen.

Der Tunnelofen ist in seiner Grundform ein langer Kanal, welcher den Brennraum bildet. In seinem mittleren Teile befindet sich eine feststehende Brennzone mit Feuerungen für feste, flüssige oder gasförmige Brennstoffe. Das Brenngut ruht auf einer beweglichen Unterlage, nämlich den auf Rädern laufenden Brennwagen, Brennschlitten oder auf Kugeln rollenden Brennplatten und wird auf diesen durch den Ofen und damit durch die eigentliche Brennzone hindurchtransportiert. Hierbei durchstreichen die Feuergase von den in der Ofenmitte festliegenden Brennstellen aus die vordere Hälfte des Ofenkanals, entgegen der Transportrichtung des Brenngutes. Das Erwärmungsprinzip der Waren im Gegenstrom hat sich auch hier bestens bewährt.

Die am Ausfahrtsende entgegen der Transportrichtung in den Kanal eingesaugte Frischluft streicht dem fertiggebrannten, heißen Einsatzgut entgegen. Sie wird durch die von diesem abgegebene Wärme vorerwärmt, bis sie in der Brennzone mit den Heizgasen zusammentrifft.

Aus dieser grundlegenden Anordnung heraus ergibt sich die Gliederung eines Tunnelofens in die Vorwärme-, die Scharfffeuer- und die Abkühlzone, in denen die entsprechenden Vorgänge beim Brennprozeß stattfinden.

Er beginnt mit der Einschleusung der fertiggesetzten Brennwagen in den Ofenkanal mittels einer Doppelschleuse, welche den völligen Abschluß des Brennkanales von der Außenluft auch für die Dauer des Einfahrens der Wagen sichert. Die Schleuse besitzt als Abschlußorgane Schieber aus Schamotte oder Eisen, die entweder starr oder auch als Rolladenschieber ausgebildet sein können. Letztere gestatten mit einer niedrigeren Bauhöhe auszukommen.

Die Brennwagen werden nach Verlassen der Einfahrtsschleuse entweder absolut kontinuierlich oder in bestimmten Zeitabständen durch den Ofenkanal hindurchgeschoben. Sie gelangen allmählich in Zonen immer höherer Hitzegrade und werden hierbei langsam und gleichmäßig bis zur Höchsttemperatur erwärmt. Besondere Bedeutung hat die Ausbildung des Ofens und seines völligen Abschlusses gegen den Unterbau der Transportwagen. Um diesen eisernen und daher verbrennlichen Unterbau vor den Angriffen der Hitze zu schützen, erfolgt der Abschluß durch zwei an den Längswänden des Ofens auf beiden Seiten angeordneten sandgefüllten Rinnen, in denen geeignete Abschlußbleche, die an den Plattformen der Wagen lose befestigt sind, schleifen.

Die Erwärmung des Brenngutes in der Vorwärmezone erfolgt lediglich durch die dem Gute entgegenziehenden Flammgase bzw. die Abhitze der in der Transportrichtung des Gutes dahinterliegenden Scharfffeuerzone. Erforderlichenfalls wird beim Einsetzen relativ feuchter Rohformlinge in den Ofen der Vorwärmezone, die durch Flammgase beheizt wird, noch eine Schmauchzone vorgeschaltet. Dieselbe wird dann entweder durch besondere Feuerungen direkt oder mittels heißer Luft, welche aus der Abwärme der Kühlzone gewonnen wird, beheizt.

Das genügend getrocknete und vorgewärmte Brenngut gelangt beim weiteren Fortschreiten durch den Ofenkanal allmählich in die Scharfffeuerzone, in den Mittelteil des Ofenkanals, in dem sich die Feuerungen befinden.

Die Beheizung der Scharfffeuerzone erfolgt in der verschiedensten Weise, und zwar grundsätzlich nach lokalen Zweckmäßigkeitsgründen mittels einfacher Plan- oder Schrägroste, Treppenroste (Halbgasfeuerung), durch Gas, Öl oder elektrisch.

Vorzugsweise werden heute Tunnelöfen mit Gas- oder Ölfeuerung gebaut. Feuerungen für feste Brennstoffe werden im allgemeinen nur bei Öfen kleinerer Leistung verwendet. Wenn irgend möglich, wird bei genügender Leistung der Ofenanlage Gasbeheizung oder Öl gewählt, die beide eine außerordentlich sichere Brandführung und denkbar sauberen Betrieb gewährleisten. Während die Ölfeuerung aus preislichen Gründen hauptsächlich in Amerika bevorzugt wird, ist in Deutschland die Gasfeuerung beim Tunnelofen allgemein verbreitet. Gas jeder Herkunft kann hierfür verwendet werden. Sowohl Generatorgas, Gichtgas, Koks-

ofengas und Leuchtgas werden je nach dem Preise mit mehr oder minder großem Erfolg benutzt.

Sowohl das Gas wie auch die Verbrennungsluft werden jeder einzelnen Brennstelle in ganz genau geregelter Menge unabhängig vom Schornsteinzug zugeführt, so daß für jeden Abschnitt der Scharfffeuerzone die Einstellung der gewünschten Flammgaszusammensetzung möglich ist. Nach Bedarf wird oxydierend, reduzierend oder neutral gebrannt. Besonderer Wert wird wegen der außerordentlichen Inanspruchnahme des Schamottemauerwerks in der Scharfffeuerzone auf die Verwendung von erstklassigen, den Spezialanforderungen angepaßten Schamottesteinen gelegt, um dauernde Reparaturen zu vermeiden. Es hat sich interessanter Weise herausgestellt, daß Schamottesteine nicht um so geeigneter sind, je hochwertiger sie im landläufigen Sinne an sich gelten. Nur Spezialsteine, die den Sonderbedingungen wirklich gerecht werden, dürfen zur Anwendung kommen.

Der Scharfffeuerzone schließt sich der Abkühlteil des Ofens an. Er wird so ausgebildet, daß eine genau regelbare Temperatursenkung erzielt werden kann. Daher ist eine entsprechende Gestaltung der Abkühlkurve und jede gewünschte fabrikationstechnisch mögliche Schnelligkeit des Kühlens einstellbar. Zweckmäßig wird das ganze Abkühlende des Ofens in eine Anzahl nebeneinanderliegender muffelartiger Kammern unterteilt. Jede derselben ist mit einer regelbaren Luftzutrittsöffnung versehen. Durch stärkere oder schwächere Zuführung der kühlen Luft zu den einzelnen Kammern wird in beliebigen Abschnitten die Abkühlung des Brenngutes je nach Bedarf stärker oder schwächer durchgeführt. Die Abkühlung kann in den ungefährlicheren Temperaturintervallen schnell und in den gefährlicheren entsprechend langsamer von statten gehen, wie dies insbesondere für große Steinzeugfabrikate mit dickem Scherben und für Klinker von großer Bedeutung ist.

In wärmewirtschaftlicher Beziehung gestattet der Tunnelofen eine weitgehende Ausnutzung der Abwärme: die beim Kühlprozeß gewonnene Heißluft wird zum Teil der Scharfffeuerzone des Ofens als Verbrennungsluft zugeführt, zum anderen Teil mittels eines Ventilators aus den einzelnen Kühlkammern der Abkühlzone abgesaugt und zur Beheizung der Fabrikationsräume und für Trockenzwecke verwendet.

Die beim Tunnelofenbetrieb erzielbaren Vorteile bestehen insbesondere in den außerordentlichen Brennstoffersparnissen. Sie werden durch die restlose Ausnutzung des Brennstoffs infolge der auf dem Gegenstromprinzip beruhenden Arbeitsweise erreicht. Die Abgase entweichen erst mit einer Temperatur von 120 bis 150° C in den Schornstein, während die entsprechende Temperatur der Flammgase beim Rund- und viereckigen Einzelofen 600 bis 900° C beträgt. Außerdem läßt sich bei

der Eigenart der Arbeitsweise des Tunnelofens leicht ein zu großer Überschuß an unverbrauchten Bestandteilen in den Flammgasen beim reduzierenden wie ein zu großer Luftüberschuß beim oxydierenden Brennen vermeiden. Gegenüber allen anderen kontinuierlich oder periodisch betriebenen Öfen hat der Tunnelofen außerdem den Vorteil, daß das gesamte Mauerwerk des Ofens stets auf gleicher Temperatur bleibt. Eine Aufwendung von Wärme für seine Wiedererwärmung ist daher unnötig. Aus diesem Grunde besteht die Möglichkeit, das Mauerwerk dick zu machen und so gut zu isolieren, daß Strahlungsverluste nach außen so gut wie vollkommen vermieden werden.

Weitere Vorteile beim Tunnelofenbetrieb sind die kürzere Brenndauer, die Verminderung des Brennausschusses infolge der ständig gleichbleibenden Betriebsverhältnisse und die einfache Bedienung unter entsprechender Ersparnis an Leuten. Bei keinem anderen Ofen ist es wie beim Tunnelofen möglich, das Setzen der Waren außerhalb des eigentlichen Brennraums bei Tageslicht und stets unter Normaltemperatur vorzunehmen. Gerade diese Handhabungsvorteile werden heute besonders hoch bewertet.

Jeder Tunnelofen läßt sich sowohl mit unmittelbarer Beheizung wie als Muffelofen ausbilden. Damit ist er jedem Verwendungszweck, der bei der Steinzeugherstellung in Frage kommen kann, anzupassen. Indirekt befeuerte Tunnel-Muffelöfen benötigen keine Doppelschleuse; die Muffel wird durch ein einfaches Schieber verschlossen.

Platten und Klinker werden regelmäßig im Tunnelofen mit offener Flamme gebrannt, wobei sowohl die Ausbildung der Scharffeuerzone wie der Abkühlzone den besonderen Bedingungen angepaßt wird.

Steinzeuggeschirr wird je nach dem Sonderfall ungekapselt oder gekapselt gebrannt. Bei Verwendung eines Muffel-Tunnelofens wird auf die Verwendung von Kapseln überall da verzichtet, wo die Ware sicher und zuverlässig auch ohne Kapseln in die Muffel einzubauen ist.

Die Frage des Brennens von salzglasierter Ware in Tunnelöfen wurde zwar bis vor kurzem vielfach theoretisch erörtert, aber praktisch nicht für durchführbar gehalten. Auch hier fand sich eine Lösung: Es wird zwischen der Scharffeuerzone und der dahinter gelegenen besonderen Salzungszone ein Schieber angeordnet, welcher die beiden Zonen vollkommen voneinander abschließt. Das Salzen erfolgt dann nur in der geschlossenen, besonders konstruierten Kammer unter Zuhilfenahme besonderer Salzeinblasevorrichtungen. Dadurch wird unbedingt vermieden, daß die entstehenden Salzdämpfe und Zersetzungsprodukte des Salzes in die Scharffeuerzone gelangen und aus dieser mit den Feuergasen dem Brenngut entgegen-

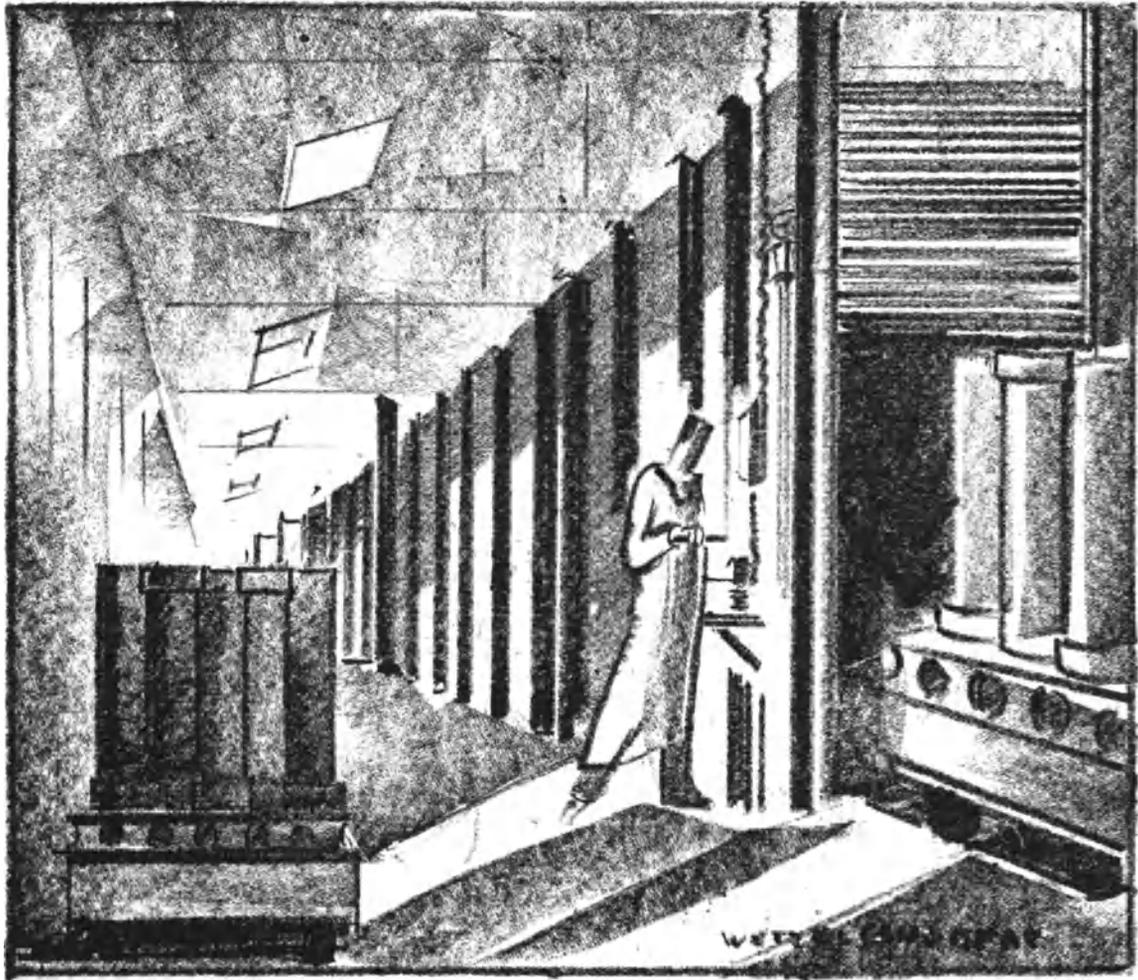
ziehen. Es ist ausgeschlossen, daß die Dämpfe zu früh mit der noch nicht salzgaren Steinzeugware in Berührung kommen. Diese Öfen dienen in allererster Linie der Herstellung salzglasierter Steinzeugrohre für Kanalisationszwecke. Für die Erzeugung von Steinzeug für chemische Zwecke werden sie zurzeit noch nicht empfohlen, da diese Fabrikation zu verschieden dimensionierte Stücke umfaßt und noch nicht genügend normalisiert ist. Für das Brennen salzglasierter Geschirre kommen Tunnelöfen durchaus in Betracht und sind bei genügend großem Umfang der Produktion das rationellste Brenninstrument.

Klinker werden zwar vielfach noch gemeinsam mit salzglasierter Ware, also mit Salzglasur gebrannt, doch geht ganz allgemein die Geschmacksrichtung dahin, Klinker frei von Salzglasur und jedem Glasuranflug herzustellen. Hierfür werden dann besondere Öfen benutzt. Der häufigste Klinkerbrennofen für Großfabrikation ist der normale Tunnelofen. In demselben werden sechs bis acht Klinkersteine direkt übereinander gebrannt. Es wird unter allen Umständen vermieden, die Nutzzone des Klinkertunnelofens höher zu gestalten, weil die Druckfestigkeit des Steinzeugklinkers bei seiner Garbrenntemperatur nicht groß genug ist, um eine sehr hohe Schicht ohne Deformation zu tragen. Aus diesen Gründen, ferner um die Länge des Tunnelofens zu verkürzen und seinen Anschaffungspreis zu verringern, um die Fabrikationsdauer zu verkleinern und die Klinkerqualität in bestimmten Beziehungen bewußt zu beeinflussen, geht die Tendenz der Tunnelofenkonstruktion für Klinker in der Richtung der Erbauung kurzer und breiter Tunnelöfen mit niedrigster Nutzhöhe. Derartige Spezialöfen für Klinker haben gelegentlich nur eine lichte Nutzhöhe von 10 bis 12 cm. Sie gestatten nur eine Klinkersteinhöhe ohne weiteren Aufbau und sind trotzdem durch die Kürze des Ofens und der Brenndauer besonders rationell. Freilich gehört hierzu auch eine Klinkermasse, die ein so rasches Brennen und Abkühlen gestattet, ohne daß Sprünge bzw. andere Fehler auftreten.

Für das Einbrennen von Muffelfarben werden kontinuierliche Tunnel-Muffelöfen benutzt, bei denen das Schmelzgut in Schmelzpfannen oder Schmelzkörben durch den Ofenkanal hindurchbewegt wird.

Stellt der Tunnelofen das typische Beispiel eines modernen kontinuierlich arbeitenden Brennofens für Steinzeug mit feststehender Brennzone und wanderndem Brenngut dar, so ist der Gaskammerofen der charakteristische Typ kontinuierlicher Öfen mit umgekehrter Arbeitsweise, also mit wandernder Brennzone und fest eingesetztem ruhenden Brenngut (siehe Bild S. 124).

Er besteht im allgemeinen aus 12 bis 30 Kammern, die in zwei parallelen Reihen ohne Zwischenraum der Einzelkammer nebeneinander liegen. Nach der grundsätzlichen Arbeitsweise eines Kammerofens befindet sich nur ein Teil des eingesetzten



**Brenngutes im Brande.** Ein Teil kühlt zur gleichen Zeit an anderer Stelle ab, weitere Kammern werden eingesetzt bzw. ausgetragen und der Rest wird vorgewärmt, wobei die Brennzone von Kammer zu Kammer fortschreitet. Auch bei diesen Öfen wird durch die bei der Abkühlung frei werdende Wärme die Verbrennungsluft für die Brennzone vorgewärmt und die heißen, aus der Brennzone kommenden Abgase werden zur Erwärmung des frisch eingesetzten, nicht im Brande befindlichen Gutes verwendet.

Beim Betrieb von Gaskammeröfen steht also meist nur eine Kammer, seltener auch mehrere im Vollfeuer unter Gas, das durch das geöffnete, entsprechende Ventil aus dem Hauptgaskanal zuströmt und sich vor Eintritt in die Kammer mit der vorgewärmten Verbrennungsluft mischt. Die Feuergase ziehen nach Durchstreichen des Brenngutes aus der im Brande befindlichen Kammer heraus in die folgenden, die mit ungebranntem Einsatzgut voll besetzt sind und geben an diese ihre Wärme zum größten Teil ab. Wenn die Temperatur der Abgase genügend gesunken ist, werden sie aus der entsprechenden Kammer durch den Rauchgassammelkanal in den Schornstein oder durch die künstliche Ventilation abgeführt. Die vorzuwärmende Verbrennungsluft strömt durch die offenen Türen der bereits gebrannten und abgekühlten, im Ausfahren begriffenen Kammern ein und von diesen aus durch immer heißer werdende bis zu der eigentlichen Brennkammer. Die Systeme solcher Gaskammeröfen gliedern sich in Öfen mit Sohlenfeuerung, bei denen Gas und Luft gemischt durch Öffnungen in der Sohle in die Kammern eintreten, und solche mit überschlagender Flamme, bei denen das Gas an einer Seite oder auch an den vier Ecken der Kammer eintritt und durch Schlitze in der Sohle abzieht. Außerdem gibt es auch Öfen mit undurchbrochener Kammersohle.

Zwischen den beiden Reihen von Kammern befindet sich in der ganzen Längsausdehnung des Ofens der Rauchgassammelkanal, der an jede einzelne Kammer angeschlossen werden kann.

Auch Gaskammeröfen besitzen eine vorzügliche Wärmeausnutzung. Sie haben jedoch gegenüber den Tunnelöfen den Nachteil, daß das Ofenmauerwerk abwechselnd abgekühlt und wieder angewärmt werden muß, womit nicht unerhebliche Wärmeverluste verbunden sind. Um die zur Erwärmung benötigten Wärmemengen zu begrenzen, werden die Ofenwandungen nicht allzu dick gebaut. Sie sind also nicht vollkommen isolierbar, so daß gewisse Strahlungsverluste unvermeidlich sind.

Bei freier Wahl zwischen Tunnelofen und Gaskammerofen wird daher stets der Tunnelofen bevorzugt, der mit vollem Recht als das vollkommenste und rationellste Brenninstrument der Steinzeugindustrie bezeichnet werden kann.

Außer den zur Zeit wenig eingeführten modernsten kontinuierlichen Brennöfen, dem Tunnel- und dem Gaskammerofen, sind in der Steinzeugindustrie vorwiegend

noch zahlreiche ältere Ausführungen von periodisch arbeitenden Öfen im Gebrauch, deren Anwendung in vielen Fällen eine durchaus begründete ist. Die Mannigfaltigkeit der bei Steinzeug vorkommenden Formen, die ganz verschiedene Stückgröße und Scherbendicke der Formlinge in Kombination mit der wechselnden Betriebsgröße setzen gelegentlich einem kontinuierlichen Brennbetrieb, mit dem notwendigerweise eine gewisse schematische und einheitliche Behandlung des ganzen Brenngutes zusammenhängt, Schwierigkeiten entgegen, die eine mehr individuelle Behandlung der Einzelstücke geraten erscheinen lassen.

Ein seit den Anfängen der Steinzeugindustrie gebräuchlicher und auch heute noch in kleinen Betrieben gelegentlich benutzter Brennofen ist der sogenannte Kasseler Ofen. Er besteht aus einer langgestreckten Kammer von rechteckigem Querschnitt, die von einer einzigen auf einer Schmalseite der Kammer befindlichen Feuerung beheizt wird. Die Feuergase durchstreichen das Brenngut in wagerechter Richtung und ziehen nach einem an der anderen Schmalseite des Ofens liegenden Schornstein ab.

Auch der Rundofen mit aufsteigender Flamme, der im wesentlichen nur einen von Feuergasen erfüllten Brandraum enthält, auf den unmittelbar zur Zugerzeugung ein kürzerer Schornstein aufgebaut ist, steht manchmal in Anwendung. Er wird durch eine größere Zahl von Feuerungen, die auf dem Umfang des Ofens in gleichmäßigen Abständen verteilt sind, beheizt und sowohl ein- wie mehretagig gebaut. Im letzten Falle ist auf den untersten Brennraum noch ein zweiter oder dritter aufgesetzt, welcher durch die von unten aufsteigenden Feuergase beheizt wird. Rationeller werden Rundöfen mit überschlagender bzw. niederschlagender Flamme gebaut, wobei die Heizgase aus den Feuerungen zunächst durch sogenannte Feuerwächter rings am Ofenmantel aufsteigen und dann gezwungen werden, nach der Ofensohle hin abzuströmen, wo sie durch zahlreiche kleinere Öffnungen, welche über die ganze Ofensohle verteilt sind, abgesaugt werden. Bei dieser Führung der Feuergase wird eine weit gleichmäßigere Durchwärmung des Brenngutes als bei den Öfen mit aufsteigender Flamme erzielt.

Analog diesen Rundöfen mit überschlagender Flamme arbeiten die für das Brennen von Steinzeug auch heute noch in großem Umfange verwendeten viereckigen Kammeröfen, bei denen die Feuerungen im allgemeinen an beiden Längsseiten des Ofens liegen (siehe Bild S. 128).

Periodisch betriebene Muffelöfen sind in der Steinzeugindustrie aus fabrikationstechnischen Gründen nur für nichtsaltglasierte Ware im Gebrauch, weil die Eigenart des Saltglasiervfahrens den unmittelbaren Zutritt der Feuergase zum Brenngut bedingt. Ihre Verwendung kommt daher im allgemeinen nur für Sonderfabrikationen

in Frage, die es in der Steinzeugindustrie in reichem Maße gibt. Bleiglasierte Steinzeugkunstkeramiken, aufglasurbemaltes Geschirr, weißes Steinzeug und andere Spezialitäten werden gewöhnlich im Muffelofen erzeugt.

Aus wärmetechnischen Gründen besteht das Bestreben, die intermittierend betriebenen Steinzeugöfen miteinander zu koppeln und so verbunden arbeiten zu lassen, daß die Abwärme des einen Ofens durch einen zweiten geschickt wird und hier zur Vorwärmung des Brenngutes dient. Im allgemeinen sind die organisatorischen Schwierigkeiten des Überganges zum kontinuierlichen Gaskammerofen aber so groß, daß diese Handhabung selten angetroffen wird.

Für den Aufbau sämtlicher keramischer Öfen wird geeignetes feuerfestes Material verwendet, das für die Zwecke der Steinzeugindustrie bei den hier benutzten relativ hohen Temperaturen selbstverständlich von bester Qualität sein muß. Trotzdem tritt bei Steinzeuggbrennöfen ein verhältnismäßig rascher Verschleiß der Innenmauerung, insbesondere der Ofengewölbe auf, weil diese bei dem Salzglasurverfahren sehr stark durch die Salzdämpfe und Spaltungsprodukte des Kochsalzes beansprucht werden. Daher werden vielfach sowohl feuerfeste Spezialqualitäten gewählt, als auch Sonderkonstruktionen gebaut, die diesen Nachteil weitgehend in den Hintergrund drängen. Erst in der allerletzten Zeit haben Versuche, die Oberfläche der Steine durch Schutzanstriche hochfeuerfester Stoffe zu verbessern, zu einem vollen Erfolg geführt.

Wichtig ist bei allen Brennöfen eine möglichst sorgfältige Isolierung des Ofenmauerwerks, bei Tunnelöfen insbesondere in der Scharfffeuerzone. Am zweckmäßigsten werden in die Ofenwandungen und Gewölbe Wärmeisolierschichten von Kieselgut oder Schlackenwolle eingeschaltet. Allerdings besitzt eine solche Isolierung den Nachteil, daß sie sehr dicke Wandstärken der Öfen und eine entsprechende hohe Wärmeaufnahme des Ofenmauerwerks selbst bedingt, so daß die Frage, ob eine Isolierung der Wände zweckmäßig ist, von den im Einzelfall vorliegenden Verhältnissen abhängt.

Die Beheizung von Steinzeuggbrennöfen erfolgt durch die verschiedenartigsten Brennstoffe. Je nach örtlicher Zweckmäßigkeit, Preis und technischen Bedingungen werden feste, flüssige oder gasförmige Brennstoffe benutzt. Entsprechend dem im Einzelfall wirtschaftlich am günstigsten zur Verfügung stehenden Brennstoff werden auch Anordnung und Ausbildung der Feuerungen bestimmt.

In sehr erheblichem Umfang wird als Brennstoff Steinkohle verwendet, und zwar bei den relativ großen Brennräumen von Steinzeugöfen langflammige, sogenannte Gasflammkohlen. Außerdem werden auch alle übrigen festen Brennstoffe, Holz, Braunkohlenbriketts und Rohbraunkohle verfeuert. Holzfeuerung ist

beispielsweise für kleine Brennöfen bei der Fabrikation von kunstgewerblichen Kannen und Krügen aus Steinzeug noch gelegentlich in Anwendung, aber sehr teuer. Wo Braunkohle frachtgünstig zur Verfügung steht, wird der größte Teil des Brandes mit Braunkohlenbriketts durchgeführt. Nur in gewissen Perioden, gegen Ende des Brandes und während der Nachfeuerperiode nach dem Salzen, dient Steinkohle als wünschenswerte Brennstoffergänzung und Aufbesserung.

Von den zur Verfügung stehenden bzw. regulär benutzten Brennstoffen ist die Art der Feuerung abhängig. Zur Anwendung gelangen gewöhnliche Plan-, Schräg- und Treppenroste. Die beiden letzteren werden häufig als Halbgasfeuerung betrieben, bei der also der eigentlichen Verbrennung eine Entgasung des Brennstoffs vorhergeht. Die entstehenden unverbrannten Gase werden erst im Ofen durch die zugeführte entsprechende Menge zweckmäßig vorgewärmter Sekundärluft verbrannt oder wirken reduzierend auf das Brenngut.

Die normalen Planroste, die für die Verbrennung stückiger Steinkohle und Braunkohle verwendet werden, bestehen in ihrer einfachsten Form aus einer Anzahl nebeneinander liegender Roststäbe von rechteckigem Querschnitt, deren Zwischenräume je nach Art der zur Verwendung kommenden Kohle 1 bis 4 cm weit sind. Die Größe der Rostfläche ist von der stündlich zu erzeugenden Wärmemenge abhängig. Ein großer Nachteil der Planrostfeuerung ist ihre periodische Beschickung, durch die ein dauernder Wechsel der Verbrennungsverhältnisse und der Wärmezufuhr zum Ofen bedingt wird. Durch abwechselnde Beschickung je der Hälfte der insgesamt vorhandenen Feuerungen sind solche Schwankungen bis zu einem gewissen Grade auszugleichen.

Bei Schrägrostfeuerungen erfolgt die Aufgabe des Brennstoffs durch einen in der Bewegungsrichtung des Brennstoffs, also nach dem Ofen zu geneigten Trichter. Da der eigentliche Rost in der gleichen Richtung geneigt ist, also eine Fortsetzung des Fülltrichters darstellt, geht die Rostbeschickung nahezu selbsttätig durch Herabrutschen des Brennstoffs vor sich. Dadurch ist das gleichzeitige Eintreten von kalter Außenluft während der Rostbeschickung bei Anwendung eines Abschlußschiebers so gut wie vollkommen ausgeschlossen. Um zu verhindern, daß von dem Schrägrost unverbranntes Gut unmittelbar in den Aschenfall hinabfällt, wird der eigentliche Rost durch einen kurzen, dahinter geschalteten Planrost abgeschlossen. Feinkörnige Kohlen werden auf Treppenrosten verfeuert, die aus treppenartig in Zwischenräumen untereinander liegenden Eisenplatten bestehen; die Aufgabe des Brennstoffs erfolgt auch hier durch geeignete Fülltrichter. Mechanische Rostbeschickungen für Brennöfen werden in der Steinzeugindustrie bisher nur in sehr geringem Umfang verwendet.



In wesentlich einfacherer Weise als feste Brennstoffe lassen sich flüssige Brennstoffe verfeuern; in der Steinzeugindustrie sind ölgefeuerte Öfen, insbesondere in Nordamerika, mit großem Erfolg im Gebrauch. Sie besitzen den schon erwähnten Vorzug der einfachen Brennstoffzuführung und vor allem sehr bequemen Regulierbarkeit der zur Einführung des Brennöls in das Ofeninnere verwendeten Düsen. Als Brennstoffe werden sogenanntes Heizöl, ein Destillationsprodukt, das bei der Braunkohlenschwelerei gewonnen wird, gelegentlich Rohpetroleum, insbesondere aber auch der bei der Destillation des Rohpetroleums verbleibende, Masut genannte, Rückstand verwendet.

Besondere Vorteile bietet, wie bei jedem keramischen Brennprozeß, die Beheizung der Öfen durch Brenngas, das meist in besonderen Generatoren erzeugt wird.

Die Frage der Gasbeheizung von Rund- und viereckigen Einzelöfen ist in Deutschland in den letzten Jahren in ausgiebiger Weise bearbeitet worden, jedoch hat sich die Einführung für periodisch betriebene Öfen im allgemeinen bisher nicht als zweckmäßig erwiesen. Daher stehen Gasfeuerungen in großem Umfang nur bei den Tunnelöfen und Gaskammeröfen im Gebrauch.

Der Wirkungsgrad der Brennöfen, d. h. das Verhältnis der für das Brennen der Erzeugnisse verbrauchten Nutzwärme zu der dem Ofen überhaupt zugeführten Wärme ist nach der erzeugten Qualität der Steinzeugware der wichtigste Punkt für die Beurteilung der Güte einer Ofenanlage vom wärmewirtschaftlichen Standpunkt aus. Die von dem Brenngut aufgenommene Nutzwärme wird zur Verdampfung des mechanisch gebundenen Wassers, soweit dieses nicht durch den Trockenprozeß bereits ausgetrieben worden ist, verbraucht. Ferner dient sie zum Erhitzen des Brenngutes auf die Garbrandtemperatur, außerdem für die physikalischen Lösungen und die chemischen Umwandlungen in den Rohstoffen. Um diese Nutzwärme zu erzielen, ist die Zuführung einer vielfach größeren Wärmemenge erforderlich; der größte Teil der aufgewendeten Wärme geht in verschiedener Form wieder verloren. Die hauptsächlichsten Wärmeverluste sind die Wandverluste, die dadurch entstehen, daß die Feuergase ihre Wärme nicht nur an das eingesetzte Brenngut, sondern auch an die Seitenwandungen und das Gewölbe des Ofens abgeben. Bei schlecht isoliertem Mauerwerk können sie bis zu 30% der aufgewendeten Wärme ausmachen. Besonders ins Gewicht fallen außerdem die Abgasverluste. Diese sind sowohl auf den Wärmeinhalt der aus dem Brennraum abziehenden Feuergase zurückzuführen, wie auf unvollkommene Verbrennung der Gase bei gegebenenfalls erforderlicher Aufrechterhaltung einer reduzierenden Atmosphäre.

Von großer Wichtigkeit für eine gute Ausnutzung des Brennstoffs in sämtlichen Steinzeugbrennöfen ist die richtige Regelung des Ofenzuges. Zu diesem Zwecke

werden entweder die Schornsteine richtig bemessen, oder es wird künstlicher Ventilatorzug geschaffen. Eine Verbesserung der Ausnutzung der Ofenwärme wird auch durch die Verwendung der Abhitze an anderer Stelle erzielt. Insbesondere erfolgt die Verwertung in Trockenanlagen, zu Heiz- und Trockenzwecken, sowie zur Dampferzeugung. Vor allem handelt es sich hierbei um die Ausnutzung der Abwärme aus den Öfen nach Beendigung des Brandes.

Schon beim Einsetzen der getrockneten Formlinge in die Öfen (siehe Bild S. 136) ist große Sorgfalt und große Kenntnis der lokalen Sonderbedingungen erforderlich, um die Möglichkeit örtlicher Überhitzung oder Schwachbrandes einzelner Stücke beim Brande auszuschließen. Die mit solchen stellenweisen Überhitzungen verbundene Erweichung des Scherbens ist die Veranlassung zu den gelegentlich vorkommenden Deformierungen, welche die Ware unbrauchbar machen.

Gewöhnlich werden Formlinge von verschiedenen Abmessungen und sehr mannigfaltiger Gestalt gleichzeitig in einem Ofen gebrannt. Daher wird schon bei der örtlichen Verteilung solcher verschiedenartiger Ware im Ofen beachtet, daß Stücke, die, um gar zu brennen, schärferes Feuer erhalten müssen, an die schärferen Stellen des Ofens kommen. Bei Öfen mit aufsteigender Flamme sind diese Stellen an der Sohle und in der Nähe der Feuerungen. Bei Öfen mit überschlagender Flamme wird im oberen Ofenteil eine höhere Temperatur erzielt als am Boden. Dies ist deshalb ein besonderer Vorteil der Ofenkonstruktion, weil die am meisten belasteten unteren Waren infolge der niedrigeren Endtemperatur eine größere Druckfestigkeit behalten.

Um einen günstigen Wirkungsgrad des Ofens zu erzielen, ist vor allem auch eine möglichst restlose Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Ofenraumes nötig, denn die aufzuwendende Wärmemenge ist nahezu dieselbe, gleichgültig, ob der Ofen nur halb oder ganz gefüllt ist. Jedoch ist das engere oder weitere Einsetzen der einzelnen Stücke in den Ofen wieder von der Art des zur Verfügung stehenden Brennstoffs abhängig; bei kurzflämmigen Brennstoffen erfolgt eine engere, bei langflämmigen Brennstoffen eine offenerere Einsatzweise. Um ein Zusammenbacken der einzelnen Stücke zu verhindern, wird eine unmittelbare Berührung derselben während des Brandes vermieden.

Das richtige Einbauen der Rohware in den Ofen bedingt eine große Erfahrung und Fertigkeit des Ausführenden. Ungleichmäßig, teilweise zu dicht und teilweise zu locker gesetzte Ware verhindert eine gleichmäßige Durchglühung des Ofenraumes und gute Verteilung der Wärme, die immer in erster Linie angestrebt wird, um einwandfreie Produkte zu erzeugen.

Besondere Rücksicht erfolgt beim Einbau auf die Brennschwindung. Daher werden die Stücke nicht unmittelbar auf die Sohle des Ofens, sondern auf einen durchbrochenen Sockel von Schamottesteinen gestellt, wobei häufig als Zwischenschicht ein Bums aus gleicher, ungebrannter Steinzeugmasse verwendet wird. Diese Zwischenschichten, Auflagen oder Ringe haben beim Brennen die vollkommen gleiche Schwindung wie die eigentliche Ware, so daß eine Zerrung der Stücke durch Hängenbleiben auf der Unterlage und Rißbildung nicht eintreten kann. Auch darauf, daß das Maß der Brennschwindung bei den einzelnen Steinzeugmassen nicht gleich ist, wird beim Einbau von Formlingen aus verschiedener Masse Rücksicht genommen.

Die Einbauweise für Steinzeug ist normalerweise der Anwendung der Salzglasur angepaßt. Soll dagegen eine der zahlreichen anderen Arten von Glasuren Anwendung finden, so werden kleinere Waren in Kapseln eingebaut, während größere Stücke im Muffelofen gebrannt oder in offenen Öfen muffelartig eingebaut werden, um sie vor Flugasche zu schützen.

Der Einbau von Klinkerformlingen in die Öfen ist wesentlich einfacher als der komplizierterer Stücke. Bei genügender Standfestigkeit des Materials im Feuer wird stets die freie Einsatzweise gewählt. Schicht wird auf Schicht gesetzt, wobei lediglich als unterste Schicht eine Reihe hochkantgestellter Schamottesteine benutzt wird. Um das Zusammenbacken der einzelnen Steine zu verhüten, wird zwischen die Schichten schwer schmelzbarer Quarzsand gestreut. Bei empfindlichen und Spezialklinkermassen dienen auch besondere Schamotteplatten als Hilfsmittel, auf welche die Steine aufgesetzt werden. Steinzeugfliesen werden meist stehend, seltener liegend, in Kapseln gebrannt. Bei dem freien Einbau ist der Wärmeverbrauch wesentlich niedriger, weil keine Wärme für die Erhitzung der Kapseln bzw. der Schamottehilfsmaterialien erforderlich und die Einsatzmöglichkeit im Ofen größer ist. Daher wird, wenn irgend möglich, diese Einsatzweise bevorzugt.

Sobald der Einzelofen bzw. die Einzelkammer des Gaskammerofens vollgesetzt ist, wird die Einsatztür mittels zweier Wände mit dazwischen liegender Luftisolierschicht verschlossen und mit feuerfestem Mörtel abgedichtet. Nur einige Schaulöcher werden ausgespart und durch herausnehmbare Stöpsel verschlossen; sie dienen zur ständigen Überwachung des Brennprozesses, zur Kontrolle durch Zugmesser, Temperaturmeßinstrumente, Gasanalysenapparate, und für die Entnahme von Ziehproben der Steinzeugmassen in den einzelnen Brennstadien und bei Beendigung des Brandes.

Eine genaue Überwachung jedes Ofenbrandes ist unbedingt erforderlich, damit die einzelnen Brennperioden innegehalten werden und eine technisch einwandfreie

und wirtschaftliche Führung des Brandes erreicht wird. Neben dem seit alters her geübten und auch heute noch mit Erfolg gebräuchlichen Probeziehen einzelner Stücke während des Brandes werden mehr oder weniger mechanische Ofenbetriebs-Kontrollvorrichtungen benutzt.

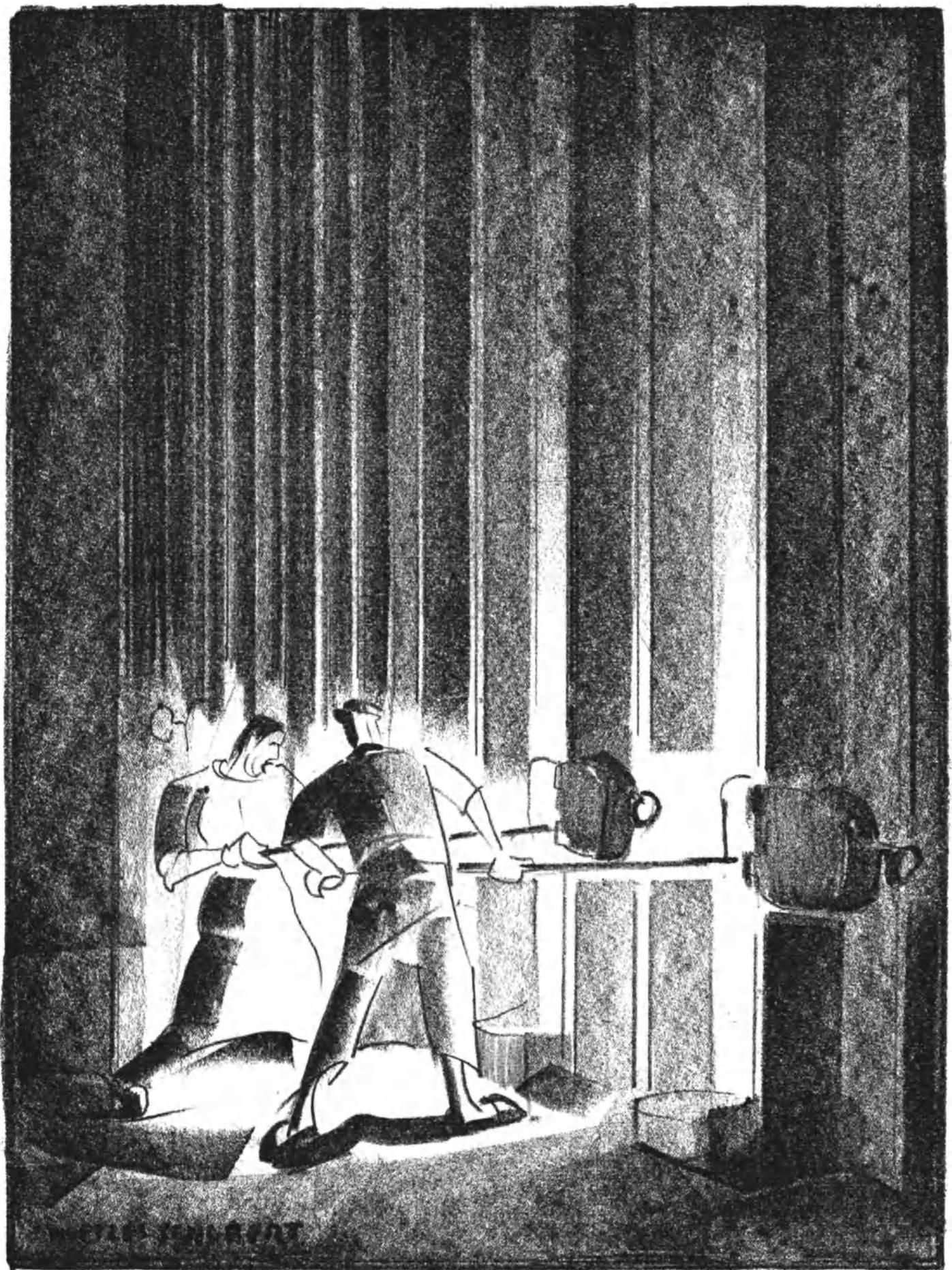
Die allgemein übliche und meistverbreitete Kontrolle des Brandes erfolgt unter Gebrauch von sogenannten Segerkegeln. Dies sind kleine, spitze Tetraeder, die aus reinem Ton unter Zusatz von Quarz, Feldspat, Marmor, Eisenoxyd, Borsäure und Bleioxyd in verschiedenen Mischungen zusammengesetzt werden.

Danach besteht eine Skala von 58 Segerkegeln von verschiedenen genau abgestuften Schmelz- bzw. Erweichungspunkten. Die Verwendung der Segerkegel erfolgt reihenweise durch Einsetzen in den Ofen auf Schamottestreifen und Beobachtung der verschiedenen nahe beieinanderliegenden Schmelzpunkte durch ein Schauloch. Der Schmelzpunkt eines Kegels gilt dann als erreicht, wenn seine Spitze sich bis zur Berührung der Unterlage gebogen hat. Ein besonderer Vorteil der Segerkegel ist die Abhängigkeit ihres Schmelzpunktes von zwei Faktoren: Temperatur und Zeit. Wie bei allen zusammengesetzten keramischen Massen hängt ihre Erweichung als Einleitung der Schmelzung nicht allein von der Höhe der Temperatur, sondern auch von der Dauer der Erwärmung ab. Da es sich hier um den genau gleichen Lösungsvorgang wie bei dem im Steinzeugscherben selbst handelt, zeigen die Segerkegel die Reaktionen in Masse und Glasur am anschaulichsten an.

Bei alleiniger Verwendung von Segerkegeln für die Temperaturkontrolle ist eine gewisse Unsicherheit vorhanden. Die Segerkegel zeigen wohl das Ansteigen, nicht aber ein etwaiges Sinken der Temperatur an. Da hierbei eine Selbstregistrierung nicht möglich ist und das Bestreben immer mehr Raum gewinnt, vollkommen mechanische Kontrollinstrumente zu besitzen, werden systematisch immer mehr und mehr Präzisionsmeßinstrumente benutzt.

Für die laufende Messung der Temperaturen werden zweckmäßig registrierend ausgebildete thermo-elektrische Pyrometer und Strahlungs-pyrometer verwendet, die es gestatten, die Temperatur des Ofens für jeden beliebigen Zeitpunkt während des Brandes abzulesen. Zur Messung von Temperaturen bis zu 1000°C dienen Thermo-elemente aus Nickel oder Nickelchrom. Für höhere Temperaturen werden Platin-elemente verwendet, denen vielfach Strahlungs-pyrometer vorgezogen werden.

Die Thermo-elemente werden stets durch Schutzrohre vor den Angriffen durch die Ofengase geschützt; ihre Einführung erfolgt durch die Wand in den Ofen, bis die Lötstelle des Elements sich in einer Tiefe von etwa 20 cm innerhalb des Ofens befindet. Die Schutzröhren bestehen zweckmäßig aus geschmolzenem Quarz, der gegen die stärksten Temperaturschwankungen widerstandsfähig ist.



WILLIAM MORRIS

Strahlungs-pyrometer kommen mit dem heißen Ofeninnern nicht in Berührung und haben daher für Dauermessungen gewisse Vorteile vor thermo-elektrischen Pyrometern. Sie besitzen ein Thermo-element, auf dessen Lötstelle die von dem glühenden Körper ausgehende Gesamtstrahlung durch eine Objektivlinse konzentriert wird. Hierbei wird der durch die Erwärmung der Lötstelle des Thermo-elements entstehende Strom gemessen.

Außer der Temperaturmessung erfolgt die Messung des Zuges im Ofen, von welchem der Kohlenverbrauch in hohem Maße abhängig ist. Gehen die Brenngase zu schnell durch den Ofen, so sind sie nicht in der Lage, ihre Wärme in vollem Umfang an das Brenngut abzugeben und verlassen den Ofen mit einer zu hohen Temperatur. Verbleiben dagegen die Gase länger im Ofen als für die weitmöglichste Abgabe ihres Wärmeinhalts an das Einsatzgut erforderlich ist, so tritt eine unliebsame Verlängerung der Brenndauer ein, die ebenfalls mit Verlusten durch Wärmestrahlung verbunden ist. Durch genaue Überwachung des Zuges läßt sich der Brennstoffbedarf der einzelnen Brände beim gleichen Ofen ziemlich konstant einstellen.

Ein ferneres Hilfsmittel zur Überwachung des Brandes ist die laufende Feststellung des Kohlensäure- bzw. Kohlenoxydgehalts der Brenngase. Auch diese Kontrollen des Ofenbetriebes erfolgen mit mechanischen Instrumenten und selbstregistrierend.

Für gasgefeuerte Öfen werden auch automatische Gasdruckregler benutzt. Sie verhindern eine Übertragung der Druckschwankungen in den Gasleitungen auf den Ofenbetrieb und werden unmittelbar vom Gasdruck in der Rohrleitung gesteuert.

Eine Erscheinung, die mit dem Salzglasierverfahren zwangsweise verknüpft ist, sind die Glasurtropfen, die sich während des Salzens am Ofenmauerwerk, insbesondere am Gewölbe bilden, von dort auf den Einsatz herabtropfen und hier Schönheitsfehler ergeben. Irgend eine qualitative Beeinträchtigung erfährt die Ware hierdurch nicht, da ausschließlich technische Steinzeugwaren in dieser Weise erzeugt werden und hierbei rein sachliche Momente der industriellen Brauchbarkeit entscheidend sind. Auch dieser Fehler wird in der allerletzten Zeit durch geeignete Schutzanstriche der Ofengewölbe wesentlich eingeschränkt.

Nach entsprechender Abkühlung der Öfen erfolgt das Aussetzen. Die Steinzeugware wird, falls sie einer weiteren Bearbeitung nicht mehr unterzogen werden soll, sortiert, auf das Lager gefahren oder zum Versand gebracht (siehe Bild S. 148); Stücke, die noch weiter zu bearbeiten sind, wandern zur Schleiferei.

# DIE BEARBEITUNG

Die gewünschten Abmessungen des fertiggebrannten Stückes werden schon ziemlich genau durch die Formgebungsmethoden erreicht. Aber auch die sorgfältigste Berücksichtigung der Trocken- und Brennschwindung liefert nicht eine Fertigware mit der Präcision, die vielfach erforderlich ist. Das Steinzeug hat sich in den letzten Jahrzehnten eine Reihe von neuen Anwendungsgebieten erobert, bei denen an das fertige Werkstück in bezug auf Genauigkeit der Abmessungen die gleichen weitgehenden Anforderungen gestellt werden, wie an aus Metall erzeugten Gegenständen. In diesen und zahlreichen anderen Fällen wird eine nachträgliche Bearbeitung des Werkstoffs erforderlich. Das fertiggebrannte Stück hat oft von den verlangten etwas abweichende Abmessungen. Diese Schliffzugabe dient, um einmal mit Sicherheit auch die kleinsten bei der Herstellung vielleicht auftretenden Maßdifferenzen ausgleichen zu können, andererseits aber auch, um durch verschiedenartige nachträgliche Bearbeitung aus dem gleichen Formstück wechselnde Fertigfabrikate zu erzeugen.

Die bei Metall übliche spanabhebende Bearbeitung mittels Drehstahls, Bohrers und anderer schneidender Werkzeuge ist für Steinzeug ungeeignet. Seinem Gefüge sind heute selbst die härtesten Spezialstähle nicht gewachsen. Bei der Metallbearbeitung ist das Werkzeug wie der Werkstoff vermöge seiner großen Masse und seiner guten Wärmeleitung in der Lage, die bei der Spanabnahme entstehenden, nicht unbeträchtlichen Wärmemengen selbst abzuführen. Bei der Bearbeitung von Steinzeug mittels Drehstahls liegen die Verhältnisse völlig umgekehrt. Das geringe Wärmeleitvermögen des bearbeiteten Werkstoffs bedingt eine Anstauung der auftretenden Wärmemengen an der Arbeitsstelle. Der Stahl allein ist nicht in der Lage, diese Wärmemengen schnell genug von seiner schmalen Spitze abzuleiten. Sie glüht infolgedessen aus, und Härte und Schneidefähigkeit gehen selbst dann verloren, wenn es sich um den vorzüglichsten Spezialstahl handelt. Die spanabhebenden Arbeitsmethoden der Metall-, Holzindustrie usw., das Drehen, Fräsen und Bohren, versagen zurzeit beim Steinzeug.

Andere, ursprünglich ebenfalls aus der Metallindustrie übernommene Methoden sind jedoch bei Steinzeug ohne weiteres mit vollem Erfolg anwendbar. Selbstverständlich wurden sie dem Werkstoff entsprechend angepaßt. Mit dem Meißel läßt sich das Steinzeug im Gegensatz zu den anderen dichten keramischen Massen sehr gut bearbeiten. Voraussetzung hierfür ist nur neben einer gewissen Handfertigkeit, daß die Meißelschneide sehr scharf ist. Der Scherben muß unter dem

kurzen Schlag eines leichten Hammers möglichst an der Ansatzstelle des Meißels abspringen. Im allgemeinen werden nicht sehr große Stücke auf einmal abgeschlagen, da sonst die Gleichmäßigkeit der Bearbeitungsfläche zu wünschen übrig läßt. Das Abmeißeln von Steinzeug oder das Ausmeißeln von Löchern in der Wand eines Steinzeuggefäßes ist daher eine Arbeit, die viel Geduld und eine leichte Hand erfordert. Trotzdem wird diese Bearbeitungsmethode noch aushilfsweise ausgeübt, weil sie für besondere Zwecke unübertroffen ist; sie wird dann durch Schleifen ergänzt.

Schleifen ist die vorteilhafteste und bisher einzig wirtschaftlich mögliche Bearbeitungsmethode für Steinzeug in industriellem Maßstab.

Stellt das grundlegende Arbeitsverfahren der Keramik, die Formgebung, die erste Art von gewerblicher Betätigung des Urzeitmenschen überhaupt dar, so ist das Schleifen, wie die Funde aus der Steinzeit beweisen, die älteste, ebenfalls aus den Uranfängen menschlicher Kulturentwicklung stammende Art der Bearbeitung. Der Mensch der Steinzeit schloß seine Waffen, Beile, Speerspitzen und Messer in der flachen Höhlung eines Steines. Dieser stellte sozusagen das Aufnahmegefäß dar, in welches der Steinsplitter, welcher mit der Schneide versehen werden sollte, hineingelegt wurde. Das Ganze wurde nun auf einem großen flachen Steine, dessen krystallin-körniges Gefüge gute Schleifwirkung versprach, in reibende Bewegung versetzt. Noch heute wird bei Rutschern, Abziehsteinen und Schleifsteinen diese uralte Technik benutzt. Als Material werden Naturgesteine, wie Sandstein, Naxosstein, Arkansasstein und neuerdings künstliche Rutscher und Abziehsteine verwendet. Neben festen Steinen dient Sand als Schleifmittel in loser Form, dessen Schleifwirkung sich mit zunehmendem Gehalt an scharfen Quarzkrystallen steigert. Auch natürlicher Schmirgel und die künstlich erzeugten Schleifmittel Korund und Siliciumcarbid werden in körnigem, ungebundenem Zustande als Schleifwerkstoff benutzt.

Die Bearbeitung mit losen Schleifmitteln gelangte zuerst zu wirtschaftlicher Bedeutung, als Wasserkraft zum Antrieb von Schleifrädern Verwendung fand. Noch heute werden auf diese Weise Platten geschliffen. Sie sind auf den Boden des Schleifraumes festgelegt und werden mit einem großen darüber rotierenden Schleifrad, an welchem Rutschersteine befestigt sind, bearbeitet. Zwischen Rad und Platten wird Schleifsand, seltener der teure Schmirgel zur Erhöhung der Schleifwirkung eingeführt. Hierbei hat die Erfahrung gelehrt, daß manche Schleifmittel trocken und andere wieder mit Wasserzusatz griffiger sind. Die primitiven Schleifapparate sind sowohl die Vorläufer der noch heute gebräuchlichen Spiegelglas-schleifmaschinen, als auch der sogenannten „Sandschleifscheibe“. Wird der mit

einem Speichenkegel von oben angetriebene Rutscherkranz einer solchen Schleifmaschine durch eine ebene, kreisrunde, nunmehr von unten angetriebene Steinplatte oder Eisenscheibe ersetzt, so ist der Schleifteller oder die „Sandscheibe“, die ursprüngliche Flächenschleifmaschine der Steinzeugindustrie, entstanden. Als Schleifmittel dient auch bei dieser vornehmlich Sand; je nach dem Gebrauchszweck und den Eigenschaften der Steinzeugsorte wird hier naß oder trocken gearbeitet.

Das nötigenfalls belastete Werkstück wird auf einer rotierenden Scheibe mit der plan zu schleifenden Fläche unter ständigem Drehen hin und her bewegt, wobei der Schleifer auf einen gleichmäßigen Zufluß des aus einem Behälter zugeführten oder von Hand aufgegebenen Schleifsandes achtet. Hiervon hängt die Gleichmäßigkeit des Planschliffs ab. Mangel an Schleifsand würde schnell zum Vibrieren und Zerreißen des Werkstücks führen. Die ursprüngliche „Sandscheibe“ hat sich bis heute trotz technischer Überholung gegen die Konkurrenz der modernsten Flächenschleifmaschinen (siehe Bild S. 144) noch stellenweise erhalten können, da sie es ermöglicht, große und komplizierte Werkstücke ohne eine besondere Aufspannung plan zu schleifen. Bei Einzelbearbeitung komplizierter, oft sehr unhandlicher Fabrikate ist in vielen Fällen der Planschliff auf der „Sandscheibe“ bereits ausgeführt, bevor auf einer modernen Flächenschleifmaschine das Aufspannen und Ausrichten mühsam vollzogen ist.

Wie dieses alte Überbleibsel aus vergangener Zeit, das noch immer treue Dienste leistet, ist auch der Vorläufer der rotierenden Schleifscheibe, auf welche sich die ganze moderne Schleiftechnik aufbaut, der runde, von Hand gedrehte Sandstein schon viele Jahrhunderte alt. Schon die ersten geschliffenen metallenen Schwert- und Lanzenspitzen wurden in dieser Weise bearbeitet. Der Übergang vom Handbetrieb zur Verwendung der Treibkraft des Wassers führte stellenweise zur Benutzung recht ansehnlicher Schleifsteine. Manche solche „Schleife“ mit Steinen von 2 bis 3 m Durchmesser ist noch heute in den Schleifkotten im Wuppertal im Betrieb. So veraltet heute derartige Werkstätten anmuten, so vorzüglich waren trotzdem die in diesen bei der Bearbeitung erzielten Ergebnisse, die ziemlich das Beste darstellen, was sich mit den von der Natur gelieferten Schleifsteinen herausholen läßt. Die natürliche Grenze war an der Stelle erreicht, wo die geringe Festigkeit der Steine und ihre schwere, primitive Lagerung eine Steigerung der Drehzahl verbot.

Die moderne Entwicklung der Schleiftechnik begann mit dem Ersatz der natürlichen Schleifmittel durch künstliche, welche auf Grund ihrer größeren Reinheit und Härte, sowie der griffigeren Körnung wesentlich erhöhte Schleifleistungen ermöglichten. Die beiden bekanntesten und wichtigsten künstlichen

Schleifmittel sind zurzeit Elektrokorund und Siliciumcarbid. Beide werden entweder in körniger Form als Schleifmittel oder in Schleifscheiben gebunden benutzt.

Das lose Siliciumcarbidkorn wird besonders zum Bohren von Löchern verwendet. Eine mit 300 bis 600 Umdrehungen rotierende, biegsame Welle trägt einen Hohlzylinder aus Eisenblech als Bohrhülse, welche unter ständigem Zugeben von Siliciumcarbidschlamm das Bohrloch ausarbeitet. Auch das Ausbohren von konischen Vertiefungen, Hahngehäusen, ferner das Planschleifen von Ventilsitzen und Deckelabdichtungen, wird zum Teil noch heute auf diese Weise gehandhabt.

Es ist zweckmäßig, bei dem Schleifverfahren mit sehr grobem Korn zu beginnen. Schrittweise erfolgt der Übergang zu immer feineren Körnungen, bis schließlich mit fein geschlämmtem Pulver Glatt- und Dichtschliff erzielt wird. Das Anwendungsgebiet des Schleifverfahrens in allen seinen wechselnden Formen ist jedoch begrenzt. Es tritt immer stärker zurück gegenüber der Arbeitsmethode mit gebundenen Schleifscheiben aus künstlich hergestellten Hartmaterialien, vor allem Siliciumcarbid. Erst diese ermöglichen ein rationelles Schleifen auf modernen Werkzeugmaschinen im industriellen Betrieb.

Die Herstellung von Schleifscheiben erfolgt auf dreierlei Weise. Es gibt Scheiben mit mineralischer, vegetabilischer und keramischer Bindung, deren jede für bestimmte Arten der Verwendung geeignet ist. Die mineralische oder Silicatbindung verträgt keinen Naßschliff. So hergestellte Scheiben nutzen sich schnell ab und besitzen geringe Festigkeit. Daher lassen sie nur Umfangsgeschwindigkeiten bis höchstens 20 m/sec zu. Dagegen sind sie dem Steinzeug gegenüber äußerst griffig. Die Scheibe mit vegetabilischer Bindung ist für verschiedene Spezialzwecke, besonders Glattschliff und Gewindeschneiden, vorzüglich geeignet und gestattet die Anwendung von sehr hohen Schliffgeschwindigkeiten bis zu 40 m/sec.

Am meisten werden jedoch für Steinzeugschliff keramisch gebundene Scheiben benutzt. Je nach Werkstückform und -größe, je nach dem anzuwendenden Schleifverfahren (Rund-, Innen- oder Flächenschliff) und je nach dem gewünschten Schliff (Grob-, Schicht- oder Polierschliff) finden keramisch gebundene Siliciumcarbidscheiben in den verschiedensten Formen (als Stirn-, Zylinder-, Kopf-, Segmentscheiben) in wechselnden Körnungen und Härten erfolgreiche Verwendung. Der Begriff Härte bezieht sich nicht auf das Siliciumcarbidkorn, welche zwischen der des Korunds und des Diamanten bei Ziffer 9,5 der Mohsschen Skala liegt, sondern auf die Härte der Gesamtscheibe. Hierunter wird eine Summe von Eigenschaften verstanden: sowohl die Festigkeit der Bindung, als auch die Art der Einordnung der Körner in dieselbe, die sich durch den Widerstand kenntlich macht, den das einzelne

Korn verursacht, um aus der Bindung gerissen zu werden. Die Spanleistung künstlicher Schleifscheiben ist die zwanzigfache im Vergleich zu den älteren Arbeitsverfahren.

Das Schleifen von Steinzeug unterscheidet sich grundsätzlich vom Metallschleifen. Während bei der Metallbearbeitung das Schleifen die letzte Bearbeitungsstufe zu sein pflegt und es sich hier nur um Abnahme von einigen Zehnteln, oft nur Hundertsteln von Millimetern an schon vorgedrehten oder vorgefrästen Werkstücken handelt, erfolgt beim Steinzeug die gesamte Bearbeitung zumeist ausschließlich durch Schleifen. Zum Beispiel arbeitet an einem Steinzeugpumpenkolben bereits die Schleifscheibe an dem nicht zentrisch laufenden, vielleicht vom Brande etwas verzogenen, zylindrischen Körper im Schruppschliff, während bei Metall selbstverständlich der Drehstahl am Platze wäre. Daher werden in Steinzeugschleifereien Drehbänke, welche auf ihrem Support statt des Drehstahls den Schleifmotor tragen, mit Erfolg benutzt, obwohl die für Grobschliff verwendeten Schleifmaschinen sehr strapaziert werden. Der Naßschliff hat zwar den Vorteil der Kühlung für Scheibe und Werkstück, aber trotzdem wird in der Steinzeugschleiferei doch der Trockenschliff sehr vielfach bevorzugt, der bei geeigneter Scheibenauswahl eine größere Spanabnahme ermöglicht. Hierbei wird der Schleifstaub durch Absauganlagen unschädlich gemacht. Für die vielseitigen Bearbeitungsmöglichkeiten des Materials sind moderne Steinzeugschleifereien mit den verschiedenartigsten Maschinen ausgestattet. Vor allem werden die mannigfachen Typen in solche für vorbereitenden Grob- und solche für vollendenden Präzisionsschliff getrennt. Je nachdem, ob es sich um Grob- oder um Feinschliff handelt, werden die Schleifscheiben ihren wechselnden Zwecken entsprechend verschieden abgerichtet. Beim Grobschliff wird mit einer scharfrandig abgerichteten Scheibe gearbeitet, so daß zwischen Scheibenprofil und dem Querschnitt eines Drehstahls für Metallbearbeitung tatsächlich eine gewisse Ähnlichkeit besteht, während die Scheibe für den Feinschliff nach den Methoden des Metallschleifens mehr stumpfrandig abgerichtet wird. Zum groben Abrichten dienen mehrere in einem gemeinsamen Bügel gefaßte, stumpfgezahnte Stahlrädchen oder kleine Siliciumcarbidscheiben größter Härte. Zum Abrichten der Scheibe vor Beginn des Präzisionsschliffs ist der Diamant vorläufig unentbehrlich. Steinzeugpräzisions- und Metallschleiferei verfolgen das gleiche Ziel. In beiden Fällen handelt es sich um genaueste Paßarbeit und um eine derartig geringe Spanabnahme, daß die modernen Maschinen mit Schaltmechanismen eingerichtet sind, welche Beistellung von 2- bis 2 $\frac{1}{2}$  tausendstel Millimetern zulassen. Die vollkommenste Glätte des Schliffes erzielen Maschinen mit hydraulischem Vorschub. Die Schleifleistung moderner Schleifmaschinen ist so hoch gesteigert,

daß die eigentliche Schleifzeit nur einen kleinen Bruchteil der Gesamtbearbeitungszeit ausmacht und das Einrichten und Aufspannen die längste Zeit für sich in Anspruch nehmen. Infolgedessen ist es besonders wichtig, die rein manuelle Arbeit, besonders das Aufspannen des Werkstücks, durch geeignete Vorrichtungen soweit als möglich zu verkürzen. Da Werkstücke aus Steinzeug nicht jede beliebige Spannbeanspruchung vertragen und fernerhin ein so bequemes Spannen auf magnetischem Futter, wie bei Eisen und Stahl nicht möglich ist, so ist die Konstruktion geeigneter Spannvorrichtungen sehr viel schwieriger als für die Metallbearbeitung.

Ganz besonders erschwerend wirken für die Schaffung schnell arbeitender Spannvorrichtungen für Werkstücke aus Steinzeug die Unterschiede in den Abmessungen, die immer noch größer sind, als sie bei Erzeugnissen der Metallindustrie regulär in Frage kommen. Daher wird eine wirtschaftliche Ausnutzung der teuren Maschinen erschwert. Es gibt für die Steinzeugbearbeitung vorzüglich durchkonstruierte, aber entsprechend teure Maschinen, welche Spanabnahmen von 5 mm und mehr in einem Schnitt bei trotzdem glatter Schliiff-Fläche und damit das Zwanzigfache der alten Sandscheibe leisten (siehe Bild S. 144).

Auch auf allen Gebieten der Steinzeugbearbeitung wird ständig erstrebt, die Handarbeit durch die maschinelle zu ersetzen. Besonders gut gelungen ist dies beim Schleifen von Steinzeughähnen unter Verwendung moderner, halb automatisch arbeitender Maschinen. Welche hohen Anforderungen hierbei an die genaueste Passungsarbeit gestellt werden, ist daraus zu erkennen, daß schon die geringste, kaum meßbare Abweichung der konischen Steigung beider Paßstücke eine außerordentliche Verlängerung des letzten Arbeitsganges, des Ineinanderschleifens von Kükens und Gehäuse, bedingt.

Bei den früheren primitiven Verfahren des Hahnschleifens reihen sich folgende Arbeitsgänge aneinander: Abschleifen des Kükens auf der Rundschleifmaschine, Ausschleifen des Gehäuses mittels konischer Eisenblechhülse unter ständigem Zugeben von Siliciumcarbidschlamm und darauf Einschleifen des Kükens in das Gehäuse mit dem gleichen Schleifmittel. Bei fortwährendem Schleifen wird zu immer feineren Körnungen übergegangen und der Dichtschiiff mit unfehlbar feinem Siliciumcarbid in Wasser beendet. Die Prüfung eines auf solche Art geschliffenen Hahnes muß Dichtigkeit gegen 2 bis 4 Atmosphären Preßluft unter Wasserabschluß ergeben.

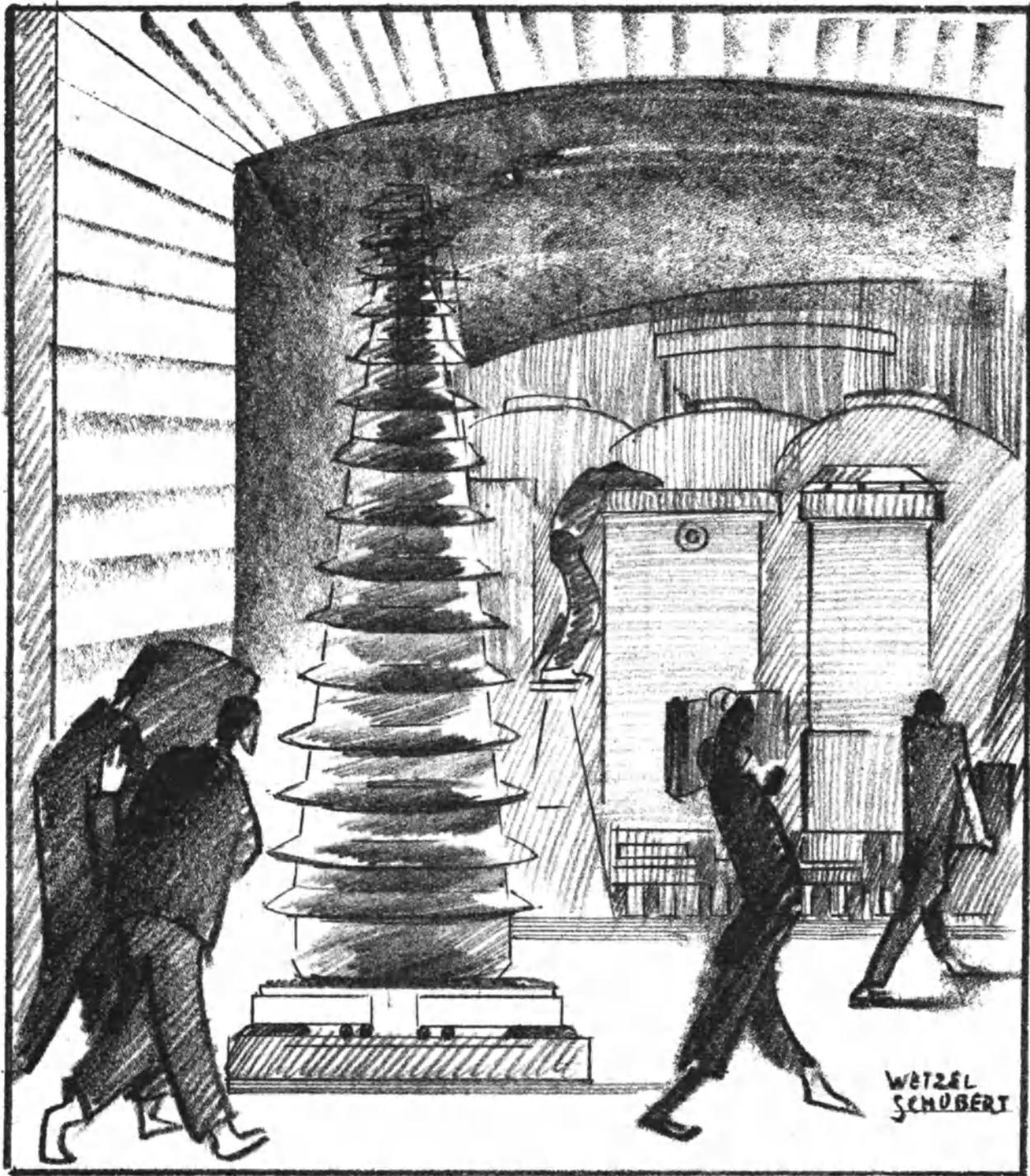
Das moderne Hahnschleifen findet nahezu ausschließlich auf Maschinen statt. Das Kükens wird auf Rundschleifmaschinen (siehe Bild S. 152) geschruppt und auf Präzisionsrundschleifmaschinen auf genaueste Steigung glatt geschliffen. Das Gehäuse wird gleichfalls einem Grob- und darauf einem feinen Innenschliiff mit

gleicher Steigung unterzogen. Das Dichtschleifen beider Teile von Hand erfordert nunmehr nur noch ganz kurze Zeit.

Im Laufe der Jahre hat sich die Nachfrage nach Präzisionserzeugnissen aus Steinzeug, welche eine genaue Schleifbearbeitung erfordern, immer mehr gesteigert. Nicht nur, daß Hähne und Druckrohre aller Dimensionen an ihren Dichtungsflächen geschliffen werden müssen, auch bei sehr großen Armaturen werden heute Schriffe verlangt. Einzelteile von Reaktionstürmen, welche früher ausschließlich mit Muffe und Kittfuge hergestellt wurden, müssen nun zum Teil aufeinander vollkommen gasdicht eingeschliffen werden. Für derartige Schleifarbeiten sind Maschinen größter Dimensionen erforderlich. Auch die Steinzeugisolatoren bis zu den größten Abmessungen verlangen am Kopf- und Fußende eine Bearbeitung, welche bei der schwierigen Handhabung dieser Riesenwerkstücke und bei der Dichte und Härte des Materials an die Schleiferei die größten Anforderungen stellt.

Der Bau von Steinzeugmaschinen ist ohne die Schleifscheibe undenkbar. Mit den steigenden Anforderungen an diese Maschinen wurden immer präziser arbeitende Schleifvorrichtungen erforderlich, und um so größere Sorgfalt muß auf diese und die Montage verwendet werden.

Wenn schon das Schleifen von einzelnen Teilen für Steinzeugmaschinen manche Mühe bereitet, so bedingt die hierbei vorkommende Vereinigung grundverschiedener Werkstoffe, des Steinzeugs mit Eisen oder anderen Metallen zu einer einheitlichen Maschine weitere Schwierigkeiten. Sie bestehen unter anderem in der sehr verschiedenen Größe des Ausdehnungskoeffizienten von Steinzeug und Metall. Beispielsweise ist die Wärmedehnung von Eisen etwa viermal so groß wie von Steinzeug. Ferner haben beide Werkstoffgruppen völlig andere Festigkeitseigenschaften, die es erschweren, Steinzeug so fest und sicher mit Metall zu verbinden, daß unter dem Einfluß von Temperaturschwankungen keine Lockerung der Verbindung und bei mechanischen Beanspruchungen keinerlei Zerstörungen des Steinzeugs auftreten. Die Konstruktionen aller Steinzeugapparate und -maschinen werden unter dem Gesichtspunkt durchgeführt, die guten Festigkeitseigenschaften, welche das Steinzeug gegen Druckbeanspruchung besitzt, weitgehend auszunutzen, dagegen die „Zug- und zusammengesetzten Beanspruchungen“ möglichst zu vermeiden.



# DIE PHYSIKALISCHEN UND CHEMISCHEN EIGENSCHAFTEN

Die chemische Widerstandsfähigkeit von Steinzeug ist von alters her berühmt. Sie hat diesem Werkstoff seine großen Anwendungsgebiete in der chemischen und säureverarbeitenden Industrie, für Kanalisationszwecke und andere erworben. Hierfür genügte die bisherige, schon zu altrömischer Zeit erreichte mechanische Festigkeit. Die Entwicklung der modernen chemischen Industrie und die ungeheure Verbreitung von Chemikalien verarbeitenden Betrieben, die Wandlungen der hygienischen Ansprüche im Städtebau und die Neugestaltung der Elektrotechnik in den allerletzten Jahrzehnten schufen neue gesteigerte Ansprüche an alle Werkstoffe. Früher ungeahnte Anforderungen werden jetzt an das Steinzeug als Bau- und Konstruktionsmaterial für säurefeste Gefäße, Geräte, Apparate und Maschinen, für Abwässerrohrleitungen, für Höchstspannungsisolatoren gestellt. Diese gesteigerten Materialansprüche zwangen die Steinzeugindustrie zu Verbesserungen und zur Eigenentwicklung. Der Messung der Fortschritte dienen die Untersuchungsmethoden zur Bestimmung der chemischen und physikalischen Eigenschaften. Vielfach handelt es sich noch nicht um absolute Ziffern, sondern nur um relative Vergleiche. Auch diese sind notwendig und häufig wertvoller als manche absolute Zahl. Die Beobachtung des Arbeitsweges und des erreichten Meilensteines dient dann der Weiterverfolgung dieser Straße zur wirklichen Erreichung des Endzieles, der völligen Befriedigung der Anforderungen der Steinzeugverbraucher.

Viel ist in bezug auf Steigerung der Steinzeugqualität im letzten Jahrzehnt geschaffen worden; noch mehr Probleme stehen bevor und harren der Lösung durch Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie. Das moderne Prüfungswesen für Baustoffe wurde den Bedürfnissen der keramischen Massen angepaßt, und so entstanden Untersuchungsmethoden auf streng wissenschaftlicher Grundlage. Sie veranschaulichen in einem zuverlässigen Bilde die Materialeigenschaften der verschiedenen Steinzeugsorten und gestatten einen Vergleich mit anderen Werkstoffen. Die einfache Prüfungsmethode vergangener Zeit, am mehr oder weniger hellen Klang des Steinzeugscherbens seine Güte festzustellen, ist vorüber. Es kann aber nicht abgestritten werden, daß auch dieses Merkmal vielfach noch heute seine Berechtigung besitzt; nur arbeiten die modernen Prüfungsmethoden hauptsächlich mit den feinsten Meßinstrumenten. Der Apparatebauer und Maschinenkonstrukteur muß heute genau die Festigkeitsgrenzen und Sicherheitsfaktoren des Steinzeugs

wissen, um aus dem Material das Beste herausholen zu können und die Grenzen der absoluten Sicherheit doch nicht zu überschreiten.

Schon bei der grundlegenden Materialeigenschaft des Steinzeugs, seiner Dichte, läßt sich der etappenweise Fortschritt im Prüfungswesen deutlich erkennen. Ursprünglich war das Aussehen des Scherbens für die Gütebeurteilung der Masse allein ausschlaggebend. Sah der Scherbenbruch gleichmäßig hart und gesintert aus, ohne Risse zu zeigen, so ließ sich auf gute Dichtigkeit schließen. Dann wurde festgestellt, ob ein Tropfen Flüssigkeit von der Bruchstelle mehr oder weniger schnell oder überhaupt nicht aufgesaugt wurde. Auch heute wird diese erste Voruntersuchung oft ausgeführt, weil sie sehr leicht überall vorgenommen werden kann. Sie wird ergänzt durch die Porositätsbestimmung des Scherbens. Hierfür wird die Gewichtszunahme durch die in den Scherben eingedrungene Flüssigkeit festgestellt und auf das vorher gemessene Trockengewicht bezogen. Diese Ziffer der scheinbaren Porosität ist dann maßgebend geblieben für die Beurteilung der Dichte des Scherbens bis in die heutige Zeit. Sie wird ergänzt durch die Bestimmung des absoluten Porenraumes, der aus der Messung des spezifischen Gewichts des Materialpulvers und der Ermittlung des Raumgewichts des stückigen Materials errechnet wird. Daneben dient auch noch eine Einrichtung für Spezialzwecke, die es gestattet, Aufsaugversuche nach genau vorgeschriebenen Prüfungsbedingungen unter Drucken bis zu 200 Atmosphären auszuführen.

Bei der Feststellung des absoluten Porenraumes werden Raumgewicht und spezifisches Gewicht nach den üblichen Methoden ermittelt. Nicht selten ergibt sich hierbei eine erhebliche Differenz zwischen scheinbarer und wirklicher Porosität. Im Gefüge eines Scherbens befinden sich häufig bei allen dichten keramischen Massen (Steinzeug, Porzellan und Steatit) vollkommen geschlossene kleinste Hohlräume. Bei der Bestimmung der scheinbaren Porosität durch Wasseraufnahme vermag die Flüssigkeit in die allseitig von verglastem Material umgebenen Poren nicht einzudringen, so daß die scheinbare Porositätsziffer stets niedriger ist als die wirkliche. Vollkommen unhygroskopische Steinzeug-, Porzellan- und Steatitmassen weisen daher als scheinbare Porositätsziffer Null auf, während ihr wirklicher Porenraum gleichmäßig einige Prozent beträgt.

Festigkeitsprüfungen auf Druck werden nach dem auch bei anderen Baustoffen üblichen Verfahren durchgeführt. Kleine massive Probezylinder werden bis zum Springen in der Druckpresse belastet. Grobsteinzeug pflegt hierbei eine Druckfestigkeit von über 800 kg/qcm zu haben. Sie erreicht jedoch bei gutem Spezialsteinzeug 6000 bis 8000 kg/qcm, entspricht also vollkommen der Druckfestigkeit von grauem Gußeisen, dem es auch sonst in seinem Verhalten vielfach ähnlich ist.

Zweifellos besteht die Möglichkeit, die Druckfestigkeit von Steinzeug noch wesentlich zu steigern, wenn das Bedürfnis der Verbraucher dies erfordert.

Bei allen keramischen Werkstoffen beträgt, wie beim Gußeisen, die Zugfestigkeit nur einen Bruchteil der Druckfestigkeit. Dieses Verhältnis, d. h. die niedrige Zugfestigkeitsziffer, zwingt den Konstrukteur, in erster Linie die hohe Druckfestigkeit weitgehend auszunutzen und Zugbeanspruchungen des Werkstoffs möglichst zu vermeiden. Daher haben z. B. Steinzeugmaschinen vielfach eigene Bauformen. Die Zugfestigkeit des Steinzeugs wird an besonders für diesen Zweck hergestellten und geschliffenen Achterrotationskörpern in den üblichen Zerreißapparaten gemessen oder durch Innendruckbestimmungen an Rohren ermittelt. Die verhältnismäßig niedrige Zugfestigkeitsziffer des Steinzeugs zu verbessern, ist eine der wichtigen und wohl demnächst zu lösenden Aufgaben der Steinzeugforschung und -technik.

Die Biegefestigkeit ist eine Rechnungszahl, die aus der Bruchlast ermittelt wird. Zur Prüfung werden zylindrische Stäbe von rundem Querschnitt (500 mm lang und 16 mm Durchmesser) auf Stahlschneiden im Abstand von 40,7 cm freigelagert und in der Mitte belastet, bis der Bruch eintritt.

Aus der Biegefestigkeit und dem Elastizitätskoeffizienten (d. h. der reversiblen Verlängerung oder Verkürzung) eines Stabes von 1 cm Länge und 1 qcm Querschnitt unter 1 kg Belastung wird dann der Elastizitätsmodul berechnet.

Steinzeug erscheint nur bei oberflächlicher Betrachtung als spröde. Normalerweise läßt es sich mit Hammer und Meißel bearbeiten und unterscheidet sich dadurch vorteilhaft vom Porzellan. Die Zähigkeit und Stoßfestigkeit wird in dem hierfür besonders gebauten Spezialpendelschlagwerk durch den Schlagbiegeversuch gemessen. Steinzeug hat dabei einen Normalwert von etwa 2 und als besten Wert 4,7 cmkg/qcm. Es vermag also stoßweise Belastungen verhältnismäßig besser aufzunehmen als andere sprödere keramische Werkstoffe.

Von erheblicher Bedeutung ist die Feststellung der Härte und Gefügebearbeitbarkeit des Steinzeugs für die Beurteilung seiner Widerstandsfähigkeit gegen schleifende Beanspruchungen, wie sie z. B. durch große Mengen des in Abwässerleitungen oft mitgeführten scharfen, körnigen Sandes hervorgerufen werden. Noch stärker sind häufig Steinzeugklinker als Bürgersteigplatten und als Bodenbelag beansprucht. Als beste vergleichende Prüfungsmethode hat sich der Sandstrahlgebläseversuch eingeführt und bewährt. Ein bestimmter Sandstrahl wirkt 2 Minuten auf die zu prüfende und stets gleichmäßig große Fläche ein. Der Gewichts- und Raumverlust ergibt dann ein relatives Maß für die Abnutzung. Hier zeigt sich die glänzende Überlegenheit des Steinzeugs über andere Werkstoffe, besonders über viele Metalle.

Da durch den Sandstrahl das innere Gefüge des Scherbens freigelegt wird, ergeben sich gleichzeitig wertvolle Aufschlüsse über die Gleichmäßigkeit oder das Auftreten von Poren oder Lunkern.

Neben diesen hauptsächlichsten mechanischen Prüfungen geben auch noch Torsionsversuche, Scherversuche, Kugeldruckfestigkeitsprüfungen recht wertvolle Vergleiche.

Für die mechanischen Eigenschaften gilt die durchgehende Beobachtung, daß die gemessenen absoluten Werte stets nur Vergleiche an Prüfungskörpern gleicher Abmessungen zulassen. Mit zunehmender Wandstärke aller keramischer Massen tritt ein Abfall der spezifischen Festigkeitseigenschaften ein, die jedoch für Steinzeug immer noch so groß bleiben, daß sich auch Großbehälter mechanisch sicher handhaben lassen (siehe Bild S. 148). Auch darauf wird bei Maschinenkonstruktionen stets unbedingt Rücksicht genommen.

Neben der Kenntnis der mechanischen Eigenschaften ist für die Anwendung des Steinzeugs als Apparate- und Maschinenbaustoff die Beherrschung seiner wärmetechnischen Eigenschaften von ganz besonderer Wichtigkeit und oft von ausschlaggebender Bedeutung, denn hierbei wird Steinzeug sehr oft in Verbindung mit Metallen verwendet, deren Ausdehnung im allgemeinen etwa dreimal so groß ist. Dies bedingt die Anwendung einer elastischen Zwischenschicht (Gummi, Asbest oder dergleichen) beim Zusammenbau von Steinzeug und Eisen. Sie nimmt die Druck- und Zugspannungen, welche durch ungleiche Wärmedehnung hervorgerufen werden, auf, gleicht sie aus und verhütet eine Zertrümmerung des Steinzeugs. Der geringe Ausdehnungskoeffizient des Steinzeugs hat eine größere Widerstandsfähigkeit gegen schroffen Temperaturwechsel zur Folge, was in vielen Fällen in der Anwendung ausschlaggebende Bedeutung hat, da die thermische Widerstandsfähigkeit umgekehrt proportional der Wärmeausdehnung ist. Da also die Masse mit der kleinsten Ausdehnung die beste Temperaturwechselbeständigkeit besitzt, hat eine Spezialsteinzeugmasse mit einem Ausdehnungskoeffizienten von  $0,15 \cdot 10^{-6}$  ein besonderes Zukunftsinteresse.

Die Wärmeleitfähigkeit des Steinzeugs ist ebenfalls wesentlich geringer als die der Metalle. (Eisen 16 bis 20, Steinzeug 0,90 bis 1,35 kcal  $\cdot$  m<sup>-1</sup>  $\cdot$  h<sup>-1</sup>  $\cdot$  Grad<sup>-1</sup>.) Da in sehr vielen Fällen, beispielsweise bei Heiz- und Kühlschlangen, die Wärmeleitfähigkeit des Steinzeugs als die für die Wärmeübertragung wichtigste Materialeigenschaft eine wichtige Rolle spielt, hat die Verbesserung dieser Ziffer eine große Bedeutung.

Für die Haltbarkeit einer Steinzeugapparatur sind ungleichmäßige Erwärmungen besonders nachteilig, weil dadurch innere Spannungen entstehen können, die leicht

Sprünge und Brüche des Gerätes herbeiführen. Besondere Gefahr ist vorhanden, wenn gleichzeitig größere mechanische Beanspruchungen auftreten. Darum werden auch örtliche Erwärmungen von Maschinenteilen aus Steinzeug durch Reibung möglichst vermieden oder durch besondere Konstruktion oder Materialauswahl unschädlich gemacht. Auch Hochglanzschliff (Politurschliff), geeignete Schmiermittel oder besondere Spülvorrichtungen dienen diesem Zwecke.

Für die Beurteilung des Steinzeugs zur Verwendung für elektrische Isolation sind außer den mechanischen und thermischen Konstanten vor allem die elektrischen Eigenschaften: die Durchschlagsfestigkeit und die Dielektrizitätskonstante wichtig. Die Durchschlagsfestigkeit bezeichnet die Größe der elektrischen Beanspruchung, bei welcher das Isolationsmaterial durchschlägt, d. h. zertrümmert wird. Sie ist unter anderem von der Dicke, Homogenität, chemischen Zusammensetzung und Brenntemperatur des Scherbens abhängig. Die gemessene Durchschlagsfestigkeit beträgt für bestes Steinzeug (DTS.-Sillimanit) ebenso wie für Porzellan etwa 100 000 Volt pro Zentimeter.

Die Dielektrizitätskonstante ist ein Maß für die in der Trennschicht Luft—Isolierstoff auftretenden einzelnen Beanspruchungen, die zu elektrischen Entladungen führen können. Gute Isolierstoffe müssen daher eine nicht zu hohe Dielektrizitätskonstante haben. Bestes Steinzeug (DTS.-Sillimanit) hat eine Ziffer von 5,17.

Die Unhygroskopizität des Steinzeugs wird an jedem fertigen Isolator geprüft. Zu diesem Zwecke erfolgt eine Einlagerung des Stückes in Wasser mit nachfolgender Anlegung einer elektrischen Spannung an zwei einander gegenüberliegenden unglasierten Stellen bis kurz vor Überschlag. Nimmt das Steinzeug bei der Lagerung im Wasser nur 0,01% seines Gewichts desselben auf, so ist es dadurch zum Leiter zweiter Klasse geworden und erwärmt sich beim Stromdurchgang. Brauchbar sind nur absolut unhygroskopische Stücke, die weder durchgehende noch lokale Erwärmung zeigen.

Die steigenden Ansprüche an den Werkstoff Steinzeug haben das Tempo der Qualitätssteigerungen erheblich beschleunigt. Die ersten Festigkeitsziffern liegen aus dem Jahre 1905 vor. 1921 erfolgte eine systematische Registrierung des bis dahin Erreichten, und von da ab setzt eine ununterbrochene Entwicklung ein, deren Bestziffern aus der folgenden Tabelle hervorgehen.

Die Löslichkeit von Alumosilicaten in Mineralsäuren ist außerordentlich gering. Daher ist die Widerstandsfähigkeit von Steinzeug gegen Säureangriffe (mit Ausnahme von Flußsäure) ungemein groß. Da die in Säure löslichen Spuren von Verunreinigungen nur an der Oberfläche des Steinzeugs aufgenommen werden können, ist die Widerstandsfähigkeit des Materials mit dem Grad seiner Verdichtung gewachsen.

	1905	1921	1929
<b>A. Mechanische Eigenschaften:</b>			
Druckfestigkeit in kg/cm <sup>2</sup> . . . . .	1500	4600	8210
Zugfestigkeit in kg/cm <sup>2</sup> . . . . .	50	106	528
Biegefestigkeit in kg/cm <sup>2</sup> . . . . .	—	370	953
Elastizitätsmodul in kg/mm <sup>2</sup> . . . . .	—	5600	4175
Torsionsfestigkeit in kg/cm <sup>2</sup> . . . . .	—	210	323
Kugeldruckfestigkeit . . . . .	—	800	1253
Schlagbiegefestigkeit in cmkg/cm <sup>2</sup> . . . . .	—	1,5	4,7
Gewichtsverlust in Prozent bei der Trommelprobe. . . . .	—	6,5	2,6
Sandstrahlabnutzbarkeit, Verlust in cm <sup>3</sup> . . . . .	—	5,0	1,8
<b>B. Thermische Eigenschaften:</b>			
Ausdehnungskoeffizient . . . . .	—	4,9 · 10 <sup>-6</sup>	0,15 · 10 <sup>-6</sup>
Spezifische Wärme zwischen 17 bis 100 <sup>o</sup> C. . . . .	—	0,188	0,199
Wärmeleitfähigkeit in kcal · m <sup>-1</sup> · h <sup>-1</sup> · Grad <sup>-1</sup> . . . . .	—	1,2	3,01
<b>C. Elektrische Eigenschaften:</b>			
Durchschlagsfestigkeit . . . . .	—	—	100 kV/cm
Dielektrizitätskonstante . . . . .	—	—	5,17

Die Summe der äußeren und inneren Oberfläche eines Steinzeugs mit einer Wasseraufnahmefähigkeit von 1% ist vielfach größer als die entsprechende Reaktionsfläche eines Steinzeugs, welches nur unter 0,01% Wasser aufnimmt. Dem Gehalt an Eisenverbindungen parallel geht auch bei Säureauslaugung die Abgabe von Spuren von Eisenverbindungen. Bei sogenanntem „weißen Steinzeug“, einem verhältnismäßig sehr eisenarmen und dichten Material, kann daher durch Säureextraktion die Eisenfreiheit der Oberfläche verhältnismäßig rasch und dauernd erzielt werden.

Mit der Dichte des Steinzeugs ist auch seine Widerstandsfähigkeit gegen Stoffe gewachsen, die es nicht direkt chemisch angreifen, aber doch zu zerstören vermögen. Nimmt eine Steinzeugmasse, die beispielsweise eine Wasseraufnahmefähigkeit von 1% hat, in diesen Porenraum bei irgend einem chemischen Prozeß eine konzentrierte Salzlösung auf, die später Krystalle ausscheidet, so kann diese Krystallisation zur Zertrümmerung des Stückes oder zu Absplitterungen an seiner Oberfläche führen. Dies ist bei einem absolut unhygroskopischen Material ausgeschlossen. Dasselbe widersteht dank seiner wesentlich kleineren Oberfläche auch den Chemikalien besser, die Alumosilicate lösen oder zerstören. Es gibt noch keinen keramischen Stoff, der gegen Flußsäure absolut widerstandsfähig ist. Ebenso werden alle keramischen Massen entsprechend ihrer Oberflächengröße von Alkalien zerstört. Die Steigerung der Widerstandsfähigkeit von Steinzeug gegen diese Stoffe ist schon teilweise in Form von Sonderzusammensetzungen geglückt, und die völlige Lösung des Problems dürfte wohl in absehbarer Zeit zu erwarten sein.

## DIE ANWENDUNG

Die Architektur ist bestimmend für den Charakter einer Stadt. Fabriken, Hochhausbauten, Bahnhöfe, Ausstellungshallen, große Verwaltungsgebäude und Einfamilienhäuser bedingen heute ebenso die Entwicklung und das Gesicht der modernen Großstadt wie früher Kirchenbauten. In steigendem Umfang werden sie aus Steinzeugklinkern errichtet. Damit kommt Steinzeug, dieses Aschenbrödel der Keramik, mehr und mehr in direkte Berührung mit der allgemeinen Umwelt. Bisher, seit etwa 2000 Jahren, konnte es nur als technischer Werkstoff lediglich dem Fachmann, jedoch nicht dem großen Publikum seine Vorzüge beweisen.

Seine Verwendung für rein hauswirtschaftliche Gebrauchszwecke als Kanne und Tasse, als Teller und Krug, war stets weniger bedeutend, da es hier vom Glanz des Porzellans und des Steinguts etwas zurückgedrängt wurde. Trotzdem verbirgt das Steinzeug in seinem schlichten äußeren Gewande vorzügliche Eigenschaften, die es heute nach ihrer Erkennung, wissenschaftlichen Erforschung und systematischen Qualitätssteigerung vor zahlreiche andere vorwiegend benutzte Werkstoffe für Technik und Industrie stellen. Die ungewöhnlich hohe Druckfestigkeit, seine Widerstandsfähigkeit gegenüber korrodierenden Einwirkungen jeglicher Art und die schlichte Schönheit seiner Farbe haben die Wahl des Steinzeugklinkers als Baumaterial des modernen Architekten bewirkt. Wie der Ziegelbau den Hansastädten ihren Stil und ihren Charakter verlieh, ist der Klinkerbau im Begriff, der modernen Architektur ihr Gepräge zu geben, und sicher für lange Zeit! Seine hohe Druckfestigkeit gestattet die Verwendung des Steinzeugklinkers für jede Beanspruchung, für jeden Hoch- und Tiefbau. Seine absolute Säure- und Wetterfestigkeit gewährleisten unveränderte Beständigkeit für Jahrtausende.

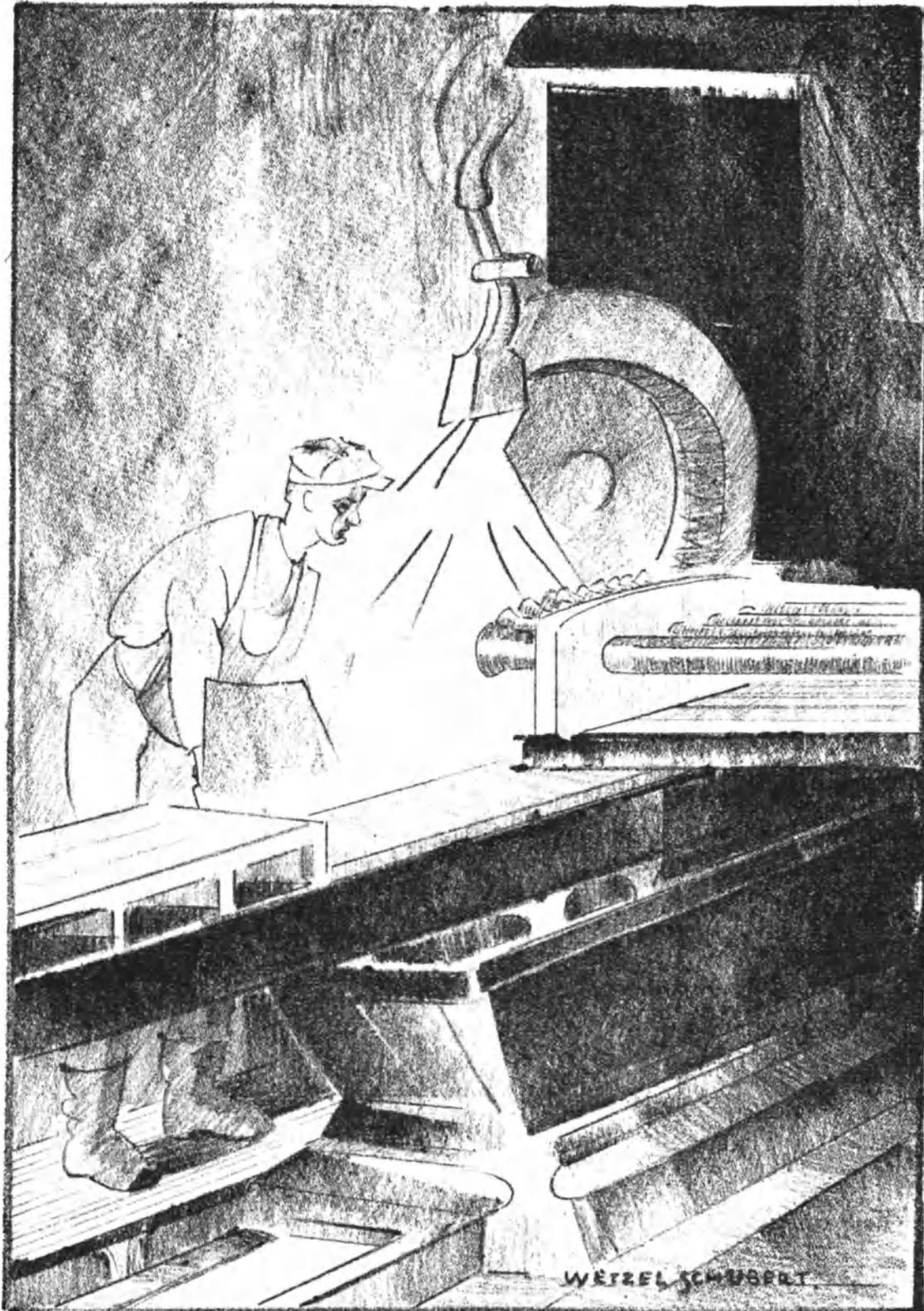
Die heutigen Luftverhältnisse der Großstädte durch die mit Rauch, Ruß und Abgasen mehr und mehr verunreinigte Atmosphäre zerstören jeden Kalk- und Zementputz, jeden Schutzanstrich in mehr oder weniger kurzer Zeit und erzwingen dadurch seine Erneuerung. Demgegenüber bedeutet der unveränderliche Klinkerbau eine Rationalisierung der Bauweise, eine Ersparnis und eine Verbesserung, einen bedeutenden technischen Fortschritt. Die durch Jahrtausende erprobte Beständigkeit des Steinzeugs wird durch die noch heute unverändert erhaltenen Wasserleitungsrohre der alten Römer sichtbar bewiesen. Sie veranschaulichen bereits ein Hauptverwendungsgebiet des Steinzeugs und die Tradition dieses Materials als einer der ältesten und erprobtesten Werkstoffe.

Nicht nur über, sondern auch unter der Erdoberfläche zeigt das Steinzeug seine Unvergänglichkeit. Seine Verwendung für Rohrleitungen zum Fortleiten von Abwässern jeglicher Art ist nicht nur uralte, sondern nimmt gerade heute mit den ins Riesenhafte steigenden Bedürfnissen der ununterbrochen wachsenden Großstädte und ihrer hygienischen Einrichtungen einen immer größeren Umfang an. Die Verlegung ausgedehntester Steinzeugrohrleitungen, auch der größten Lichtweiten, macht dank der Entwicklung der Steinzeugindustrie der letzten Jahrzehnte keinerlei Schwierigkeiten. Für Abwässerleitungen, die nur geringen inneren Druckbeanspruchungen ausgesetzt sind, dienen meist Muffenrohre. Ohne viel Mühe und sehr zuverlässig werden sie mit Teerstrick und Asphalt gegeneinander abgedichtet. Zum Zwecke einer guten Haftung der Abdichtung werden die Muffen innen und die muffenlosen Enden der Rohre außen mit Rillen versehen, und das Dichtungsmaterial wird in den verbleibenden Spalt zwischen der Muffe und dem in sie eingeführten Rohrende fest eingebracht.

Bei derartigen Rohrleitungen sind die schleifenden Einwirkungen auf Glasur und Scherben naturgemäß sehr groß, da die fortgeleitete Trübe normalerweise erhebliche Mengen von Sand und anderen Feststoffen enthält. Wird hierdurch die Salzglasur im Laufe geraumer Zeit abgeschliffen, so hat dies bei Steinzeugrohren praktisch immer noch nichts zu bedeuten. Die Dichte des gesinterten Scherbens bürgt dafür, daß auch bei einem Abschleifen der Glasur keine Flüssigkeit durch die Rohrwandungen hindurch tritt. Im Gegensatz hierzu wirkt sich bei porösen und nur durch eine Lehmglasur äußerlich gedichteten Rohren eine Beschädigung der Glasur sofort in einem Undichtwerden der Rohre aus.

Die inneren Druckbeanspruchungen, die sich effektiv als Zugbeanspruchungen auswirken, sind auch bei geschlossenen Abwässerrohrleitungen im allgemeinen relativ gering. Daher genügen für normale Verwendungszwecke Steinzeugrohre stets, auch wenn sie keine hohe Zugfestigkeit besitzen. Dagegen müssen sie und ihre Verbindungen zu kompletten Leitungen eine gewisse Elastizität besitzen, um Bewegungen des Erdbodens ohne Bruchgefahr mitmachen zu können. Diese Elastizität wird durch eine hohe mechanische Widerstandsfähigkeit gegen plötzliche Stöße in wertvoller Weise ergänzt. Bei Muffenrohrleitungen wird sie durch die elastische Abdichtung selbst stark gefördert.

Die vorherrschende Ausführungsform für Haus- und Straßenentwässerungen sowie Abwässerleitungen in gewerblichen Betrieben ist diejenige der geraden Steinzeugrohre mit kreisrundem Querschnitt. Daneben sind die besonderen Formstücke wie Bogen- und Knierohre, Rohre mit rechtwinkligen und spitzwinkligen Abzweigen, Übergangrohre von einem Durchmesser zum anderen, Übergangsbogenrohre, Rohr-



WETZEL SCHUBERT

stutzen, Verbindungsstücke unendlich zahlreich und beweisen die große Anpassungsfähigkeit der Steinzeugindustrie an die jeweiligen technischen Bedürfnisse. Zum Auskleiden von großen Kanälen werden Rohrschalen (halbierte oder sonst geteilte Rohre), Sohlsteine, Sohlschalen und Platten aus Steinzeug benutzt. Auch Sinkkästen, durch die nicht schwembare Stoffe von den Kanälen ferngehalten werden und in denen sie sich absetzen, während das Wasser durch einen Geruchverschluß in den Kanal weiter geht, werden vorwiegend aus Steinzeug hergestellt. Andere Zubehörteile für Abwässerleitungen sind Sandfänger, welche den groben Sand zurückhalten sollen, Fettfänger, die bei der Fortleitung von Abwässern aus Schlachthöfen und Fleischereien benutzt werden, Wasserverschlüsse und andere. Benzinabscheider dienen dazu, das in den Abwässern oft mitgenommene, feuergefährliche Benzin aufzufangen, damit es nicht fortgeschwemmt wird und auf dem weiteren Wege zu Explosionen Veranlassung geben kann. Mögen diese Formstücke noch so verschiedenartig sein, das Steinzeug ist für sie der gemeinsame Werkstoff, der ihre unübertroffenen Anwendungsvorteile begründet.

Auch für Gebrauchswasserleitungen wird bei saurem und eisenhaltigem Wasser mehr und mehr zur Verwendung von Steinzeugrohren übergegangen. Nur sie sind ganz unabhängig von den korrodierenden Eigenschaften der geförderten Flüssigkeit und für alle Zeiten beständig. Die bisher üblicherweise verwendeten Eisenrohre vervielfachen den Eisengehalt des durchgeleiteten Wassers noch und fallen dessen Angriffen allmählich selbst zum Opfer.

Aus dem gleichen Grunde werden insbesondere in neuerer Zeit auch Brunnenfilter aus besonders gestalteten Steinzeugrohren in großem Umfang hergestellt und damit die in zahllosen Brunnen und Quellwässern auftretende aggressive Kohlensäure ihrer Einwirkungsmöglichkeit beraubt.

Abortanlagen in Fabriken, die auf einfache Weise absolut zuverlässig sauber gehalten werden sollen, bestehen aus Steinzeug, weil dieses im Gegensatz zum porösen Steingut bei Beschädigungen der Glasur oder Abschlagung von Ecken oder Kanten immer noch dicht bleibt und daher niemals Träger von Krankheitskeimen sein kann. Zur Erleichterung der Reinheitskontrolle wird für Krankenhäuser weißglasiertes, dichtes Steinzeug hergestellt.

Werden Steinzeugrohre sehr starkem Innendruck ausgesetzt, so ist es unter Umständen erforderlich, sie zu panzern, d. h. sie mit einem eisernen oder Betonmantel zu umgeben.

Rohre und Klinker sind die wichtigsten im Hoch- und Tiefbau verwendeten Steinzeugfabrikate. Neben ihnen haben noch die in den verschiedensten Farben und Formen hergestellten Platten große Bedeutung, die zur Erzielung künstlerischer

Wirkungen sowohl für Nutz- als auch für Luxusbauten vom Architekten benutzt werden. Sie dienen hauptsächlich zur Herstellung eines dauerhaften Fußbodenbelages für Wirtschaftsräume, Durchgänge, Hof- und Gartenwege, Fahrstraßen usw. Sie können in den verschiedensten Mosaikmustern verlegt werden.

Analoge Verwendung findet Steinzeug für die Hoch- und Tiefbauzwecke der Landwirtschaft. Sickeranlagen aus Steinzeug für die Be- und Entwässerung von Grundstücken werden im Gegensatz zu solchen aus Metallrohren auch dann nicht angegriffen, wenn der Boden sauer ist. Die hierfür in allergrößtem Umfang eingebauten Steinzeugrohre sind entweder auf dem ganzen oder nur auf dem halben Umfang mit kleinen Löchern oder schmalen Schlitzfenstern versehen. Auch halbierte Rohre werden benutzt. Gute Stalleinrichtungen enthalten Futterkrippen und Futtertröge aus Steinzeug. Jaucheableitungen werden aus Steinzeugrohren und Steinzeugrinnen hergestellt. Bei der Futterbereitung und -aufbewahrung in Silos finden Gärungsprozesse statt, die nur so hochsäurefestes Material wie Steinzeugklinker aushält, ohne dem Futter eine unerwünschte Geschmacksbeigabe zu verleihen.

Im Zusammenhang mit der Landwirtschaft steht auch die Verwendung von vollkommen unhygrokopischem Steinzeug als Baustoff für Vegetationsgefäße. Sie dienen zur Durchführung der Vegetationsversuche, zum Studium der Wachstumsverhältnisse der verschiedenen Kulturpflanzen. Hier hat das unangreifbare Steinzeug schon seit vielen Jahren alle früher benutzten Werkstoffe, wie Glas, Zink, Emaille, Holz usw. aus dem Felde geschlagen und sich glänzend bewährt.

Die außerordentlich gute Reinigungsmöglichkeit des Steinzeugs hat diesem Werkstoff auch Eingang für die Buttererzeugung verschafft. Butterfässer aus Steinzeug sind wesentlich hygienischer als die bisher verwendeten hölzernen Gefäße.

Die Grundlage für jede Qualitätssteigerung der Molkereiprodukte ist die Reinhaltung der Milch. Diese Bedingung und die leichte Entkeimungsmöglichkeit bei Seuchengefahr haben längst dazu geführt, daß Kuhställe an den Wänden bis zu einer bestimmten Höhe mit Steinzeugwandbekleidungsplatten ausgelegt werden. Die Beseitigung von Schmutz, Futterresten sowie Insekten ist an solchen glasierten Flächen ohne große Mühe möglich.

Seine weitgehende und teilweise ausschließliche Verbreitung auf hygienischen und ähnlichen Gebieten verdankt das Steinzeug seiner glatten Glasur, die einfachste und vollkommenste Reinigung und damit peinlichste Sauberkeit ermöglicht. Gleiche Forderungen noch schärferer Art müssen an einen Werkstoff gestellt werden, welcher für die Herstellung von Apparaten und Gegenständen für sanitäre Zwecke in Frage kommen soll. Es ist im Dienste von Medizin und Hygiene daher selbstverständlich, daß auch auf diesem Anwendungsgebiet Steinzeug den ersten Platz einnimmt.

Sei es im Badezimmer oder im Operationsraum eines Arztes, immer besteht am zweckmäßigsten ein großer Teil der Einrichtungsgegenstände aus Steinzeug. Waschbecken, Schalen, Badewannen, Klosetts, Ausgußbecken und Abflußleitungen, sowie zahlreiche Gebrauchsgegenstände für die Krankenfleger, Behälter für die Aufnahme von gebrauchten Verbandstoffen, Spuckbecken werden vorzugsweise aus weißglasiertem Steinzeug hergestellt. Für Spezialzwecke — wie Moorbäder, Heilbäder, Badezimmer der Irrenanstalten usw. — werden Badewannen aus Steinzeug benutzt. Brausemulden runder und rechteckiger Form kommen in den Badeanlagen industrieller Werke, in Volksbädern usw. zur Anwendung. In Jugendherbergen werden die Reihenwaschanlagen in dem gleichen Material ausgeführt. Hier kommen auch Fußbadewannen in großer Anzahl zur Aufstellung.

Immer wieder ist es also seine glatte, leicht zu reinigende und auch mit scharfen Mitteln desinfizierbare Oberfläche, die das Steinzeug für viele dieser Verwendungszwecke geradezu prädestiniert.

Überall da, wo es im Haushalt bei keramischen Gegenständen weniger auf die weiße Farbe und Dekorierung ankommt, ist das Steinzeug am Platze. Gefäße für die Aufbewahrung von Kraut, Gurken, Gemüse, Eiern, Milch werden in Größen von 3 bis 150 Litern Inhalt aus Steinzeug angefertigt.

Dieselben Gefäße in runder Form dienen im Haushalt zum Einpökeln von Fleisch. In viereckiger Ausführung bis zu einem Inhalt von über 1500 Litern kommen sie in den kleinsten bis größten Schlachthofbetrieben zur Anwendung.

Auch die Hausfrau kennt seit langem Einmach- und Kochtöpfe, Essiggefäße und anderes mehr aus Steinzeug. In der Wohnung selbst werden Aschenbecher und Schmuckschalen, Blumenvasen und Kannen mit Vorliebe aus Steinzeug benutzt.

Als äußerst praktisch haben sich Aufwaschtische aus Steinzeug für große Haushaltungen, Restaurants, Gesindeküchen und Kantinen bewährt. In hölzernen Abwaschtischen kleineren Formats werden Einsatzkästen aus Metall vorteilhaft durch solche aus Steinzeug ersetzt.

In Küchen waren jahrzehntelang gußeiserne, emaillierte Ausgußbecken im Gebrauch, die nach einiger Zeit der Benutzung unansehnlich wirkten. Hier sind Steinzeugspülsteine und ebensolche Ausgußbecken viel besser am Platze.

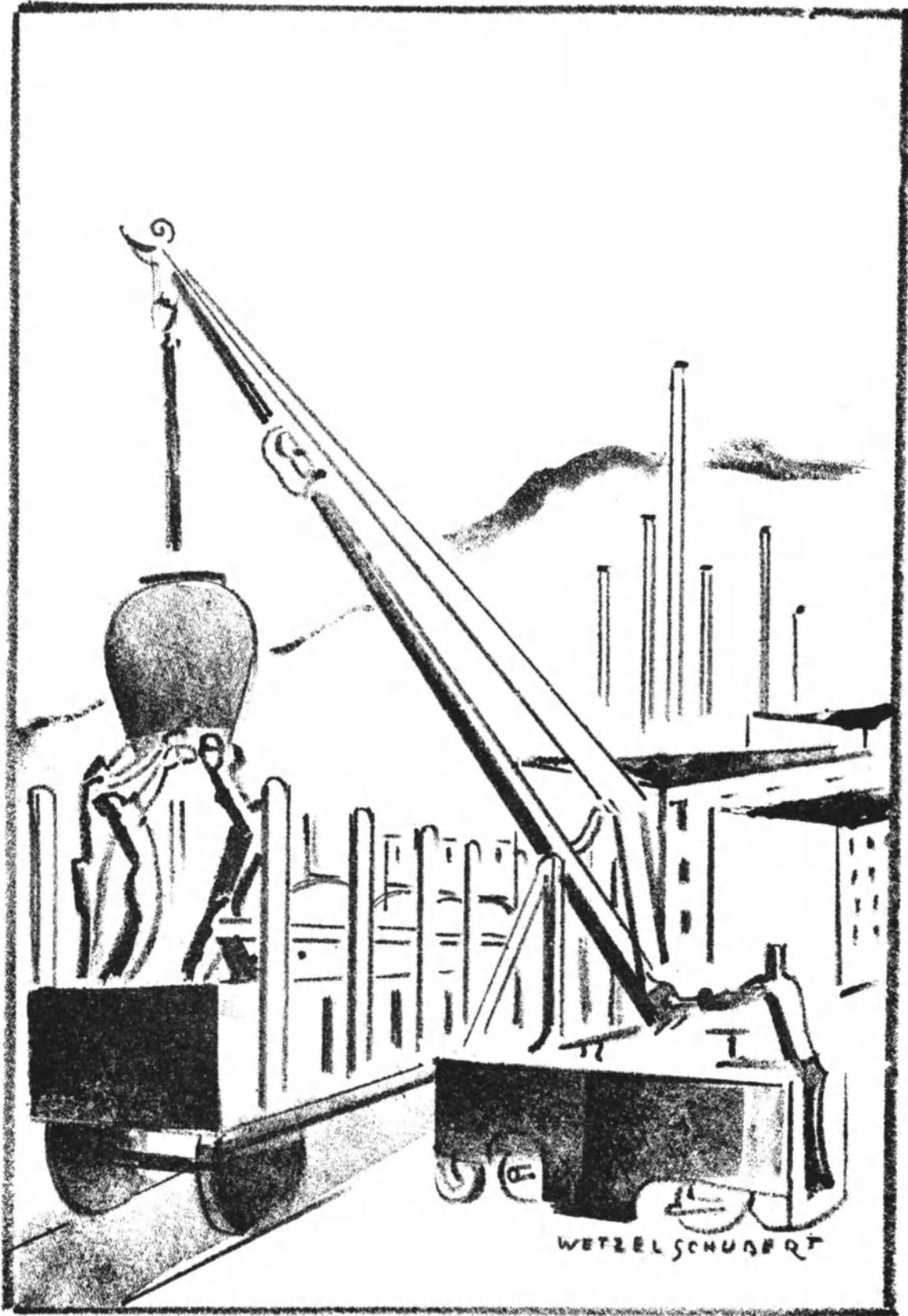
Städtische Mietshäuser haben fast stets für alle Haushaltungen eine gemeinsame Waschküche, in der von vornherein Waschtröge und Spülbottiche aus Steinzeug installiert sind, die allen Mietsparteien zur Verfügung stehen. An den Waschtrögen ist das Waschbrett angeformt, so daß sich auch die früher benutzten hölzernen Waschbretter mit Zinkeinlage erübrigen.

Selbst viele Kunstgegenstände in Museen und Haushalten bestehen aus Steinzeug. Das alte „chinesische Porzellan“ mit seinem warmen farbigen Scherben ist in den meisten Fällen nichts anderes als ein hochqualifiziertes Feinsteinzeug. Der bekannte rote, früher allgemein als „Böttcherporzellan“ bezeichnete Vorläufer des europäischen Hartporzellans, erhält heute bereits ziemlich allgemein seinen ehrlichen Namen „Böttchersteinzeug“.

So umfangreich sich die bereits beschriebenen Verwendungsmöglichkeiten des Steinzeugs auch darstellen, noch wichtiger und zukunftsreicher sind die Anwendungsgebiete, denen die Steinzeugindustrie ihren gewaltigen Aufschwung in den letzten Jahrzehnten verdankt. Hier sind in technischer Beziehung in der Verbesserung der physikalischen und chemischen Eigenschaften die größten Erfolge erzielt worden, hier dient die Steinzeugindustrie der Chemie und der Elektrotechnik. Insbesondere der chemischen Industrie und ihrer Ausbreitung hat das Steinzeug als Werkstoff für den Bau der Apparaturen erst den Weg geebnet, auf dem die ungeheure Entwicklung und Ausbreitung ermöglicht wurde, welche dieser Industriezweig genommen hat.

Zahlreiche Verfahren, die in der Theorie teilweise schon den Altmeistern chemischer Forschung bekannt waren, konnten früher nicht in die Praxis übertragen werden. Mit den bekannten Werkstoffen war es nicht möglich, Apparaturen zu bauen, welche den oft überraschenden und sehr heftigen Angriffen der chemischen Stoffe Widerstand zu leisten vermochten.

Nicht selten war die Durchführung bahnbrechender neuer Verfahren aus Mangel an dem entsprechenden großapparativen Rüstzeug nur im kleinen Maßstab im Laboratorium möglich. Die industrielle Fabrikation war unmöglich, weil die kleinen Laboratoriumsapparaturen sich nicht ohne weiteres beliebig vergrößern ließen. Oder es war der für den Aufbau widerstandsfähiger Großapparaturen zur Verfügung stehende Werkstoff so teuer, daß sein Preis jede Wirtschaftlichkeit des ganzen Herstellungsverfahrens grundsätzlich ausschloß. Mit der Einführung des Steinzeugs in die chemische Industrie als Bau- und Werkstoff zunächst für kleinere, dann auch bald für größere und schließlich selbst für die größten Gefäße und Apparaturen wie Maschinen wurden viele Zweige der chemischen Industrie und der Forschung auf eine vollkommen neue Grundlage gestellt. Die zielbewußte Zusammenarbeit der Steinzeugindustrie mit chemischer und physikalischer Forschung hat inzwischen dazu geführt, daß es jetzt möglich ist, dem Forscher gleichzeitig mit der Ausarbeitung seines Verfahrens den Werkstoff und die Apparatur zur Verfügung zu stellen, wie sie in den meisten Fällen zur technischen Durchführung in größerem Maßstab notwendig sind. Alle Bedingungen der chemischen Industrie werden auch



heute noch nicht vom Steinzeug restlos erfüllt. Zahlreiche Aufgaben harren ihrer Lösung; vor allem bedürfen folgende Steinzeug-Eigenschaften der Verbesserung:

1. Temperaturwechselbeständigkeit durch Steigerung der Wärmeleitfähigkeit usw.
2. Zugfestigkeit
3. Stoßfestigkeit
4. Basenbeständigkeit.

Die Erfolge der letzten Jahre auf dem Wege zu diesen Zielen und die angewandten Arbeitsmethoden gestatten die Erwartung, daß auch diese Forderungen der chemischen Industrie in absehbarer Zeit erreicht werden.

Bisher hat es die Steinzeugindustrie schon verstanden, recht schwierigen an sie gestellten Ansprüchen gerecht zu werden. Sie ist vor den größten Abmessungen und Formgebungsschwierigkeiten der benötigten, vielfach sehr komplizierten Apparaturen nicht zurückgeschreckt, wenn auch manch erster Versuch fehlschlug. Die gestellten Anforderungen verlangten allerdings ein Verlassen der bisher auf reiner Empirie fußenden Arbeitsbedingungen, die nunmehr systematisch die Wissenschaft zu Rate zieht. Durch diese Zusammenarbeit ist es aber auch zu einer wechselseitigen Wirkung gekommen. Ohne Steinzeug wären zahlreiche chemische Arbeitsverfahren in großen Betrieben nicht wirtschaftlich durchführbar, ohne Steinzeug würde ein großer Teil der chemischen Industrie vor großen Schwierigkeiten stehen, und einzelne Teile würden vielleicht gar zum Stillstand kommen.

Typische Beispiele dafür, wie die chemische Industrie und dadurch auch die Entwicklung der Chemie durch die Benutzung des Steinzeugs beeinflußt wurde, bietet die Fabrikation der Mineralsäuren, der wichtigsten Ausgangsstoffe der anorganischen Industrie. Für die bedeutendste, die „Schwefelsäure“, liefert das Steinzeug die inneren Umfassungswände, die Füllung der Glover- und Gay-Lussac-türme in Form säurefester Normalsteine und Füllkörper jeder benötigten Form. Besonders große Verbreitung fanden komplette Steinzeugplattentürme nach Lunge-Rohrman.

Wie das Steinzeug in der Schwefelsäureindustrie festen Fuß gefaßt hat, so ist es auch ein unentbehrlicher Baustoff für alle Apparaturen und Anlagen geworden, welche bei der Erzeugung des zweiten wichtigen Grundstoffs der anorganischen Chemie, der Salzsäure, benutzt werden.

Zur Darstellung der wässerigen Salzsäure werden Kondensationsgefäße (Tourills) aus Steinzeug verwendet, die hintereinander gestellt und nach dem Gegenstromprinzip von Wasser durchflossen werden. Zuerst stellte die Steinzeugindustrie einfache runde Gefäße her, dann entstanden flache, langgestreckte oder U-förmige,

auch ringförmige Behälter, die in Kühlwasser eingebaut werden. Auch das lange vergeblich verfolgte Problem, die Salzsäureabsorption nur in Steinzeugtürmen vorzunehmen, ist durch die Konstruktion geeigneter Kühlapparate aus Steinzeug gelöst worden. Einer der letzten Fortschritte der Steinzeugindustrie, die Herstellung weißen und weißglasierten Steinzeugs, ermöglicht die immer mehr an Bedeutung zunehmende Gewinnung der synthetisch erzeugten Salzsäure in chemisch reinem farblosen Zustand.

Auch bei der Salpetersäure, dem dritten wichtigen anorganischen Grundstoff, hat das Steinzeug ähnliche Verbesserungen der apparativen Ausgestaltung der Herstellungsverfahren bewirkt. Besonders das Plathsche Patent auf Steinzeugkühlschlangen war lange Zeit ausschlaggebend für die Entwicklung und den Stand der Salpetersäureindustrie. Die frühere Gewinnung durch die Zersetzung von Salpeter benutzte Steinzeug in der gleichen Weise wie auch die heutigen modernen Methoden diesen Werkstoff gebrauchen. Ähnliche Apparaturen, wie sie für die Kondensation der Salpetersäure üblich sind, dienen auch in großem Umfang für die Gewinnung von Ameisensäure.

Aber nicht nur bei den geschilderten Herstellungsverfahren der Schwefelsäure, Salzsäure und Salpetersäure wird Steinzeug für besondere Apparaturen benutzt, sondern es dient auch in größtem Umfang als Werkstoff für zahlreiche Einzelteile bei diesen und vielen anderen Prozessen. So fordern saure Flüssigkeiten und Gase nicht nur zu ihrer Herstellung Gefäße und Apparate aus Steinzeug, die ihrem chemischen Angriff widerstehen, sondern benötigen auch zu ihrer Aufbewahrung, ihrem Transport und ihrer Verarbeitung dasselbe Material. Da aber die Verwendung von Säuren in allen Zweigen der Chemie als universell bezeichnet werden kann, dienen gleichzeitig überall auch Geräte und Gefäße jeglicher Art und Form aus Steinzeug für die verschiedenartigsten Zwecke. Die Salzsäuregewinnung hat zur Ausbildung von Steinzeugkondensationsgefäßen geführt, die in zahlreichen Formen als einfache Flasche bis zu den Sonderausführungen nach Cellarius mit und ohne Wasserkühlung hergestellt und auch für andere Arbeitsverfahren verwendet werden.

Vielfach spielen bei chemischen Prozessen die Füllkörper in den Absorptionstürmen die ausschlaggebende Rolle. Sie wirken nicht nur bei Absorptionen der verschiedensten Gase mit, sondern sind allgemein für jede gegenseitige Einwirkung von Gasen und Flüssigkeiten wichtig. Im Vordergrund dieser Füllkörperfrage steht die Vergrößerung der Reaktionsoberfläche. Hierbei handelt es sich nicht nur darum, die in den Reaktionstürmen herabrieselnden Flüssigkeiten über eine sehr große Oberfläche zu verteilen, um dadurch eine äußerst innige Berührung mit den entgegen- oder gleichströmenden Gasen herbeizuführen, sondern es müssen

sich im Verhältnis zur Masse auch genügend zahlreiche und ausreichend große Durchtrittskanäle für die Gase und Flüssigkeiten ergeben. Daher sind unendlich viele und höchst mannigfaltig gestaltete Füllkörper ausgebildet worden, um die wirksamste Lösung dieses Problems zu erreichen. Welche Formen sie auch haben, ob hochkant stehende Normalsteine, die rost- oder gitterartig aufgestellt werden, ob schräg geriefte dünne Platten, ob Rhomboederkörper, Prismensteine, Zellenhohlkörper, Sternplatten, ob Schalen mit und ohne Durchtrittslöcher in flacher oder Kegelform, ohne oder mit besonderem Überlauf, Lochkugeln und Guttmannsche Hohlkugeln, ob Ringe aller Art wie Gloverringe, Sternringe, Kreuzringe, Scheidewandröhrchen, Raschigringe — alle diese Füllkörper werden aus Steinzeug hergestellt. Die größte Verbreitung haben Raschigringe gefunden, die durch einfaches Einfüllen regellos gelagert werden und dadurch die größten Vorteile aufweisen. Sie verdrängen daher alle anderen Füllkörperformen fast vollkommen. Die Raschigringe besitzen gleiche Breite und Höhe und lagern sich aus diesem Grunde beim losen Einschütten völlig unregelmäßig, ohne sich ineinander zu stecken und etwa den Gasdurchtritt zu verengen. Daher nehmen die Querschnitte der Gas- und Flüssigkeitsdurchtritte eine beim festen regelmäßigen Einbau niemals erreichte Wirksamkeit an. Dieser verblüffend einfache keramische Füllkörper hat auf zahlreichen Gebieten der chemischen Industrie geradezu revolutionierend gewirkt. Raschigringe werden überall da verwendet, wo Gase und Flüssigkeiten in eine möglichst innige Berührung miteinander gebracht werden sollen, z. B. zur Absorption von Gasen oder Nebeln durch Flüssigkeiten wie in der Schwefelsäureindustrie, oder zur Beladung von Gasen mit Dämpfen wie bei der Carburierung, bei der Herstellung von Benzin-, Benzol- und Äthergas, bei der Beladung von Luft mit Salzsäure-, Ammoniak- und Kohlensäuregasen usw.; Flüssigkeitsverdampfungen werden erleichtert durch innige Berührung der Flüssigkeit mit entgegenströmenden Gasen im Raschigturm, der in diesem Zusammenhang auch Konzentrationszwecken dient, ebenso wie er durch Begünstigung der Dephlegmation die feinste Trennung von Flüssigkeiten durch fraktionierte Destillation ermöglicht. Die gegenseitige Einwirkung verschiedener Reagenzien aufeinander im Raschigturm beschränkt sich nicht allein auf Gase und Flüssigkeiten, sondern erstreckt sich auch auf nicht mischbare Flüssigkeiten, die miteinander in Reaktion treten sollen und an der Oberfläche der Raschigringe eine hierfür besonders günstige und wirksame Gelegenheit finden; hierdurch vermag der Raschigturm auch in vorteilhafter Weise Rührwerke zu ersetzen.

Der Erfolg katalytischer Wirkung hängt stets von der Oberflächenentwicklung des Katalysators ab. Darum ist es eine wichtige Forderung für den Aufbau der Kontaktmasse im Kontaktraum, daß möglichst große Oberflächen bei geringem

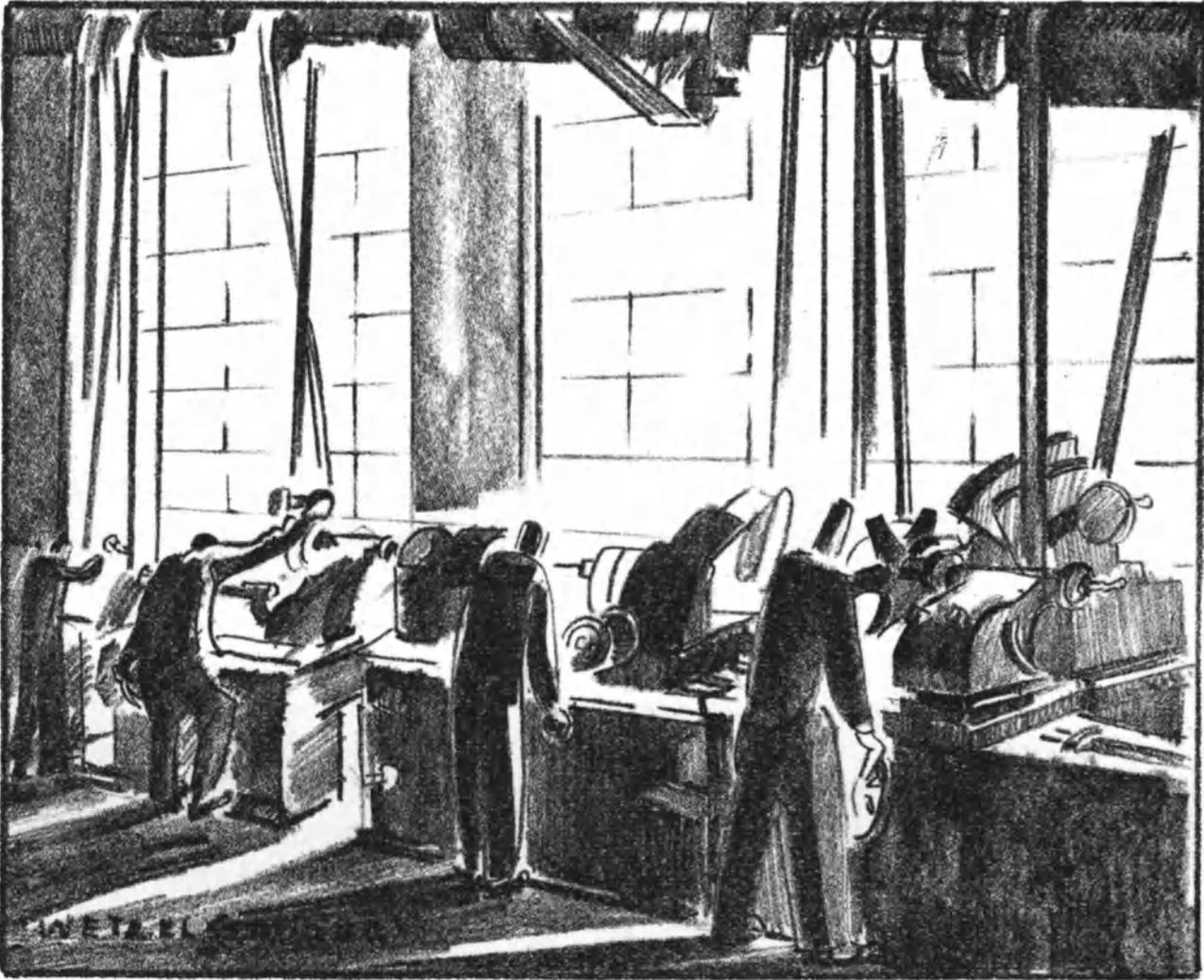
Durchgangswiderstand der Gase vorhanden sind. Auch hier stellen die regellos gelagerten Raschigringe die glücklichste Lösung dar.

Alle Anforderungen, die an den Kontaktträger zu stellen sind, erfüllt das Steinzeug besonders gut. Es hat eine sehr hohe Druckfestigkeit, um beim Aufbau im Kontaktraum auch das Gewicht der oberen Schichten tragen zu können, ist temperaturwechselbeständig und hervorragend widerstandsfähig gegen jegliche chemischen Einwirkungen.

Soweit in der chemischen Industrie ätzende Flüssigkeiten gewonnen, fortgeleitet oder benutzt werden, sind mannigfaltige Spezialapparate aus Steinzeug im Gebrauch. Kühl- und Waschtürme, Flüssigkeitsverteiler, Kühlaggregate, Kessel, Säuregefäße, Wannen, Säureautomaten, Ätzmaschinen haben die Unentbehrlichkeit des Steinzeugs in den chemischen und Chemikalien benutzenden Industrien bewiesen. Die Anzahl der vielen kleinen Hilfsgeräte jeglicher Art, die aus Steinzeug bestehen, ist Legion.

Ihrer Wichtigkeit entsprechend bedürfen die Fördermaschinen für Flüssigkeiten, die Druckbirnen, Strahlpumpen, Kolben- und Kreiselpumpen besonderer Erwähnung. Alle mit der Förderflüssigkeit in Berührung kommenden Teile, wie Pumpenkörper, Gehäuse, Kolben und Stopfbüchsen bestehen aus Steinzeug, während die Antriebsteile aus Metall hergestellt sind und vor schädlicher Einwirkung der Flüssigkeit geschützt werden müssen. Kolben, Zylinder und Kugelventile solcher Maschinen können in vollkommenster Schleiftechnik bis zu  $\frac{1}{1000}$  mm Genauigkeit geschliffen werden. Diese Nachbearbeitungsmöglichkeit und diese Präzision besitzt unter den keramischen Werkstoffen nur das Steinzeug in wirtschaftlicher Weise. Die Kreiselpumpen aus Steinzeug werden in den verschiedensten Typen und Größenanordnungen gebaut. Sie arbeiten entweder mit oder ohne Stopfbüchsen.

Nach einer anderen Methode der Flüssigkeitsförderung arbeiten die Druckbirnen und Druckautomaten. Sie stellen geschlossene Steinzeuggefäße dar, die abwechselnd mit einer Zulauf- und dann mit einer Steigleitung und Preßluftzuführung in Verbindung stehen. Nach Füllung des Gefäßes mit der Flüssigkeit wird der Zulaufhahn geschlossen und der Preßlufthahn geöffnet, so daß nunmehr die komprimierte Luft die Flüssigkeit in die Steigleitung hochtreibt. Dieser sich bei den Druckbirnen durch Bedienung von Hand periodisch abspielende Vorgang vollzieht sich bei Druckautomaten durch Verwendung geeigneter Rückschlag- und Steuerventile selbsttätig. Die Maschinen besorgen die Weiterbeförderung der sauren Flüssigkeit zu den Verbrauchsstellen oder zu großen Speicheranlagen, die mit riesigen Steinzeuggefäßen mit einem Fassungsvermögen bis zu 6000 Liter ausgerüstet sind. Allgemein bekannt sind auch die für den Säureversand an fernere



Verbrauchsstellen benutzten Topfwagen. Die hierfür in Frage kommenden Steinzeuggefäße von meist nicht mehr als 1000 Liter Inhalt werden in elastisch gepolsterte Holz- oder Eisenrahmen reihenweise nebeneinander transportsicher auf Eisenbahnwagen aufgestellt.

Auch für alle mit sauren oder ätzenden Gasen in Berührung stehenden Einrichtungen ist Steinzeug der heute bevorzugt verwendete Werkstoff. Die zur Gasfortbewegung dienenden apparativen Hilfsmittel sind Exhaustoren, Injektoren und Kolbenpumpen. Auch die kompliziertesten Konstruktionen, deren Ausführung in Steinzeug früher für unmöglich gehalten wurde, können heute regulär fabriziert werden. Sind besonders große Gasmengen zu bewältigen, so dienen diesem Zwecke in erster Linie die Kreiselsauger (Exhaustoren) aus Steinzeug, die im wesentlichen in ihrem Bauprinzip den Maschinen aus Metall entsprechen. Aus den Anforderungen im praktischen Betriebe heraus haben sich viele Verbesserungen konstruktiver Art gerade bei solchen Maschinen für chemisch-industrielle Zwecke ergeben, welche den verschiedenartigsten Anforderungen in bezug auf Leistung und Betriebssicherheit gerecht werden. Spezialausführungen von Kolbenpumpen sind hauptsächlich für die Beförderung von Chlorgas geschaffen worden.

Diese Fülle der Anwendungsformen des Steinzeugs zeigt, daß ständig neue Aufgaben an den Steinzeugmaschinenkonstrukteur herantreten. Sie zu meistern würde ihm wesentlich erleichtert werden, wenn noch mehr Erfahrungsmaterial aus dem praktischen Betriebe gesammelt und vorhanden wäre.

Alles, was die chemische Industrie und die mit ihr verwandten Industriezweige in Steinzeug benötigen, läßt sich heute herstellen, nachdem die Vervollkommnung der Bearbeitungsverfahren, in erster Linie der Schleiftechnik und der Montagemöglichkeiten, innerhalb weniger Jahrzehnte den Steinzeugmaschinenbau als Sondergebiet im Reich der Technik entstehen ließ.

Seitdem das Steinzeug erst einmal für grundlegende chemische Vorgänge als Baustoff der Gefäße, Apparate und Maschinen in das chemische Laboratorium und in den chemischen Großbetrieb eingedrungen war, hatte es seine Anwendung auch bald auf viele angrenzende und verwandte Gebiete ausgedehnt und nicht nur überall dort Eingang gefunden, wo chemische Prozesse in Verbindung mit Schwefelsäure, Salzsäure und Salpetersäure vor sich gehen, sondern auch mit bestem Erfolg dazu beigetragen, daß die Reinheit der Produkte der organischen Chemie gefördert und erhöht wurde.

Erst das Steinzeug gab die Möglichkeit, Denitrieranlagen zur Verarbeitung von Abfallsäure aus der Schießbaumwolle- und Nitroglycerinherstellung zu bauen, die in wirtschaftlicher Hinsicht Genüge boten. Nitriertöpfe, Nitriertessel und Nitrier-

zentrifugen aus Steinzeug haben sich insbesondere zur Herstellung von Nitrocellulose, Schießbaumwolle, Pikrinsäure bewährt. Rasch wurde der Nachweis erbracht, daß Steinzeug der prädestinierte Baustoff für eine große Anzahl von Apparaturen der Sprengstoffindustrie ist. Mit dem Rückgang dieser Fabrikation und ihrer teilweisen völligen Stilllegung verloren auch die Steinzeugfabriken ein wesentliches Absatzgebiet. Der Verlust wurde durch ein verwandtes Gebiet ausgeglichen, das sich ungeahnt entwickelte: die Herstellung von Kunstseide. In dieser Industrie stehen dem Steinzeug sicher noch weite Anwendungsmöglichkeiten bevor.

Auch in der organischen Säureindustrie sind zahlreiche Arbeitsvorgänge erst durch Steinzeugapparaturen wirtschaftlich gestaltet worden.

In Anlagen zur Herstellung von Gärungssessig, Ameisensäure, Weinsäure ist Steinzeug in den verschiedensten Anwendungsformen für Schnelllessigbildner, Pasteurkufen, Speichergefäße, Aufgußgefäße, Pumpen, Essigfilter, Rohrleitungen und Hähne in Benutzung.

Oft wird, vor allem in der organischen Chemie, besonderer Wert darauf gelegt, feste Körper unmittelbar in den dampfförmigen Zustand übergehen zu lassen, um sie möglichst rein zu erhalten. Für diese Sublimation wertvoller neuer Verbindungen wie Jod, Campher, Naphthalin werden Sublimiergefäße aus Steinzeug hergestellt. Ihre Aufsatzteile und Deckel sind so hervorragend dicht aufgeschliffen, daß die Gefäße es gestatten, ein bestimmtes Vakuum, welches häufig unerläßlich ist, einhalten zu können. Auch die Destillation erfolgt dann, wenn besonders reine Produkte gewonnen werden sollen, vorwiegend in Steinzeuggefäßen.

Die neben der Sublimation häufig benutzte Krystallisation erfordert für die Herstellung von Verbindungen in chemisch reiner Form Gefäße und Geräte, die von der Lösung nicht angegriffen werden. Daher sind Metalle als Baustoffe meistens ausgeschlossen, und Steinzeug ist der berufene Werkstoff. Abdampfschalen, Krystallisiergefäße, Krystallisierstangen werden vorteilhaft aus Steinzeug hergestellt. Bei besonders großen Gefäßen findet eine Auskleidung der inneren Wandung mit Steinzeugplatten statt.

Für diese Anwendungsgebiete des Steinzeugs ist seine Widerstandsfähigkeit gegen saure und ätzende Einwirkungen maßgebend. Für andere Arbeitsgebiete der Chemie ist das Steinzeug der gegebene Werkstoff, weil es im Gegensatz zu metallenen Gefäßen und Apparaten auch nicht die geringsten Spuren an den Gefäßinhalt abgibt, die nur noch durch geschmackliche Prüfung erkennbar, dann aber meist besonders schädlich sind. Daher gilt Steinzeug nicht nur für die Herstellung der pharmazeutischen Produkte als unentbehrlich, sondern ganz besonders auch

für die Lebensmittelindustrie, soweit sie Suppenwürzen, Fleischextrakte und ähnliche Präparate erzeugt, bei denen größte Sauberkeit und Vermeidung jeglicher Verunreinigung die wichtigste Forderung ist. Aus diesem Grunde werden auch in der Schokoladenindustrie schon Steinzeugwalzen benutzt.

Die großen Schwierigkeiten der elektrochemischen Verfahren wurden durch die Einführung des Steinzeugs vollkommen beseitigt. Galt es doch hier auf dem Gebiet der Herstellung elektrolytischer Bleichlösungen, wie z. B. der Hypochloritlaugen und anderer Bleichmittel, den ganz besonders wirksamen chemischen Aggressivkräften der Laugen, des Chlors, der schwefligen Säure, des aktiven Sauerstoffs usw. zu begegnen. Da Steinzeug durch kein Produkt der Elektrolyse zerstört wird, wurden sämtliche bisherigen Schwierigkeiten durch seine Benutzung restlos gebannt. Weder starke Säuren noch Gase, wie Chlor und ähnliche, konnten das Steinzeug auch in jahrzehntelangem Betrieb bei den schärfsten Beanspruchungen durch ihre chemischen Einwirkungen nennenswert angreifen. Dank der kunstvollen Beherrschung der Formgebungstechnik des Steinzeugs ist es möglich, die kompliziertesten Elektrolyseure, Wannen, Pumpen, Rohrleitungen usw. zu bauen, deren meist ganz genau vorgeschriebene Abmessungen durch Schliff eingehalten werden. Noch mehr aber als für die elektrolytische Herstellung der chlogesättigten Bleichlaugen wird die Chlor- und Alkalibeständigkeit des Steinzeugs bei dem eigentlichen Bleichprozeß ausgenutzt, wo die zerstörende Wirkung des Chlors besonders stark hervortritt.

Da das Bleichen einen sehr wichtigen Arbeitsvorgang auf dem ausgedehnten Gebiet der Textilfaserveredlung darstellt, werden Steinzeuggeräte auch ausgiebig in der Papier- und Textilindustrie für diesen Bleichprozeß benutzt. Das Bleichen der Faser, die Zubereitung der Bleichlösungen, das Färben der Faser, die Herstellung zahlreicher Farbstoffe — alle diese Arbeitsvorgänge gehen nur in Behältern und Apparaturen aus säurebeständigem Steinzeug vor sich. Auch eine Chlorwassermaschine, in der nach einem sehr einfachen Verfahren eine gebrauchsfertige Bleichflüssigkeit durch Auflösung von Chlorgas in Wasser hergestellt wird, besteht aus Steinzeug; ebenso werden zur Aufnahme des Bleichwassers Steinzeugkästen gebraucht. Apparate und ganze Anlagen aus Steinzeug dienen in besonders großem Umfang zur Herstellung und Verwendung auch anderer Bleichmittel, wie Wasserstoffsuperoxyd, Natriumpersulfat, Kaliumpermanganat usw. Neben dem Bleichen der Faserstoffe verlangt auch das Färben der Faser Vermeidung jeglicher Verunreinigungen und bedarf deshalb des Steinzeugs als Werkstoff für Töpfe, Kufen, Walzen und dergl. In der Textilveredlungsindustrie müssen häufig größere Mengen von Waren, die mit Bleichlösungen getränkt sind, lagern. Sie werden auf Unterlagen

aus gelochten Steinzeugplatten gestapelt, die eine unbegrenzte Lebensdauer besitzen, sich schnell reinigen lassen, nicht wie Holzroste verfaulen und daher auch die Ware niemals beschmutzen können. Die Seitenwände solcher Warenlagerbehälter werden darum gleichfalls mit Steinzeugplatten bekleidet.

Auch in der Photochemie gilt peinlichste Sauberkeit als Hauptbedingung aller Arbeitsvorgänge. Daher ist es ratsam, für die Entwickler- und Fixierschalen, Spülwannen, Rillenkästen, Wannen und Becken der Entwicklungstische hauptsächlich Steinzeug zu benutzen, das wegen seiner glatten Wandungen stets leicht zu reinigen, säurebeständig und mechanisch genügend fest ist.

Als eines der jüngsten Anwendungsgebiete des Steinzeugs ist die Elektrotechnik aufgetreten, die an die bisherigen Werkstoffe so unerhört hohe Anforderungen stellte, daß zwischen dem ersten Versuch und der ersten Anwendung über ein Jahrzehnt, erfüllt mit unermüdlicher Forschungsarbeit und industriellen Fortschritten, verging. Neue Sondermassen wurden geschaffen, die erst in weiteren jahrelangen Studien und Beobachtungen die heutigen Ergebnisse lieferten. Nun wird für Höchstspannungsdurchführungen, Stützer und Überwürfe in Kraftwerken in steigendem Umfang und mit hervorragendem Erfolg diese neue Steinzeugspezialmasse benutzt. Bisher wurden große Isolatoren aus anderen keramischen Isolierstoffen aus mehreren einzelnen Teilen zusammengesetzt, die entweder vor dem Brande zusammengarniert, während des Brandes durch schmelzende Glasur miteinander verbunden oder nach dem Brande zusammengekittet wurden. Diesen sehr erheblichen Nachteilen gegenüber gestattet es die Verwendung der „DTS.-Sillimanitmasse“, auch die größten Isolatoren aus einem einzigen Stück, frei von jeder Kittstelle herzustellen. Sie fanden bisher für Spannungen von 100 000 bis 1 000 000 Volt Verwendung.

Die Geschichte der Entwicklung des Steinzeugs führt von seiner ersten technischen Verwendung als römischer Wasserleitungsbaustoff durch alle Stadien künstlerischer, kunstgewerblicher und häuslicher Anwendung zurück zur heutigen Hauptverwendung auf technischem und industriellem Gebiet. Im Zeitalter der Technik ist es nicht nur ein technisch bedeutsamer Werkstoff geworden, sondern es besitzt auch auf vielen industriellen Gebieten eine außergewöhnliche Anpassungs- und Entwicklungsmöglichkeit. Neue Fortschritte auf fremden Gebieten der Technik werden wohl gesteigerte Ansprüche stellen, und eine unermüdliche weitere Entwicklung des Steinzeugs wird die vorauszusehende Folge in der Zukunft sein.

# NAMEN- UND SACHVERZEICHNIS

- Abbau des Tones** 50, 51.  
 53, 56.  
 —, Hand- 52.  
 —, maschineller 52, 53.  
 —, Tongruben - Tagebau 52 und Bild 1 (S. 8).  
 —, unterirdischer 51.  
**Abbaugeräte** 53.  
**Abbauhammer** 53.  
**Abbaustoß** 54, 55.  
**Abbauverlust** 51.  
**Abblättern** 73.  
**Abdampf** 108.  
**Abdampfschalen** 154.  
**Abdichtung** 133, 144.  
 — der Poren 113.  
 —, elastische 144.  
**Abfallsäure** 153.  
**Abflußleitungen** 147.  
**Abgabe von Wasser** 110.  
**Abgabemaschine** 53.  
**Abgase** 118, 121.  
**Abgasverluste** 125.  
**Abhitze** 108, 117.  
**Abkühlkurve** 118.  
**Abkühlung** 37, 38, 43, 74, 106, 113, 115, 118, 121, 129.  
**Abkühlungsgeschwindigkeit** 37, 39, 40, 112.  
**Abkühlzone** 116, 118, 119.  
**Ablagerung** 45, 46.  
 —, Süßwasser- 46.  
 —, Wind- 46.  
**Ableitungen, Jauche-** 146.  
**Abmeißeln** 131.  
**Abmessung, Genauigkeit der** 130.  
**Abnutzbarkeit, Sandstrahl** 142.  
**Abnutzung** 139.  
**Abortanlagen** 145.  
**Abpflügen d. Tonschicht** 53.  
**Abplaten** 102, 113.  
**Abraumbeseitigung** 52, 54.  
**Abraumschicht** 50, 55.  
**Abrichten** 134.  
**Abrollen** 73.  
**Absauganlage** 134.  
**Abscheider, Benzin-** 145.  
**Abschleifen** 135, 144.  
**Abschlußbleche** 117.  
**Abschlußorgan** 117.  
**Abschlußschieber** 124.  
**Abschneiden der Formlinge** 94.  
 — der Rohre 92.  
**Abschneidevorrichtung** 88, 91.  
**Absetzen von Turmteilen** 91 u. Bild 13 (S. 80).  
**Absoluter Porenraum** 138.  
**Absorption** 27, 28, 150.  
 —, Gas- 150, 151.  
 —, Nebel- 151.  
 —, Salzsäure- 150.  
**Absorptionstürme** 150.  
**Absplitterung** 142.  
**Abtragen der Formlinge** 91.  
**Abtransport** 55.  
**Abwärme** 107, 108, 117, 118, 123, 126.  
**Abwärmeverwertung** 59.  
**Abwässer** 144, 145.  
**Abwässerleitungen** 137, 139, 144, 145.  
**Abziehsteine** 131.  
**Abzweige** 93, 144.  
**Abzweigrohre** 94.  
**Achterrotationskörper** 139.  
**Adhäsionswasser** 104.  
**Adsorption** 27, 28, 29.  
**Aggressive Kohlensäure** 145.  
**Aggressivkraft, Chemische** 155.  
**Akkumulatoren** 100, 101.  
**Aktiver Sauerstoff** 155.  
**Alaun, Aluminium-** 40.  
 —, Kali- 40.  
**Albit** 43.  
**Alkali** 36.  
**Alkalibeständigkeit** 155.  
**Alkalien** 28, 142.  
**Alkalihaltiges Gestein** 36.  
**Alkalische Zusätze** 31.  
**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub>** 34, 35, 110.  
**Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** 43, 67, 69.  
**3 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—2 SiO<sub>2</sub>** 35, 110.  
**Alter, geologisches** 47.  
**Alterung** 41.  
**Altman n, Joh. Gottl.** 10.  
**Altrömisches Steinzeug** 67, 137.  
**Aluminate** 41.  
**Aluminiumalaun** 40.  
**Aluminiumcalciumsilicat** 48.  
**Aluminiumnatriumsilicat** 48, 114.  
**Aluminiumnitrat** 40.  
**Aluminiumoxyd** 43, 114.  
**Aluminiumsilicate, Zersetzung der** 32.  
**Aluminiumsulfat** 40.  
**Alumoerdalkalisilicat** 40.  
**Alumosilicat** 40, 45, 73, 74, 110, 141.  
**Aluvialer Ton** 47.  
**Ameisensäure** 150, 154.  
**Amerika** 117, 125.  
**Ammoniakgase** 151.  
**Ammoniumverbindung** 41.  
**Amorphe Flüssigkeiten** 72.  
 — Grundmasse 111.  
 — Kieselsäure 42.  
 — Phase 38, 47.  
**Amorpher Kristallzustand, labiler** 41.  
 — Zustand 42.  
**Amorphes Glas** 37.  
**Analysen von Massen** 67.  
**Analysenapparate, Gas-** 127.  
**Anfangsfeuchtigkeitsgehalt** 105.  
**Anflugglasur** 74, 114, 120.  
**Angarnierung** 94.  
**Angreifbarkeit, chemische** 142.  
**Angriff, basischer** 68.  
 —, chemischer 150.  
**Angriffe, Säure-** 141.  
**Angriffsmöglichkeit** 68.  
**Anhydrierung** 110, 111.  
**Ankleben der Masse** 102.  
**Anlage, Absaug-** 134.  
 —, Ofen- 125.  
 —, Trocken- 126.  
**Anlagekosten** 93.  
**Anlagen, Sicker-** 146.  
 —, Speicher- 152.  
**Anmachewasser** 28, 29, 110.  
**Annawerk A.-G.** 17.  
**Anorganische Industrie** 149, 150.  
**Ansprüche** 156.  
**Anstauchen der Muffe** 90.  
**Anstauung** 130.  
**Ansteigen der Temperatur** 114, 128.  
**Anstrich, Schutz-** 123, 129.  
**Antrieb durch Reibscheibe** 85.  
 —, Exzenter- 97.  
 —, hydraulischer 95.  
 —, Kniehebel- 99.  
**Anwendung** 143, 145, 154.  
 —, häusliche 156.  
 —, kunstgewerbliche 156.  
 —, künstlerische 156.  
**Anwendungsgebiet** 130, 137.  
**Apparate** 136, 146, 153.  
 —, Kühl- 150.  
 —, säurefeste 137.  
 —, Schleif- 131.  
 —, Steuer- 100.  
**Apparatebau** 137.  
**Apparatebaustoff** 140.  
**Apparative Hilfsmittel** 153.  
**Apparaturen** 86, 140, 148, 149, 150, 154, 155.  
**Arbeit, synthetische** 35.  
**Arbeitsform** 80.  
**Arbeitsteilung** 91.  
**Arbeitstemperatur** 102.  
**Arbeitsweise, kontinuierliche** 87, 102, 115.  
**Architektur** 143, 146.  
**Arkansasstein** 131.  
**Armaturen** 136.  
**Asbest** 140.  
**Asche, Flug-** 127.  
**Aschenbecher** 147.

Aschenfall 124.  
 Asphalt 144.  
 Atmosphäre, Ofen- 111.  
 —, oxydierende 115.  
 —, reduzierende 125.  
 Atmosphärieneinwirkung 143.  
 Ätzende Einwirkung, Widerstandsfähigkeit gegen 154.  
 Ätzende Flüssigkeiten 152.  
 — Gase 153.  
 Ätzmaschinen 152.  
 Auf Glasur bemaltes Geschirr 123.  
 Aufbauchungen 113.  
 Aufbereitung 45, 46, 50, 56, 57, 59, 63, 81.  
 —, Naß- 50, 57, 58, 59, 61, 62, 65.  
 —, Trocken- 57, 58, 59, 60, 61, 62.  
 Aufbewahrung 150.  
 Aufdrehen, Frei- 83.  
 Aufeinanderpressen 94.  
 Aufgaben 139, 149.  
 Aufgußgefäße 154.  
 Auflockerungsprozeß 59.  
 Auflösung von Chlorgas 155.  
 — des Tones 64.  
 Aufnahmefutter 131.  
 Aufrauhern 83, 84, 85, 86.  
 Aufrühren 64.  
 Aufsatzteile 154.  
 Aufsaugerversuch 138.  
 Aufschlammung 64.  
 Aufspannen 132, 135.  
 Aufsprengen der Stoßkanten 94.  
 Aufsteigende Flamme 122, 126.  
 Aufstreichen 83, 84, 88.  
 Aufstreichverfahren von Hand 86.  
 Auftragen 86.  
 Aufwaschtische 147.  
 Ausbildung des Ofens 117.  
 Ausbohren 133.  
 Ausbreitung 148.  
 Ausdehnung 140.  
 Ausdehnungskoeffizient 25, 39, 40, 68, 70, 73, 136, 140, 142.  
 Ausfall 104, 112.  
 Ausflocken von Gelen 29.

Ausfüllung des Raumes 111.  
 Ausgleichvorrichtung, Hydraulische Druck- 100, 101.  
 Ausgrabungen 5.  
 Ausgußbecken 147.  
 Auskleidung 145, 154.  
 Ausrüstung 42.  
 Auslaugung, Säure- 142.  
 Ausmeißeln 131.  
 Ausrichten 132.  
 Ausscheidung, magmatische 48.  
 Ausschleifen 135.  
 Außenluft 117, 124.  
 Außenrille 92.  
 Aussetzen 129.  
 Auswahl, Material- 141.  
 Auswuchtung 91.  
 Automaten, Säure- 152.  
 Automatisch arbeitende Maschinen 135.  
 Automatische Gasdruckregler 129.  
 Azidität des Bodens 146.

**B**adewannen 147.  
 Badezimmer 147.  
 Badische Tonröhrenfabrik 17.  
 Bagger 50, 52, 53, 54, 55.  
 —, Ton- 54 und Bild 2 (S. 16).  
 Baltimore-Steinzeug 67.  
 Band, laufendes 115.  
 Bänder, Raupen- 54.  
 BaO 37, 39, 67, 68, 70.  
 BaO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub> 39, 68.  
 Basalt 44, 48.  
 Basen 68.  
 Basenbeständigkeit 25, 39, 68, 69, 149.  
 Basische Bestandteile 70.  
 Basisches Flußmittel 67.  
 Bassin 65.  
 Bauermeister, O. & Co. 17.  
 Bauform 139.  
 Baumaterial 137, 143.  
 Baustoffe 137, 138, 148, 153.  
 Bauten, Luxus- 146.  
 —, Nutz- 146.

Bauweise, Rationalisierung der 143.  
 Bauxit 48.  
 Beanspruchung, Druck- 136, 144.  
 —, elektrische 141.  
 —, mechanische 136, 141.  
 —, Spann- 135.  
 —, Werkstoff- 137.  
 —, Zug- 136, 139, 144.  
 Beanspruchungen 141, 155.  
 Bearbeitung 130, 131, 135, 136, 153.  
 —, Metall- 134, 135.  
 —, Naß- 132.  
 —, Schleif- 136.  
 —, spanabhebende 130.  
 —, Trocken- 132.  
 Bearbeitungsfläche 131.  
 Bechereindrehmaschine 85.  
 Becken 156.  
 Bedarf an Brennstoff 129.  
 —, Kraft- 55.  
 Bedarfsartikel, elektrotechnische 102.  
 Bedingungen, wirtschaftliche 59.  
 Beendigung des Brandes 127.  
 Beförderung 153.  
 Behälter, ringförmige 150.  
 —, Transport von Groß- 129, 140 und Bild 24 (S. 148).  
 Beheizung 118, 123, 125.  
 —, elektrische 117.  
 — der Form 102.  
 —, Gas- 125.  
 — von Trockenanlagen 108.  
 Belag, Boden- 139.  
 Belastung, stoßweise 139.  
 Belitzer Ton 69.  
 Benzinabscheider 145.  
 BeO 67, 70.  
 Berdel, E. 8.  
 Bergbau 52, 54, 55.  
 Beschicker, Kasten- 60, 61.  
 Beschickung der Feuerung 114.  
 —, periodische 124.  
 —, Pressen- 89.  
 —, Rost- 114, 124.

Beschickungsvorrichtung 60.  
 Beschleunigung der Fabrikation 108.  
 Beständigkeit, Alkali- 155.  
 —, Basen- 39, 149.  
 —, Chlor- 155.  
 —, Hitze- 68.  
 —, Laugen- 153.  
 — gegen Metallschmelzen 68.  
 —, Säure- 39, 68, 69, 74, 149, 153, 155, 156.  
 —, Temperaturwechsel 70, 149, 152.  
 Betriebsgröße 122.  
 Betriebssicherheit 153.  
 Beugungsdiagramm 35.  
 Bewässerung 146.  
 — des Mundstücks 89.  
 Biegefestigkeit 139, 142.  
 —, Schlag- 70.  
 Bietsame Welle 133.  
 Bildsame Masse 87.  
 Bildsamer Ton 47.  
 Bildsamkeit 27, 28, 29, 30, 66, 81, 97.  
 —, Steigerung 30.  
 Bindefähigkeit 32.  
 Bindemittel, kieseliges 47.  
 —, keramisches 133.  
 —, mineralisches 133.  
 —, vegetabilisches 133.  
 Bindigkeit 81.  
 Bindung, Festigkeit der 133.  
 Bitterfelder Steinzeug 67.  
 — Ton 69.  
 Bituminöse Substanz 11.  
 Blasenbildung 95, 113.  
 Blauton, Järischauer 69.  
 Bleiborsäureglasur 74.  
 Bleichlösungen 155.  
 Bleichwasser 155.  
 Bleifreie Glasuren 72.  
 Bleiglasur 72, 74, 123.  
 Bleioxyd 128.  
 Blumenvasen 147.  
 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 37, 68.  
 Boden des Ofens 126.  
 —, Trocken- 92.  
 Böden, Glätten von 86, 96 u. Bild 11 (S. 64).  
 Bodenazidität 146.  
 Bodenbelag 139, 146.

Bogenrohre 144.  
 Bohren 130, 133.  
 Bohrhammer, Preßluft- 56.  
 Bohrhülse 133.  
 Boltzmann, Stephan-Ge-  
 setz 112.  
 B o n t e 17.  
 Borsäure 128.  
 Borsäureglasur, Blei- 74.  
 Böschung 54.  
 Böttchersteinzeug 148.  
 Bottiche, Spül- 147.  
 Brand 112, 121, 124,  
 126, 128, 134.  
 — Beendigung des —es  
 127.  
 —, neutraler 37, 118.  
 —, oxydierender 37, 118,  
 119.  
 —, reduzierender 37,  
 118, 119.  
 —, Schwach- 126.  
 Brandführung 112, 117.  
 —, wirtschaftliche 128.  
 Brandraum 122.  
 B r a n d t, C. A. 23.  
 —, Münsterberger Ton-  
 röhren- u. Chamotte-  
 fabrik 17.  
 Brandüberwachung 127,  
 128, 129.  
 Brauneisen 47.  
 Braugeschirr, Nieder-  
 schlesisches 10.  
 Braunglasur 12.  
 Braunkohle 47, 123, 124.  
 Braunkohlenbrikett 123,  
 124.  
 Braunkohlentiefbau 51.  
 Braunkohlenton 70.  
 Braunstein 49.  
 Brausemulden 147.  
 Brechungsindex 35.  
 Breiförmiger Zustand  
 65, 76.  
 Brennbetrieb, kontinu-  
 ierlicher 122.  
 Brenndauer 37, 39, 41,  
 112, 113, 119, 120,  
 129.  
 Brenndauerverkürzung  
 112.  
 Brennen 37, 38, 40, 73,  
 79, 83, 93, 95, 97,  
 98, 101, 106, 110,  
 111, 112, 113, 115,  
 116, 119, 120, 122,  
 127.

Brennen der Glasuren  
 72, 74.  
 —, Ein- 120.  
 —, keramisches 125.  
 —, oxydierend 113.  
 —, reduzierend 114.  
 Brennfarbe 71.  
 Brenngas 125, 129.  
 Brenngut 116, 117, 118,  
 119, 121, 122, 123,  
 124, 125, 129.  
 —, ruhendes 120.  
 —, wanderndes 120.  
 Brennhöhe 37, 39, 41,  
 111.  
 Brenninstrument 120,  
 121.  
 Brennkammer 121.  
 Brennkanal 117.  
 Brennofen 107, 122, 123.  
 —, gasgefeuerter 115.  
 —, kleiner 124.  
 —, kontinuierlicher 121.  
 —, ölgefeuerter 115.  
 —, Tunnel- 109.  
 —, Wirkungsgrad 125.  
 Brennöl 125.  
 Brennperiode 111, 112,  
 127.  
 Brennplatten 116.  
 Brennprobe 114.  
 Brennprozeß 32, 40, 41,  
 42, 82, 104, 110, 115,  
 116, 127.  
 Brennraum 116, 119,  
 122, 123, 125.  
 Brennrisse 82.  
 Brennschlitten 116.  
 Brennschwindung 71, 79,  
 88, 110, 111, 127,  
 130.  
 Brennstadium 127.  
 Brennstelle 116, 118.  
 Brennstoff 114, 124,  
 126.  
 Brennstoffausnutzung  
 25.  
 Brennstoffbedarf 129.  
 Brennstoffe, feste 116,  
 117, 123.  
 —, flüssige 116, 123, 125.  
 —, gasförmige 116, 123.  
 Brennstoffentgasung  
 124.  
 Brennstoffersparnis 118.  
 Brennstoffzuführung 125.  
 Brenntemperatur 67, 68,  
 72, 141.  
 —, Gar- 120.

Brennvorgang 110, 115.  
 Brennwagen 116, 117.  
 Brennzeit 113.  
 Brennzone 116, 121.  
 —, feststehende 120.  
 —, wandernde 120.  
 Briesener Ton 69, 70.  
 Briketts, Braunkohlen-  
 123, 124.  
 Bronzezeit 5.  
 Bruchbau, Pfeiler- 51.  
 Bruchgefahr 144.  
 Bruchlast 139.  
 Brunnenfilter 145.  
 Bums 127.  
 Bunker 60.  
 Bunzlau 7.  
 Bunzlauer Ton 71.  
 — Töpferei 9.  
 Bürgersteigplatten 139.  
 Butterfässer 146.

#### Calcium - Aluminium- Silicat 48.

Caliumcarbonat 48.  
 Campher 154.  
 CaO 39, 67, 68, 69, 70.  
 CaO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 34.  
 CaO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub> 34.  
 CaO—SiO<sub>2</sub> 34.  
 Carbid, Silicium 49.  
 Carbide 36.  
 Carbonate 41, 71, 110.  
 Carburierung 151.  
 Cellarius 150.  
 Celsian 40.  
 Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 37.  
 Cer 38.  
 Ceraluminat 41.  
 Cercarbonat 41.  
 Ceroxyd 41, 49.  
 Cersilicat 41.  
 Charakteristik, optische  
 35.  
 Chemie 148, 150.  
 —, organische 153.  
 —, Photo- 156.  
 Chemikalien 137, 142.  
 Chemische Aggressiv-  
 kraft 155.  
 — Angreifbarkeit 142.  
 — Eigenschaft 36, 37,  
 137, 148.  
 — Einwirkungen 110,  
 155.  
 — Forschung 148.  
 — Homogenität 36.

Chemische Industrie 86,  
 137, 148, 149, 151,  
 152, 153.  
 — Prozesse 142, 150,  
 153.  
 — Reaktionen 32, 41,  
 111.  
 — Reinheit 154.  
 — Umsetzung 111.  
 — Umwandlung 125.  
 — Verfahren 149.  
 — Verwendung 153.  
 — Vorgänge 115.  
 — Widerstandsfähigkeit  
 25, 68, 75, 137, 148,  
 152.  
 — Zersetzung 110.  
 — Zusammensetzung  
 37, 38, 42, 43, 68,  
 111, 141.  
 Chemischer Angriff 150.  
 — Großbetrieb 153.  
 Chinarotglasuren 5.  
 Chinesisches Steinzeug  
 67.  
 Chlor 155.  
 Chlorbeständigkeit 155.  
 Chlorgas 153.  
 —, Auflösung von 155.  
 Chlorwassermaschine  
 155.  
 Chrom 38.  
 Chromaluminat 41.  
 Chromcarbonat 41.  
 Chromerze 49.  
 Chromoxyd 41, 49.  
 Chromsilicat 41.  
 CoO 37, 67, 68, 71.  
 Cobaltoxyd 49.  
 C o n z e n, J. & Co. 18.  
 Cordierit 49.  
 C r e m e r & B r e u e r  
 G. m. b. H. 18.  
 Cristobalit 43.  
 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 68.  
 Cyanit 40.

**Dampf**, überhitzter 115.  
 Dämpfe, Salz- 114, 115.  
 Darrentrocknung 59.  
 Dauer des Brennens  
 112, 113, 120, 129.  
 — der Erhitzung 111,  
 128.  
 — — Fabrikation 120.  
 — — Trocknung 108,  
 109.  
 Deckel 154.

Deckelabdichtung 133.  
 Deckgebirge 52.  
 Deckmaterial 102.  
 Deformierung 78, 91,  
 92, 120, 126.  
 Deggendorfer Ton 69.  
 Dehnung, Wärme- 136,  
 140.  
 Dekorationsmöglichkeit  
 74.  
 Dekoration 147.  
 Delft 13.  
 Denitrieranlagen 153.  
 Dephlegmation 151.  
 Desinfizierbarkeit 147.  
 Desintegrator 60, 66.  
 Destillation 151, 154.  
 Deutsche Steinzeugwaren-  
 fabrik für Kanali-  
 sation u. chemische  
 Industrie Friedrichs-  
 feld 17, 23, 24.  
 — Ton- und Steinzeug-  
 werke A. - G. Char-  
 lottenburg 17, 21, 22,  
 23, 24, 25.  
 Deutsches Museum in  
 München 21.  
 Devon 48.  
 Diagramm, Beugungs-  
 35.  
 Diamant 133, 134.  
 Dichte 110, 136, 138,  
 142, 144, 145.  
 — durch Druck 97.  
 — der Masse 38.  
 Dichtigkeit von Hähnen  
 135.  
 — der Rohrleitung 90.  
 Dichtschliff 133, 135,  
 136, 154.  
 Dichtungsfläche 136.  
 Dichtungsmaterial 144.  
 Dicke der Scherben 105,  
 106, 112, 113, 115,  
 118, 122, 123, 141.  
 — Masseblätter 86.  
 Dielektrischer Verlust-  
 winkel 68.  
 Dielektrizitätskonstante  
 141, 142.  
 Differenz der Tempera-  
 tur 113.  
 Diffusion in festem Zu-  
 stande 33.  
 Dilatation 42.  
 Dioxyde 68.  
 Dispersionsmittel 79, 80.

Disthen 40.  
 Dolomit 44, 48, 49, 56.  
 Doppelschleuse 117, 119.  
 Doultou 14, 20.  
 Drachenzähne 89, 94.  
 Drainageröhren 90.  
 Drehbank 91, 134.  
 Drehen 76, 82, 88, 130  
 und Bild 8 (S. 48).  
 — der Masse 81, 96.  
 —, Ein- gr. Waren 82  
 und Bild 9 (S. 56).  
 —, Frei- 82 und Bild 7  
 (S. 44).  
 Dreher spindle 85.  
 Drehgeschwindigkeit 82.  
 Drehscheibe 91.  
 Drehstuhl 130, 134.  
 Drehtisch 101.  
 Dreiphasensystem 39, 40.  
 Dreirohrschlange 94 und  
 Bild 16 (S. 100).  
 Dreistoffsystem 34, 39,  
 68.  
 Druck 80, 84, 85, 89, 99,  
 100, 101, 138.  
 —, Formgebungs- 80, 96.  
 —, Gas- 129.  
 —, gleichmäßiger 88.  
 —, Hebel- 103.  
 —, Innen- 139, 145.  
 —, Nieder- 100.  
 —, Preß- 95, 96, 98, 99,  
 100, 102, 103.  
 —, Spindel- 103.  
 —, Streich- 84.  
 Druckausgleicher 100,  
 101.  
 Druckautomaten 152.  
 Druckbeanspruchung 90,  
 136.  
 —, innere 144.  
 Druckbirnen 152.  
 Druckeffekt 77.  
 Druckerhöhung 98.  
 Druckfestigkeit 97, 120,  
 126, 138, 139, 142,  
 143, 152.  
 —, Kugel- 140, 142.  
 Druckperiode 98.  
 Druckpumpe, Hoch- 100.  
 Druckregulierung 99.  
 Druckrohre 136.  
 Druckrohrleitung 80.  
 Druckschwankungen  
 129.  
 Druckspannung 140.  
 — zwecks Verdichten  
 97.

Druckverformung 81, 82,  
 98.  
 Druckwasser 100.  
 Druckwirkung 101.  
 DTS-Sillimanit 141, 156.  
 Dünne Masseschichten 86.  
 Dünnwandige Rohre 93.  
 Durchführungen, Höchst-  
 spannungs- 156.  
 Durchgangswiderstand  
 152.  
 Durchknetung 89.  
 Durchmesser von Rohr-  
 muffen 90.  
 Durchschlagsfestigkeit  
 38, 141, 142.  
 —, elektrische 37, 38, 68,  
 69.  
 Durchtritt, Flüssigkeits-  
 151.  
 —, Gas- 151.  
 Durchtrittslöcher 151.  
 Düsen 115, 125.  
**E**arthenware 15.  
 Edelton, Zinzendorfer 70.  
 Egge, Schlamm- 64.  
 Eiförmiger Querschnitt  
 90.  
 Eigenschaften 110, 111,  
 132, 133, 149.  
 —, chemische 36, 37, 137,  
 148.  
 —, elektrische 141, 142.  
 —, Entwicklung der 141.  
 —, Festigkeits- 136.  
 —, Material- 137, 138.  
 —, mechanische 140, 142.  
 —, physikalische 36, 37,  
 42, 43, 63, 68, 70,  
 81, 110, 137, 148.  
 —, Tabelle der 142.  
 —, thermische 140, 142.  
 Eimerkettenbagger 53,  
 54.  
 Einblaseverfahren 115.  
 Einblasevorrichtung,  
 Salz- 119.  
 Einbrennen 120.  
 Eindickung d. Schlämme  
 65.  
 Eindreihen 82 u. Bild 8  
 (S. 48).  
 — großer Waren 82 u.  
 Bild 9 (S. 56).  
 — kleiner Töpfe 82 und  
 Bild 8 (S. 48).  
 — der Rillen 91.

Eindrehrmaschine,  
 Becher- 85.  
 Einfahren der Wagen  
 117.  
 Einfahrtsschleuse 117.  
 Einflüsse, chemische 110.  
 —, physikalische 110.  
 Einformverfahren in  
 Gipsformen 93.  
 Einfritten 73.  
 Einmachefässer 94.  
 Einmachetöpfe 147.  
 Einpökeln 147.  
 Einrichten 135.  
 Einrichtungen, hygieni-  
 sche 144, 146.  
 —, Stall- 146.  
 Einsatz 129.  
 —, Ofen- 113.  
 Einsatzkästen 147.  
 Einsatzmöglichkeit 127.  
 Einsatztür 115, 127.  
 Einsatzweise 126, 127.  
 Einschleifen 135.  
 Einschleusung 117.  
 Einschüttung, lose 151.  
 Einsetzen in den Ofen  
 126, Bild 22 (S. 136).  
 Einsprengling i. Glas 37.  
 Einstoffsystem 42.  
 Einstreichen 86.  
 Einweichprozeß 62.  
 Einwirkung, Wider-  
 standsfähigkeit gegen  
 ätzende 154.  
 Einwirkungen, chemische  
 155.  
 Einzelkammer 120, 127.  
 Einzelofen 116, 127.  
 —, Rund- 118.  
 —, viereckiger 118, 125.  
 Eisen, Braun- 47.  
 Eisenblechhülse, konische  
 135.  
 Eisenchlorid 41.  
 Eisenfreiheit 142.  
 Eisenhaltiger Ton 36, 70.  
 Eisenhaltiges Wasser  
 145.  
 Eisenkies 59.  
 Eisenkiesabbrände 70.  
 Eisenoxyd 36, 74, 128.  
 Eisenoxydul 74.  
 Eisenrohre 145.  
 Eisenscheibe 132.  
 Eisensilicat 38.  
 Eisenstein, Magnet- 48.  
 Eisenverbindungen 142.

Eiszeit 3.  
 Elastische Abdichtung 144.  
 — Zwischenschicht 140.  
 Elastizität 144.  
 — der Glasschicht 73.  
 Elastizitätskoeffizient 139.  
 Elastizitätsmodul 139, 142.  
 Elektrische Beanspruchung 141.  
 — Beheizung 117.  
 — Durchschlagsfestigkeit 37, 38, 68, 69.  
 — Eigenschaften 141, 142.  
 — Entladung 141.  
 — Isolation 141.  
 — Leitfähigkeit 41, 68, 69, 70.  
 — Widerstandsfähigkeit 68, 69, 70.  
 Elektrischer Nichtleiter 41.  
 Elektrochem. Verfahren 155.  
 Elektrokorund 49, 133.  
 Elektrolyse 155.  
 Elektrolyte 66, 77, 81.  
 Elektrolytische Bleichlösungen 155.  
 Elektromagnetische Kupplung 91.  
 Elektrotechnik 137, 148, 156.  
 Elektrotechnische Bedarfsartikel 102.  
 — Isolatoren 86.  
 — Massenfabrikate 103.  
 Elliptischer Querschnitt 90.  
 Emailglasur 5, 6.  
 Empirie 149.  
 Enantiotroper Stoff 42.  
 Endloser Strang 87, 88.  
 Endogene Entstehung d. Kaolinlagerstätten 46.  
 Endtemperatur 126.  
 England 13.  
 Engobe 71, 75, 102.  
 Enstatit 39, 40, 49.  
 —, Klino- 49.  
 Enteisung 65.  
 Entgasung des Brennstoffs 124.  
 Entglasung 34, 38.

Entkeimungsmöglichkeit 146.  
 Entladung, elektrische 141.  
 Entlüftung 98, 101.  
 Entmischung 73.  
 Entstehung des Kaolins 45, 46.  
 — der Salzglasur 114.  
 Entwässerung 29, 65, 146.  
 — d. Gießschlickers 80.  
 —, Haus- 144.  
 —, Straßen- 144.  
 Entwicklerschalen 156.  
 Entwicklung 137, 144, 148, 149, 150, 156.  
 — d. Eigenschaften 141.  
 —, Geschichte d. 1, 156.  
 —, historische 1.  
 —, Oberflächen- 151.  
 Entwicklungstische 156.  
 Erdalkali-Alumosilicat 40.  
 Erdalkalien 68, 70.  
 Ergußgestein 48.  
 Erhitzung 110.  
 — der Kapseln 127.  
 Erhitzungsdauer 111.  
 Erhitzungsgeschwindigkeit 35, 42.  
 Erhitzungshöhe 42.  
 Erhitzungskurve 34.  
 Ersparnis, Brennstoff- 118.  
 Erstarrungspunkt 37.  
 Erwärmung 117.  
 Erwärmungsdauer 128.  
 Erwärmungsprinzip im Gegenstrom 116.  
 Erweichung 42, 126, 128.  
 Erweichungspunkt 110, 128.  
 Espenschied, J. F., 17.  
 Essig, Gärungs- 154.  
 Essigbildner, Schnell- 154.  
 Essigfilter 154.  
 Essiggefäße 147.  
 Eutektikum 32, 33, 34, 36, 37, 111.  
 Exhaustor 80, 153.  
 Exogene Entstehung der Kaolinlagerstätten 45.  
 Extrakte, Fleisch- 155.  
 Extraktion, Säure- 142.  
 Exzenterantrieb 97.

**Fabrikate** 145.  
 Fabrikation, kontinuierliche 115.  
 — von Rohren 109.  
 Fabrikationsbeschleunigung 108.  
 Fabrikationsdauer 120.  
 Facettenrisse 98.  
 Fachschule, keramische, in Bunzlau 11.  
 —, —, in Höhr 8.  
 Fahrbahn, Bagger- 54.  
 Fahrstraße 146.  
 Fallstempelpresse 99.  
 Falsche Luft 114.  
 Farbe 71, 74, 143, 145, 147.  
 —, Brenn- 71.  
 — der Glasur 74.  
 —, Muffel- 120.  
 —, Unterglasur 74.  
 Färben der Faser 155.  
 Farblosigkeit 150.  
 Farbschicht 102.  
 Farbstoffe 155.  
 Faser, Färbung der 155.  
 Faserige Struktur 35.  
 Faserveredlung, Textil- 155.  
 Fässer, Einmache- 94.  
 —, Pökel- 94.  
 Fehler 61, 120.  
 Feile, Schleif- 131.  
 Feingut 64.  
 Feinheit, Kolloide 31.  
 — des Kornes 34, 59, 135.  
 Feinkeramik 95.  
 Feinmahlanlage 64, 65.  
 Feinmahlung 34, 37, 60, 64, 111.  
 —, Naß- 64, 65.  
 Feinschliff 134.  
 Feinsteinzeug 8, 148.  
 Feinwalzwerk 63.  
 Feldspat 36, 44, 47, 48, 56, 58, 60, 63, 64, 71, 128.  
 —, Kali- 43, 68, 70.  
 —, Kalknatron- 49.  
 —, Natron- 43, 68, 70.  
 —, Zersetzung des 45.  
 Feldspatgehalt 68.  
 Feldspatglasur 9, 74.  
 FeO 39, 67, 68, 70.  
 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 68, 69.  
 FeO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 34.  
 FeO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub> 34.  
 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub> 34.

**Ferrosilicium** 49.  
 Feste Brennstoffe 116, 117, 123.  
 — Phase 27, 28, 30, 31, 42.  
 Festigkeit 110, 132, 141.  
 —, Biege- 139, 142.  
 — der Bindung 133.  
 —, Druck- 97, 120, 126, 138, 139, 142, 143, 152.  
 —, Durchschlags- 38, 141, 142.  
 —, Kugeldruck- 140, 142.  
 —, mechanische 25, 68, 69, 104, 137, 156.  
 —, Säure- 143.  
 —, Schlagbiege- 142.  
 —, Stand- 127.  
 —, Stoß- 139, 149.  
 —, Torsions- 142.  
 —, Wetter- 143.  
 —, Zug- 139, 142, 149.  
 Festigkeitseigenschaften 136, 140.  
 Festigkeitsgrenze 78, 137.  
 Festigkeitsprüfung 138.  
 Feststehende Brennzonen 120.  
 Fette Tone 105.  
 Fettfänger 145.  
 Fetton, Lehauer 69.  
 Feuchtigkeit 104, 106, 107, 108,  
 Feuchtigkeitsgehalt 93, 95, 97, 99, 102, 103, 104, 105, 109, 111.  
 Feuchtigkeitsgrad 97.  
 Feuchtigkeitsverteilung 98.  
 Feuer, Scharf- 126.  
 —, Voll- 115, 121.  
 Feuerfeste Spezialitäten 123.  
 — Stoffe 39, 123.  
 Feuerfester Mörtel 115, 127.  
 Feuerfestigkeit 68, 69.  
 Feuerfortschritt 116.  
 Feuergase 41, 112, 116, 119, 121, 122, 125.  
 Feueröffnungen 115.  
 Feuerperiode, Voll- 113.  
 Feuerschwindung 106.  
 Feuerung 114, 116, 117, 122, 123, 124, 126.  
 —, Gas- 125.

Feuerung, Halbgas- 117, 124.  
 —, Ofen- 122 u. Bild 21 (S. 128).  
 —, Öl- 117.  
 —, Planrost- 124.  
 —, Schrägrost- 124.  
 Feuerungsbeschickung 114.  
 Feuerwächter 122.  
 Feuerzone, Scharf- 119.  
 Fikentscher, Fr. Ch., 21, 23.  
 Filter, Brunnen- 145.  
 —, Essig- 154.  
 Filterpresse 29, 31, 65, 66 u. Bild 5 (S. 32).  
 Filterpreßkuchen 66.  
 Findling 54.  
 Fixierschalen 156.  
 Fläche, Bearbeitung 131.  
 —, Reaktions- 142.  
 Flächenschleifmaschine 132.  
 Flächenschliff 132, 133, 135 u. Bild 23 (S. 114).  
 Flachform 151.  
 Flamme, aufsteigende 126.  
 —, niederschlagende 122.  
 —, überschlagende 121, 122, 126.  
 Flammgase 117, 119.  
 Flammgaszusammensetzung 118.  
 Flanschen 90.  
 Flanschenlose Rohre 89.  
 Flanschenrohr 90.  
 Flaschen 150.  
 Flintkugel 65.  
 Flocken 28.  
 Flügel, Rühr- 60.  
 Flügelräder 80.  
 Fleischereiabwässer 145.  
 Fleischextrakte 155.  
 Fliesen 81, 97, 100, 127.  
 Fließarbeit 115.  
 Fließen d. Breies 76, 77.  
 Fließgrenze 77, 79, 81, 89.  
 Fließpreßdruck 77.  
 Fließwirkung 77.  
 Flugasche 127.  
 Flüssige Brennstoffe 116, 123, 125.  
 — Masse 65.  
 — Phase 27, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 41.  
 — Schmelze 37.  
 Flüssiger Zustand 42, 96.

Flüssigkeiten, amorphe 72.  
 —, ätzende 152.  
 —, saure 150, 152.  
 —, unterkühlte 72.  
 —, viskose 77.  
 Flüssigkeitsdurchtritt 151.  
 Flüssigkeitsförderung 152.  
 Flüssigkeitshütchen 29, 30.  
 Flüssigkeitsverdampfung 151.  
 Flüssigkeitsverhalten 78, 80, 97.  
 Flüssigkeitsverteiler 152.  
 Flüssigkeitszustand 98.  
 Flußmittel 36, 37, 44, 67, 68, 73, 111, 114.  
 —, basisches 67.  
 Flußsäure 69, 141, 142.  
 Fördergefäß 55.  
 Fördermaschinen 152.  
 Förderschnecke 88.  
 Förderung 52, 55.  
 —, Flüssigkeits- 152.  
 Form 95, 96, 99, 100, 144.  
 —, Arbeits- 80.  
 —, Bau- 139.  
 — der Muffe 91.  
 —, feste 76.  
 —, flache 151.  
 —, Gießhohl- 80.  
 —, Holz- 86.  
 —, Kegel- 151.  
 —, krystalline 33.  
 —, Metall- 86.  
 —, plastische 96.  
 —, physikalische 38.  
 —, scharfkantige 97.  
 —, stählerne 97, 100.  
 Formation, geologische 47.  
 Formarbeit 86.  
 Formapparate 88.  
 Formbarkeit 66.  
 Formbegrenzung 35.  
 Formbeheizung 102.  
 Formen 76, 78, 99, 101.  
 —, Blech- 102.  
 —, Gips- 94.  
 Former 85.  
 Formgebung 37, 57, 62, 76, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 88, 90, 93, 94, 95, 96, 102, 103, 104, 107, 130, 131, 155 und Bild 7 (S. 44).

Formgebung der Rohre 91.  
 — d. Gießen 79, 80.  
 —, maschinelle 87.  
 —, plastische 37.  
 —, Trocken- 96.  
 — von Hand 93.  
 Formgebungsdruck 80, 88, 96.  
 Formgebungsmaschinen 81.  
 Formgebungsmethode 61, 76, 79.  
 Formgebungsschwierigkeiten 149.  
 Formgebungsverfahren 57, 66, 105.  
 Formgenauigkeit 41, 78.  
 Formkern 86.  
 Formling 79, 80, 82, 86, 87, 88, 94, 95, 96, 98, 100, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 121, 126, 127.  
 —, Abschneiden des 94.  
 —, Gefüge des 96.  
 —, lederharter 97.  
 —, ofenreif 97.  
 —, Preßdruck- 93.  
 —, Roh- 92, 98, 117.  
 —, weicher Rohr- 91.  
 Formmundstück 88.  
 Formquerschnitt 100.  
 Formsteine 95.  
 Formstück 80, 130, 145.  
 Formtisch 101.  
 Formung von Rohren 91.  
 Formvereinheitlichung 81.  
 Formverfahren 85, 95, 97.  
 Formvorgang 90, 91, 93, 94, 95, 98.  
 Forschungsarbeit 148, 156.  
 Forschungsaufgaben 139.  
 Forsterit 39, 40, 49.  
 Fortbewegung, Gas- 153.  
 Fortschritte 138, 150, 156.  
 —, Feuer- 116.  
 Fraktionierte Destillation 151.  
 Frankreich 13.  
 Fräsen 130.  
 Freidrehen 82, 83.  
 Freidreher 82 u. Bild 7 (S. 44).  
 Freie Oberfläche 30.

Friedrichsfeld 17.  
 Friktionskupplung 82, 91.  
 Frischluft 116.  
 Fritte 73.  
 Fritten, Ein- 73.  
 Frittenglasur 72, 73.  
 Frohnsdorfer Ton 69.  
 Fuchs, Ofen- 107.  
 Fuge, Kitt- 136.  
 Führung d. Brandes 112, 117, 128.  
 Füllkasten 101.  
 Füllkörper 149, 150, 151.  
 Fülltrichter 124.  
 Fußantrieb 82.  
 Fußbadewannen 147.  
 Fußbodenbelag 146.  
 Fußbodenplatte 97, 100.  
 Futter, Aufnahme- 131.  
 Futteraufbewahrung 146.  
 Futterkrippen 146.  
 Futtertröge 146.

**Garbrand** 126.  
 — von Salzglasuren 74.  
 Garbrandtemperatur 73, 120, 125.  
 Gare 72, 74.  
 —, Salz- 114, 120.  
 Garnieren 78, 79, 84, 86.  
 Garnierfläche 78, 79, 86.  
 Garniermethode 79, 86.  
 Garnierschlicker 78.  
 Garnierstelle 78, 79, 84.  
 —, Hilfs- 84, 85.  
 Garnierung 15, 93.  
 Gärung des Grünfutters 146.  
 Gärungssessig 154.  
 Gas 121, 155.  
 —, Gicht- 117.  
 Gasabsorption 150, 151.  
 Gasanalysenapparate 127.  
 Gasbeheizung 125.  
 Gasdichter Schliff 136.  
 Gasdruck 129.  
 Gasdruckregler, automatische 129.  
 Gasdurchtritt 151.  
 Gase, Ammoniak- 151.  
 —, ätzende 153.  
 —, Brenn- 125, 129.  
 —, Chlor- 153.  
 —, Feuer- 112, 116, 119, 121, 125.  
 —, Flamm- 117, 119.  
 —, Generator- 117.

- Gase, Heiz-** 116.  
 —, Kohlensäure- 151.  
 —, Koksofen- 117.  
 —, Ofen- 128.  
 —, Salzsäure- 151.  
 —, saure 150.  
**Gasfeuerung** 125.  
 —, Halb- 117, 124.  
**Gasflammkohlen, langflammige** 123.  
**Gasförmige Brennstoffe** 116, 123.  
**Gasfortbewegung** 153.  
**Gasgefeuerte Brennöfen** 115, 129.  
**Gasgeschwindigkeit** 112.  
**Gaskammerofen** 116, 120, 121, 123, 125, 127.  
 —, Shaw- 120 u. Bild 20 (S. 124).  
**Gaskanal, Haupt-** 121.  
**Gasleitungen** 129.  
**Gasmenge** 153.  
**Gassammelkanal, Rauch-** 121.  
**Gasverbrennung** 125.  
**Gay-Lussactürme** 149.  
**Geber** 20.  
**Gebirge, Deck-** 52.  
**Gebirgsdruck** 47.  
**Gebraunte Scherben** 71.  
**Gebrauchswasserleitung** 145.  
**Gebrauchszwecke, hauswirtschaftliche** 143.  
**Gefälle, Temperatur-** 112.  
**Gefäße** 150, 153.  
 —, Aufguß- 154.  
 —, Essig- 147.  
 —, Förder- 55.  
 —, geschlossene 152.  
 —, Kondensations- 149, 150.  
 —, Krystallisier- 154.  
 —, Säure- 152.  
 —, 6000-Liter- 152.  
 —, Speicher- 154.  
 —, Sublimier- 154.  
 —, Vegetations- 146.  
**Gefüge** 138, 139, 140.  
 — des Formlings 96.  
**Gegendruck** 99.  
**Gegenmesser** 89.  
**Gegenstempel** 99.  
**Gegenstromprinzip** 116, 118, 149.  
**Gehängerutschung** 46.  
**Gehäuse** 135, 152.  
 —, Hahn- 133.  
**Gel** 28.  
**Gele, Ausflocken der** 29.  
**Gelochte Platten** 156.  
**Gelschichten** 32.  
**Gemenge** 42, 98.  
 —, krystallines 33.  
**Genauigkeit** 41, 130, 152.  
**General Ceramics Co. New York U.S.A.** 24.  
**Generator** 125.  
**Generatorgas** 117.  
**Geolog. Formation** 47.  
**Geologisches Alter** 447.  
 — Vorkommen 44.  
**Geräte** 137, 141.  
 —, Abbau- 53.  
**Geröll** 50.  
**Geruchverschluß** 145.  
**Gerüste, Trocken-** 108.  
**Gesamtdruck** 101.  
**Gesamtstrahlung** 112, 129.  
**Geschichte der Entwicklung** 156.  
 — der Keramik 1.  
**Geschirr** 83, 119, 120, 123.  
 —, Wedgwood- 86.  
 —, Westerwald- 86.  
**Geschirrtöpferei** 81.  
**Geschlossene Gefäße** 152.  
**Geschmacksbeeinflussung** 146, 154.  
**Geschmolzene Glasur** 74.  
 — Kieselsäure 42, 128.  
 — Tonerde 43.  
**Geschwindigkeit der Abkühlung** 37, 40, 112.  
 — der Erhitzung 35, 42.  
 —, Dreh- 82.  
 —, Gas- 112.  
 —, Schliff- 133.  
 —, Umfangs- 133.  
**Gesindeküchen** 147.  
**Gestaltung, maschinelle** 81.  
**Gestein** 44, 64.  
 —, alkalihaltiges 36.  
 —, Erguß 48.  
 —, Kalk- 49.  
 —, Natur- 131.  
 —, Tiefen- 48.  
 —, Ton- 44, 46.  
 —, typische Schicht 49.  
**Gesteinsreste** 46.  
**Geusen, H. & J.** 18.  
**Gewicht, spezifisches** 138.  
**Gewichtsverlust** 111, 139, 142.  
**Gewichtszunahme** 138.  
**Gewindeschneiden** 133.  
**Gewinnung d. Rohstoffe** 50, 52, 54, 55.  
**Gewölbe, Ofen-** 123, 125, 129.  
**Gichtgas** 117.  
**Gießen** 31, 57, 61, 76, 78, 79, 80, 81, 83, 85, 88, 96, 104.  
 — unter Druck 80.  
**Gießfähiger Zustand** 66.  
**Gießform** 78.  
**Gießformgebung** 79, 80.  
**Gießhohlform** 80.  
**Gießkern** 80.  
**Gießmasse** 31, 62, 79, 80.  
**Gießschlicker** 28, 66, 77, 80.  
**Gipsformen** 31, 78, 80, 83, 84, 85, 86, 93, 94.  
**Gipskrystall** 63.  
**Gitter** 107.  
**Gitterbeweglichkeit** 33.  
**Glanz** 74.  
**Glas** 36, 37, 38, 39, 42, 72.  
**Glasbildung** 34.  
**Glasieren** 72.  
**Glasiervverfahren, Salz-** 129.  
**Glasige Phase** 38, 41, 46.  
**Glasige Masse** 36, 111.  
**Glassand** 47.  
**Glasschicht, Elastizität der** 73.  
**Glastechnische Methode** 73.  
**Glasur** 72, 73, 74, 128, 144, 146, 156.  
 —, Abschleifen der 144.  
 —, Anflug- 74, 114.  
 —, Blei- 72, 74, 123.  
 —, Bleiborsäure- 74.  
 —, bleifreie 72.  
 —, Braun- 12.  
 —, Feldspat- 9, 74.  
 —, Fritten- 72, 73.  
 —, geschmolzene 74.  
 —, Lehm- 12, 73, 144.  
 —, Roh- 72, 73.  
 —, Salz- 35, 72, 74, 114, 119, 120, 127, 144, 147.  
**Glasur, Zusammen-**  
 setzung 73.  
**Glasuranflug** 120.  
**Glasurbestandteile** 73.  
**Glasurbrei** 72, 73.  
**Glasurinneres, schwarzes** 73.  
**Glasurmaterialien** 72.  
**Glasurmischung** 73.  
**Glasuroberfläche, rotbraune** 74.  
**Glasurtropfen** 129.  
**Glaserversatz** 73.  
**Glätten d. Oberfläche** 96.  
 — des Schliffes 134.  
 — von Böden 84, 96 u. Bild 11 (S. 64).  
**Glattschliff** 133.  
**Glattstrichfläche** 85.  
**Glauber** 20.  
**Gleichgewicht** 42.  
**Gleichgewichtstemperatur** 43.  
**Gleichmäßigkeit des Druckes** 88.  
**Gleitfähigkeit** 30.  
**Gleitvorgang** 29.  
**Glimmer** 44, 45.  
**Gloverringe** 151.  
**Glovertürme** 149.  
**Glühverlust** 69.  
**Goldhausener Ton** 71.  
**Grabarbeit, Hand-** 54.  
**Grabmaschine** 53.  
**Granit** 44, 45.  
 — v. Ströbel 46.  
**Granitläufer** 63.  
**Graphit** 44.  
**Graues Gußeisen** 138.  
**Greifbagger** 54.  
**Grenze d. Festigkeit** 78.  
 — der Sicherheit 138.  
 —, Temperatur- 113.  
**Griffige Körnung** 132.  
**Grobe Verunreinigung** 63.  
**Grobkörnigkeit** 59, 84, 85.  
**Grobschliff** 133, 134, 135.  
**Großapparaturen** 148.  
**Großbehälter, Transport von** 129, 140 u. Bild 24 (S. 148).  
**Großbetrieb, chemischer** 153.  
**Größe des Kornes** 58.  
**Grube, Ton-** 51, 55, 56, 59.

Gruben, Ton - Tagebau- 52 und Bild 1 (S. 8).  
 Grundmasse 102.  
 —, amorphe 111.  
 —, glasige 111.  
 Grundmaterial 102.  
 Grünfütter, Gärung des 146.  
 Gummi 140.  
 Gummiwischer 96.  
 Gußeisen, graues 138.  
 Güte 137, 138.  
 Guttauer Ton 69.  
 Guttman-Hohlkugeln 151.

**Haarrisse** 102.  
**Hahn** 135, 136, 154.  
**Hahngehäuse** 133.  
**Hahnschleifen** 135.  
**Halbgasfeuerung** 117, 124.  
**Halbrohre** 146.  
**Halbtrocken gepreßte Klinker** 97.  
**Halbtrockenpresse** 96.  
**Hallescher Ton** 71.  
**Haltbarkeit** 140.  
**Hammer** 139.  
 —, Abbau- 53.  
**Handabbau** 52.  
**Handarbeit** 81, 85.  
**Handaufstreichverfahren** 86.  
**Handbetrieb** 132.  
**Handformung** 93.  
**Handgerechte Masse** 80.  
**Handgrabearbeit** 54.  
**Handpresse** 97.  
**Handstreichmethode** 86.  
**Handwerkertätigkeit** 81.  
**Härte** 110, 130, 132, 133, 134, 136, 138, 139.  
**Hartmaterialien** 133.  
**Hauptgaskanal** 121.  
**Hausentwässerung** 144.  
**Häusliche Anwendung** 143, 156.  
**Haydenville-Ton** 69, 70.  
**Hebel** 97.  
**Hebeldruck** 103.  
**Heilbäder** 147.  
**Heiße Luft** 117, 118.  
**Heizeinrichtung** 108.  
**Heizfläche** 94.  
**Heizgase** 116, 122.  
**Heizöl** 125.  
**Heizschlange** 93, 140.

**Heizzwecke** 126.  
**Helsingborg** 67.  
**Herbergen, Jugend-** 147.  
**Heterogenität** 78.  
**Hexagonaler Nephelin** 40.  
**Hilfsgarnierstelle** 84, 85.  
**Hilfsgeräte** 152.  
**Hilfsmittel, apparative** 153.  
 —, maschinelle 82.  
**Hitzbeständigkeit** 68.  
**Hitzegrad** 98.  
**Hochbagger** 54.  
**Hochbau** 143, 145, 146.  
**Hochdruck** 100.  
**Hochdruckakkumulatoren** 100.  
**Hochdruckpumpe** 100.  
**Hochfeuerfeste Stoffe** 39, 123.  
**Hochglanzschliff** 141.  
**Hochspannungsdurchführungen** 156.  
**Hochspannungsisolierstoff** 25.  
**Höchstdruck** 100.  
**Höchstspannungsisolatoren** 137.  
**Höchsttemperatur** 40, 113, 117.  
**H o f f m a n n, O.** 17, 24.  
**Höhe der Brenntemperatur** 111.  
 — — Erhitzung 42.  
**Hohenbockaer Sand** 71.  
**Hohlgefäß** 80.  
**Hohlkörper** 82, 89, 94.  
 —, Zellen- 151.  
**Hohlkugeln, Guttman-** 151.  
**Hohlräume** 138.  
**Hörner Ton** 69.  
**Holz** 123.  
**Holzfeuerung** 123.  
**Holzform** 86.  
**Holzige Bestandteile** 63.  
**Holzindustrie** 130.  
**Homogenisierung** 33, 57, 58, 63, 66, 88, 93.  
**Homogenisierungsmaschine** 62, 89.  
 —, Wasser- 62.  
**Homogenität** 80, 81, 84, 141.  
 —, chemische 36.  
 —, physikalische 35.  
**Horizontalstrangpresse** 90.

**Hruschauer Tonwarenfabrik** 22, 23, 24.  
**Hubwagen** 109.  
**Hülse, Bohr-** 133.  
**Huminsubstanz** 29, 45.  
**Humussäure** 62.  
**Hydraulische Druckausgleichsvorrichtung** 101.  
 — Presse 97, 100.  
 — Pressung 102.  
 — Trockenpresse 101.  
**Hydraulischer Antrieb** 95.  
 — Vorschub 134.  
**Hydraulisches Preßverfahren** 100.  
**Hydrogel** 48.  
**Hydrosilicat, Magnesium-** 44.  
 —, Tonerde- 45.  
**Hydroxylione** 31.  
**Hygiene** 137, 146.  
**Hygienische Einrichtungen** 144.  
**Hygroskopisches Wasser** 110.  
**Hypochloritlaugen** 155.

**Industrie, anorganische** 149, 150.  
 —, chemische 86, 137, 148, 149, 151, 152, 153.  
 —, Holz- 130.  
 —, Lebensmittel- 155.  
 —, Metall- 130, 135.  
 —, Papier- 155.  
 —, Rohr- 87, 108.  
 —, Salpetersäure- 150.  
 —, säureverarbeitende 137.  
 —, Schokoladen- 155.  
 —, Schwefelsäure- 149, 151.  
 —, Sprengstoff- 154.  
 —, Textil- 155.  
**Ineinanderschleifen** 135.  
**Inhalt des Ofens** 115.  
**Injektoren** 153.  
**Inkongruente Schmelzung** 35, 45.  
**Innendruck** 139, 145.  
**Innenmauerung, Verschleiß der** 123.  
**Innenschliff** 133, 135.  
**Innenwandung d. Formlings** 86.

**Innere Druckbeanspruchung** 144.  
 — Reibung 76, 77.  
**Inneres des Ofens** 114, 125, 129.  
**Instrumente, selbstregistrierende** 129.  
**Intermittierende Öfen** 123.  
**Intervall, Temperatur-** 118.  
**Irrenanstalten** 147.  
**Isolation, elektrische** 141.  
**Isolationsmaterial** 141.  
**Isolator** 37, 86, 136, 141.  
**Isolatoren aus DTS-Sillimanit** 25.  
 —, Höchstspannung 137.  
**Isolierschicht, Luft-** 127.  
 —, Wärme- 123.  
**Isolierstoff f. Hochspannungen** 25.  
**Isolierstoffe** 141, 156.  
**Isolierung** 119, 121.  
 — des Mauerwerks 125.  
 — des Ofenmauerwerks 123.

**Japan** 67.  
**Järschauer Blauton** 69.  
**Jaspisware** 14.  
**Jaucheableitungen** 146.  
**Jod** 154.  
**Jugendherbergen** 147.  
**Jungeblut, Nik. B.** 23.

**Kalialaun** 40.  
**Kalifeldspat** 43, 48, 68, 70.  
**Kaliumaluminiumsilicat** 48.  
**Kaliumpermanganat** 155.  
**Kalk** 36.  
 —, kohlenaurer 48, 49, 63.  
 —, Korallen- 49.  
 —, kristalliner 49.  
 —, Wiesen- 48.  
**Kalkgestein** 49.  
**Kalkmergel** 47.  
**Kalk-Natronfeldspat** 49.  
**Kalkspat** 48, 56.  
**Kalkstein** 48, 60.  
**Kalkulation** 93.

- Kalscheurer & Cie.**  
G. m. b. H. 18.
- Kammer, Brenn-** 121, 122.  
—, Einzel- 120, 127.  
—, Kühl- 118.
- Kammern, muffelartige** 118.  
—, Trocken- 108.
- Kammerofen** 120.  
—, Gas- 116, 120, 121, 125, 127.
- Kammeröfen, viereckige** 122.
- Kammersohle, undurchbrochene** 121.
- Kammertrocknung** 107, 108.
- Kanal** 109, 113, 116, 145.  
—, Brenn- 117.  
—, Hauptgas- 121.  
—, Ofen- 117, 120.  
—, Rauchgassammel- 121.
- Kanalisation** 137.
- Kanalisationsrohre** 89, 90, 120.
- Kanaltrocknung** 108, 109.
- Kanne** 143, 145.  
—, kunstgewerbliche 124.
- Kantine** 147.
- Kaolin** 44, 45, 46, 51, 56.
- Kaolinisierung** 45.
- Kaolinlagerstätte** 45.
- Kapillare** 28, 29, 30, 31, 105, 108.
- Kapillarkräfte** 30, 31.
- Kapseln** 119, 127.
- Kasseler Ofen** 122.
- Kasten, Füll-** 101.  
—, Masse- 101.  
—, Rillen- 156.  
—, Sink- 145.
- Kästen, Einsatz-** 147.
- Kastenbeschicker** 60, 61 und Bild 3 (S. 24).
- Katalysator** 37, 43, 151.
- Katalytische Wirkung** 151.
- Kegel, Seger-** 128.  
—, Speichen- 132.
- Kegelform** 151.
- Kegelschmelzpunkt** 128.
- Keimzahl, Krystall-** 38, 41.
- Kelsch, C. 17.**
- Kerabedarf-Tunnelofen**  
Bild 19 (S. 120).
- Keramik, Fein-** 95.  
—, Geschichte der 1.  
—, Kunst- 123.
- Keramische Massen** 130.  
—, Öfen 123.
- Keramisches Bindemittel** 133.  
—, Brennen 125.
- Kessel** 152.  
—, Nitrier- 153.
- Kettenbagger, Eimer-** 53.
- Kettenbahn** 55, 92.
- Kies** 50.
- Kieselgur** 123.
- Kieselsäure** 42, 68, 72, 110.
- Kieselsäuregehalt** 70.
- Kieselsäureglas** 39, 42, 43.
- Kieselsäuremodifikationen** 43.
- Kiesige Abraumschicht** 55.
- Kiesschichten** 46.
- Kittfuge** 136.
- Klang d. Scherbens** 137.
- Klebrigkeit d. Tones** 51.
- Kleinbetrieb** 116.
- Kleine Brennöfen** 124.
- Klinge, Zieh-** 96.
- Klingenberger Ton** 69.
- Klinker** 1, 94, 97, 100, 101, 102, 108, 109, 115, 118, 119, 120, 127, 139, 143, 145, 146.  
—, halbtrocken gepreßte 97.  
—, lederharte 96.  
—, naß gepreßte 97.  
—, vorgeformte 96.
- Klinkerbrennofen** 120.
- Klinkerfabrikation** 95.
- Klinkermasse** 120.
- Klinkerpresse** 99 und Bild 17 (S. 104).
- Klinkerqualität** 120.
- Klinkertunnelofen** 120.
- Klinoenstatit** 39, 40, 49.
- Klosetts** 147.
- Klotz, Preß-** 101.
- Klumpen, Ton-** 55.
- Kneten** 62, 89.
- Knetwirkung** 57.
- Kniehebelantrieb** 99.
- Kniehebelpresse** 99, 101.
- Kniehebelstempelpresse** 96.
- Knierohre** 144.
- Kniestücke** 93.
- Knoten, Ton-** 62.
- K<sub>2</sub>O** 67, 68, 69, 70.
- K<sub>2</sub>O—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** 34.
- K<sub>2</sub>O—SiO<sub>2</sub>** 34.
- K<sub>2</sub>O—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub>** 34, 43.
- Kobalterze** 49.
- Kochsalz** 75, 114, 123.  
—, Spaltung von 114.
- Kochtöpfe** 147.
- Koeffizient, Ausdehnung** 136.  
—, Elastizitäts- 139.
- Kohlenoxyd** 114, 129.
- Kohlensäure** 45, 111.  
—, aggressive 145.
- Kohlensäuregase** 151.
- Kohlensäuregehalt** 129.
- Kohlensaurer Kalk** 48, 49, 63.
- Kohlenstoff** 113.
- Kohlenverbrauch** 129.
- Koksofengas** 117.
- Kolben** 87, 88, 100, 152.  
—, Preß- 100, 101.  
—, Pumpen- 134, 152, 153.  
—, Rückzugs- 101.
- Kolbenpresse** 87, 88, 100.
- Kollergang** 60, 61, 63, 64 und Bild 4 (S. 28).
- Kollern** 63.
- Kolloide** 34.  
—, Feinheit 31.  
—, Tonteilchen 29.  
—, Oberflächenschichten 29.
- Kolloider Anteil** 104.
- Kondensation** 150.
- Kondensationsgefäße** 149, 150.
- Konglomerate** 46.
- Konische Eisenblechhülse** 135.
- Konsistenz** 54, 80.
- Konstanten, mechanische** 141.  
—, thermische 141.
- Konstitutionswasser** 110.
- Konstrukteur** 137, 139.
- Konstruktion** 141, 153.  
—, des Ofens 126.  
—, Maschinen- 140.
- Konstruktionsmaterial** 137.
- Kontaktmasse** 151.
- Kontaktraum** 151, 152.
- Kontaktträger** 152.
- Kontinuierliche Arbeitsweise** 87, 95, 102, 109, 115, 122.
- Kontinuierlicher Ofen** 116, 119, 120, 121, 123.  
—, Rohrmühlanlage 65.  
—, Tunnel-Muffel-Öfen 120.
- Kontraktion** 42.
- Kontrolle** 127.  
—, des Ofenbetriebes 128, 129.
- Kontrollinstrumente, mechanische** 128.
- Konvektion** 112.
- Konzentration** 151.
- Konzentrierte Salzlösung** 142.
- Kopfscheiben** 133.
- Korallenkalk** 49.
- Körbe, Schmelz-** 120.
- Korn, Siliciumcarbid-** 133.
- Kornfeinheit** 34, 39.
- Körniger Sand** 139.
- Körniges Gut** 71.
- Körnigkeit, Grob-** 59.
- Korngröße** 42, 58, 60, 66, 83, 84, 101, 105, 111.
- Körnung** 60, 83, 133, 135.  
—, griffige 132.  
—, grobe 84, 85.
- Körper, feste** 31, 76.  
—, kristalliner 40.  
—, kristallisierter 38.  
—, ovale 85.  
—, Pumpen- 152.  
—, Rhomboeder- 151.
- Korrosion** 136, 142, 145.
- Korrosionsbeständigkeit** 68, 143, 154.  
—, gegen Basen 69.  
—, gegen Säuren 69.
- Korsion, schleifende** 144.
- Korund** 35, 43, 44, 48, 131.  
—, Elektro- 49, 133.
- Korundsteinzeug** 1, 24.
- Kosten, Anlage-** 93.  
—, Mahl- 64.  
—, Produktions- 93.
- Kotten, Schleif-** 132.

**Kraftbedarf** 55.  
**Krankenpflegeartikel** 147.  
**Kranz, Rutscher-** 132.  
**Krauschwitz** 67.  
**Kreide** 44, 48.  
**Kreishögen** 93.  
**Kreiselpumpen** 152.  
**Kreiselsauger** 153.  
**Kreisförmiger Tisch** 95.  
**Kreuzringe** 151.  
**Krippen, Futter-** 146.  
**Kritische Temperatur** 110.  
**Krüge** 124, 143.  
**Krümelig Zustand** 103.  
**Krümmen** 93.  
 —, Rohr 93 und Bild 14 (S. 88).  
**Krystall** 36, 37, 40, 142.  
 —, Misch- 37, 38.  
**Krystallaggregat** 43.  
**Krystallbildung** 34.  
**Krystalle, Mullit-** 35.  
**Krystallgitter** 33.  
**Krystallindividuum** 37.  
**Krystalline Form** 33.  
 — Tonerde 43.  
**Krystalliner Kalk** 49.  
 — Körper 40.  
 — Zustand 40, 42.  
**Krystallines Gemenge** 33.  
**Krystallisation** 37, 40, 43, 111, 142, 154.  
 —, Aus- 42.  
 —, Neu- 111.  
**Krystallisationsvorgang** 42.  
**Krystallisator** 37, 38, 40, 41.  
**Krystallisiergefäße** 154.  
**Krystallisierstangen** 154.  
**Krystallisierter Körper** 38.  
**Krystallit** 35, 36, 37, 38, 41, 111.  
**Krystallite, Reaktion in festem Zustand** 34.  
**Krystallkeim** 33, 35, 37, 38, 41.  
**Krystallphase** 35.  
**Krystallsystem** 35, 42.  
**Krystallzustand, labil-amorpher** 41.  
 —, stabiler 41.  
**Kuchen, Filterpreß-** 66.  
**Küchen, Gesinde-** 147.  
**Kufe, Pasteur-** 154.  
**Kufen** 155.

**Kugeldruckfestigkeit** 140, 142.  
**Kugelmühle** 60, 61.  
**Kugeln, Loch-** 151.  
**Kugelventile** 152.  
**Kühlaggregate** 150, 152.  
**Kühlen** 118, 134.  
**Kühlfläche** 94.  
**Kühlkammer** 118.  
**Kühlperiode** 112.  
**Kühlprozeß** 118.  
**Kühlschlange** 22, 93, 140, 150.  
**Kühltürme** 152.  
**Kühlung, Wasser-** 150.  
**Kühlwasser** 150.  
**Kühlzone** 117.  
**Kuhstall** 146.  
**Küken** 135.  
**Kunheim** 21.  
**Kunstgegenstände** 148.  
**Kunstgewerbliche Anwendung** 156.  
 — Kannen 124.  
**Kunstkeramik** 123.  
**Künstlerische Anwendung** 156.  
**Künstliche Rutscher** 131.  
 — Schleifmittel 131, 132, 133.  
 — Schleifscheibe 134.  
 — Trocknung 59.  
 — Ventilation 121, 126.  
**Kunstseide** 154.  
**Kuppeln** 123.  
**Kupplung, elektromagnetische** 91.  
 —, Friktion- 82, 91.  
 —, Reibungs- 91.  
**Kypke, A.,** 23.

**Labil-amorpher Krystallzustand** 41.  
**Laboratoriums-Apparatur** 148.  
**Lademaschine** 55.  
**Lager** 129.  
**Lagerstätte** 57.  
 —, primäre 44, 47.  
 —, sekundäre 46.  
**Lagerung** 57, 132.  
 —, regellose 151.  
 —, Wechsel- 46.  
**Lämmerbacher Ton** 69, 71.  
**Landwirtschaft** 146.  
**Langflammige Kohlen** 123.

**Laugen, Hypochlorit-** 155.  
**Laugenbeständigkeit** 153.  
**Laufendes Band** 115.  
**Läufer, Granit-** 63.  
**Läuferring** 63.  
 —, Quarzit- 63.  
**Lebensdauer** 156.  
**Lebensmittelindustrie** 155.  
**Lederharte Klinker** 96.  
**Lederharter Formling** 97.  
 — Scherben 72.  
 — Zustand 30, 97.  
**Lehauer Fetton** 69.  
**Lehm** 47, 73.  
**Lehmbedarf** 52.  
**Lehmglaser** 10, 12, 73, 144.  
**Leistung** 93, 153.  
 —, Schleif- 132, 134.  
 —, Span- 134.  
**Leiter, elektrischer** 70.  
 — zweiter Klasse 141.  
**Leitfähigkeit, elektrische** 68, 69.  
 —, Wärme- 69, 112, 113, 130, 140, 142, 149.  
**Leitung, Steig-** 152.  
**Leitungen, Abfluß-** 147.  
 —, Abwässer- 137, 139, 144, 145.  
 —, Gas- 129.  
 —, Rohr- 129, 144, 154, 155.  
**Leitungsbaustoff, Römisches Wasser-** 156.  
**Leuchtgas** 118.  
**Leucit** 43.  
**Lieferfrist** 108.  
**Linse, Objektiv-** 129.  
**Löcher, Durchtritts-** 151.  
 —, kleine 146.  
**Lochkugeln** 151.  
**Loevenich, S. & Co.,** 16.  
**Löffelbagger** 53, 54.  
**Lokaler Schmelzprozeß** 36.  
**Lose Einschüttung** 151.  
**Löslichkeit** 141.  
**Löß** 46.  
**Lösung im Glase** 42.  
 —, physikalische 41, 125.  
**Lösungen** 110, 111.  
**Lösungsvorgang** 34, 42, 128.  
**Löthainer Ton** 71.  
**Lötstelle** 129.  
**Luft, Außen-** 117, 124.

**Luft, falsche** 114.  
 —, Frisch- 116.  
 —, Heiß- 117, 118.  
 —, kühle 118.  
 —, Preß- 115, 152.  
 —, Sekundär- 124.  
 —, Trocken- 106, 108.  
 —, Verbrennungs- 118, 121.  
 —, warme 109.  
**Luftisolierschicht** 127.  
**Luftüberschuß** 113, 119.  
**Luftzug** 113.  
**Lullus, Raymundus** 20.  
**Lunge** 149.  
**Lunge-Rohrman-Platte** 22.  
**Lunker** 140.  
**Luxusbauten** 146.

**Magerung** 60, 105.  
**Magerungsmittel** 32, 44, 57, 58, 62, 63, 81, 105, 111.  
**Magerungszusatz** 60, 63, 64.  
**Magnesit** 44, 48, 49, 71.  
 —, Sinter- 39.  
**Magnesiumhydrosilicat** 44.  
**Magnesium-Metasilicat** 40.  
**Magnetisenstein** 48.  
**Magnetische Ausscheidung** 48.  
**Magnetscheider** 65.  
**Mahlanlage, Fein-** 64, 65.  
 —, Rohrmühl- 65.  
**Mahlapparat** 59, 60.  
**Mahlbahn a. Hartsteinzeug** 63.  
**Mahlfeinheit** 37, 64, 111.  
**Mahlgut** 60, 64, 65.  
**Mahlkörper** 65.  
**Mahlkosten** 64.  
**Mahlung** 58, 59, 73.  
 —, Fein- 34, 60, 64.  
 —, Naß- 58, 64, 65.  
 —, Trocken- 58, 64.  
 —, Ver- 65.  
 —, Vor- 64.  
**Mahlvorgang** 64, 65.  
**Majolika** 6.  
**Majorka** 6.  
**Mangan** 38.  
**Manganaluminat** 41.  
**Mangancarbonat** 41.  
**Manganoxyd** 41, 49.

**Mangansilicat** 41.  
**Mantel, Ofen-** 122.  
**March, Ernst** 20, 21.  
**March, E., Söhne,**  
 Charlottenburg 23.  
**March, Paul,** 20.  
**Marine Tone** 46.  
**Marmor** 48, 128.  
**Maschenweite** 64.  
**Maschinelle Arbeit** 82, 85.  
 — **Formgebung** 81, 87.  
 — **Verladung** 55.  
**Maschine, Homogenisie-**  
**rung-** 62.  
 —, **Schlamm-** 64.  
 —, **Schleif-** 132.  
**Maschinelles Abbau** 52,  
 53.  
**Maschinen** 87, 99, 136,  
 139, 141, 152, 153.  
 —, **Ätz-** 152.  
 —, **automatisch arbei-**  
**tende** 135.  
 —, **Chlorwasser-** 155.  
 —, **Förder-** 152.  
 —, **Formgebungs-** 81.  
 —, **Lade-** 55.  
 —, **säurefeste** 137.  
 —, **Tonstech-** 55.  
 —, **Werkzeug-** 133.  
 —, **Baustoff-Apparate-**  
**140.**  
**Maschinenbau** 153.  
**Maschinenkonstruktion**  
 137, 140.  
**Maßdifferenz** 130.  
**Masse** 74, 62.  
 —, **Ankleben der** 102.  
 —, **bildsame** 87.  
 —, **flüssige** 65.  
 —, **glasige** 36.  
 —, **Grund-** 102.  
 —, **handgerechte** 80.  
 —, **keramische** 130.  
 —, **Klinker-** 120.  
 —, **Kontakt-** 151.  
 —, **nasse** 57.  
 —, **plastische** 31, 57, 66,  
 76, 77, 79, 80, 84,  
 85, 87, 88, 94.  
 —, **Preß-** 101.  
 —, **pulvrige** 66.  
 —, **trockene** 57, 76.  
 —, **weiche** 81.  
**Masseballen** 66.  
**Massebestandteile** 61.  
**Masseblätter, dicke** 86.  
**Massebrei** 65, 78.  
**Massekasten** 101.

**Massekomponenten** 32.  
**Massemehl** 62.  
**Massemischung** 98, 112.  
 —, **pulverförmige** 61, 62.  
**Massenfabrikate, elektro-**  
**technische** 103.  
**Massenhomogenisierung**  
 63.  
**Massenverdichtung** 111.  
**Massenverfestigung** 80.  
**Massenzusammensetzung**  
 67, 71, 72, 83, 98,  
 112.  
**Massepulver** 62, 98, 99,  
 102.  
**Masseschichten, dünne** 86.  
**Masseschlamm** 63, 71.  
**Masseschlicker** 77.  
**Massestein** 58.  
**Massestrang** 66, 87, 89,  
 94.  
**Massesuspension** 65.  
**Masut** 125.  
**Material, Bau-** 137.  
 —, **Deck-** 102.  
 —, **Grund-** 102.  
 —, **Hart-** 133.  
 —, **Konstruktions-** 137.  
**Materialauswahl** 141.  
**Materialeigenschaften**  
 137, 138.  
**Matrize** 94.  
**Mauerwerk** 115, 119.  
 —, **Isolierung** 123, 125.  
 —, **Ofen-** 121, 129.  
 —, **Schamotte-** 118.  
**Maukdauer** 37.  
**Mauken** 29, 30, 62, 66.  
**Maukkeller** 82.  
**Maukprozeß** 29, 66, 81.  
**Mechanisch angetriebene**  
**Scheiben** 82.  
**Mechanische Beanspru-**  
**chungen** 136, 141.  
 — **Eigenschaft** 140, 142.  
 — **Festigkeit** 25, 68, 69,  
 104, 137, 156.  
 — **Konstante** 141.  
 — **Kontrollinstrumente**  
 128, 129.  
 — **Prüfung** 140.  
 — **Rostbeschickung** 124.  
 — **Stempelpresse** 101.  
 — **Vorschubvorrichtung**  
 116.  
 — **Widerstandsfähigkeit**  
 144.  
 — **Zusammengehörig-**  
**keit** 75.

**Mechanisierung** 85, 92.  
**Medizin** 146.  
**Mehl, feines** 60.  
 —, **Masse-** 62.  
 —, **Schamotte-** 66.  
**Mehrfarbige Mosaik-**  
**platten** 102.  
**Mehrrohrschlangen** 94.  
**Mehrstoffsystem** 34.  
**Meißel** 130, 131, 139.  
**Meißelschneide** 130.  
**Membranartige Ober-**  
**flächenschichten** 28.  
**Membranpumpe** 65.  
**Mergel** 48.  
 —, **Kalk-** 47.  
 —, **Ton-** 44, 47.  
**Messer, Gegen-** 89.  
**Messerflügel** 55.  
**Meßinstrument** 128, 137.  
 —, **Temperatur-** 127.  
**Messung, Temperatur-**  
 128, 129.  
 —, **Zug-** 129.  
**Metallbearbeitung** 134,  
 135.  
**Metalle** 136, 139, 146,  
 152, 153, 154.  
**Metallform** 86.  
**Metallindustrie** 130, 135.  
**Metalloxyde** 36.  
**Metallrohr** 146.  
**Metallschleifen** 134.  
**Metallschmelzen** 68.  
**Metalltechnik** 31.  
**Metasilicat der Erd-**  
**alkalien** 40.  
 — **des Magnesiums** 40.  
**Metasilicate** 39.  
**Methode, glastechnische**  
 73.  
 —, **Trocknungs-** 108.  
**MgO** 37, 39, 67, 68,  
 69, 70.  
**MgO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>** 34.  
**MgO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub>** 34.  
**MgO—SiO<sub>2</sub>** 34.  
**Milchverarbeitung** 146.  
**Mineralien** 64.  
 —, **tonerdehaltige** 44.  
 —, **unplastische** 27, 44,  
 49.  
**Mineralisation** 38.  
**Mineralisator** 35, 37, 40,  
 41.  
**Mineralische Silicatbil-**  
**dung** 133.  
 — **Zusammensetzung**  
 111.

**Mineralisches Binde-**  
**mittel** 133.  
**Mineralsäure** 141, 149.  
**Mingoton** 69, 70.  
**Mischapparatur** 60.  
**Mischbehälter** 65.  
**Mischen** 58, 59, 61.  
**Mischer** 60.  
**Mischkristall, Mullit-**  
**39, 40.**  
 —, **Sillimanit-** 39, 40.  
**Mischkristalle** 33, 37,  
 38, 39.  
**Mischmaschine** 61.  
**Mischschneckengang** 62.  
**Mischung** 57, 63, 64.  
 — **des Massebreies** 65.  
 —, **Glasur-** 73.  
 —, **Masse-** 98, 112.  
 —, **Ton-** 57, 58.  
**Mischungsfehler** 61.  
**Mischvorgang** 63.  
**Mitte, Ofen-** 116.  
**Mitteldeutsches Stein-**  
**zeug** 9.  
**MnO** 37, 67.  
**Modell** 78, 86.  
**Moderne Schleiftechnik**  
 132, 134.  
**Modifikationen d. Kiesel-**  
**säure** 43.  
**Molkereiprodukte** 146.  
**Monazit** 49.  
**Monotroper Stoff** 42.  
**Monoxyde** 67.  
**Montage** 136, 153.  
**Moorbäder** 147.  
**Mörtel, feuerfester** 115,  
 127.  
**Mosaik** 102, 146.  
**Mosaikplatten, mehrfar-**  
**bige** 102.  
**Motor, Schleif-** 134.  
**Muffe** 90, 91, 92, 93,  
 136.  
**Muffel** 119.  
**Muffelartige Kammer**  
 118.  
**Muffelfarben** 120.  
**Muffelofen** 119, 123, 127.  
 —, **kontinuierlicher**  
**Tunnell-** 120.  
 —, **periodischer** 122.  
**Muffenende** 92.  
**Muffenform** 91.  
**Muffenlose Enden** 144.  
**Muffenrille, innere** 92.  
**Muffenrillierung** 91.  
**Muffenring** 92.

Muffenrohr 89, 90, 144.  
 Muffenrohrpresse 90.  
 Muffenstuhl 90, 91, 92.  
 —, fahrbarer 92.  
 Mühle 64.  
 —, Kugel- 60, 61.  
 —, Naß- 65.  
 —, Naßtrommel- 58.  
 —, Rohr- 60.  
 —, Schleuder- 59, 60.  
 —, Trommel- 64, 65.  
 Mulde, Brause- 147.  
 Mullit 35, 38, 39, 40, 110.  
 —, Zerfall des 35.  
 Mullit-Mischkristalle 35, 40.  
 Mullitischer Charakter 35.  
 Multiplexschlange 94 und Bild 16 (S. 100).  
 Multiplikator 100.  
 Mundstück 87, 88, 89, 90, 91.  
 —, Bewässerung des 89.  
 —, Preß- 93.  
 Münsterberger Thonröhren- und Chamottefabrik, C. A. Brandt 17, 23.  
 Museum, Deutsches in München 21.  
 Muskau 7, 9, 23, 67.  
 Muster, Mosaik- 102.

**N**achbearbeitung 152.  
 Nachfeuerperiode 124.  
 Nachpreßdruck 97.  
 Nachpressen 95, 96.  
 Na<sub>2</sub>O 67, 69, 70, 75.  
 Na<sub>2</sub>O—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 34.  
 Na<sub>2</sub>O—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub> 34.  
 Na<sub>2</sub>O—SiO<sub>2</sub> 34.  
 Naphthalin 154.  
 Narbung 114.  
 Nassau 8.  
 Naßaufbereitung 50, 57, 58, 59, 61, 62, 65.  
 Naßbearbeitung 132.  
 Naßschliff 133, 134.  
 Nasse Masse 57.  
 Naßfeinmahlung 64, 65.  
 Naßgepreßte Klinker 97.  
 Naßmahlung 58.  
 Naßmühle 65.  
 Naßpreßverfahren 94, 108.  
 Naßrohmühle 65.

Naßtrommelmühlen 58.  
 Naßverformung 58.  
 Natriumaluminiumsilicat 48, 114.  
 Natriumchlorid 76.  
 Natriumoxyd 114.  
 Natriumpersulfat 155.  
 Natronfeldspat 43, 68, 70.  
 Natronlauge 62, 79.  
 Naturgestein 131.  
 Natürliche Schleifmittel 132.  
 Natürlicher Schmirgel 131.  
 Naxosstein 131.  
 Nebelabsorption 151.  
 Nephelin 49.  
 —, hexagonaler 40.  
 Neubildungen 111.  
 Neukristallisation 111.  
 Neutraler Brand 118.  
 Nichtleiter, elektrischer 41.  
 Niederdruck 100.  
 Niederdruckwasser 100.  
 Niederschlagende Flamme 122.  
 Niederschlesisches Braugeschirr 10.  
 NiO 67, 68, 71.  
 Nitride 36.  
 Nitrieranlagen, De- 153.  
 Nitriertöpfe 153.  
 Nitrierzentrifugen 153.  
 Nitroglycerin 153.  
 Nitrozellulose 154.  
 Normalisierungsbestrebung 81.  
 Normalstein 52, 151.  
 —, säurefeste 149.  
 Nutzbauten 146.  
 Nutzwärme 125.  
 Nutzzone 120.

**O**berfläche 30, 72, 74, 75, 105, 112, 114, 142, 150.  
 —, d. Raschigringe 151.  
 —, rauhe 112.  
 —, Reaktions- 150.  
 Oberflächen, Glättung d. 96.  
 Oberflächenaktive Schicht 27.  
 Oberflächenentwicklung 151.

Oberflächenschichten, kolloide 29.  
 —, membranartige 28.  
 Oberflächenverdunstung 105.  
 Oberstempel 100, 101.  
 Objektivlinse 129.  
 Ofen, 74, 104, 105, 107, 108, 112, 113, 115, 121, 122, 123, 124, 127, 128.  
 —, Abkühlteil 118.  
 —, Einzel- 116, 127.  
 —, gasgefeuerte 129.  
 —, Kammer- 120.  
 —, Kasseler 122.  
 —, Klinkerbrenn- 120.  
 —, kontinuierlicher 119, 120.  
 — mit Sohlenfeuerung 121.  
 —, Muffel- 119, 123, 127.  
 —, ölgefeuerter 125.  
 —, periodischer 115, 116, 119, 122, 125.  
 —, Rund- 125.  
 —, Spezial- 120.  
 —, Tunnel- 115, 116, 117, 118, 119, 120, 125 u. Bild 19 (S. 120).  
 —, Wirkungsgrad des 126.  
 Ofenanlage 125.  
 Ofenatmosphäre 111.  
 Ofenausbildung 117.  
 Ofenbautechnik 116.  
 Ofenbeheizung 125.  
 Ofenbetriebskontrolle 128, 129.  
 Ofeneinsatz 113, 126 und Bild 22 (S. 136).  
 Ofenfeuerung 122 und Bild 21 (S. 128).  
 Ofenfuchs 107.  
 Ofengase 128.  
 Ofengewölbe 123, 125, 129.  
 Ofeninhalte 113, 115.  
 Ofeninneres 114, 125, 129.  
 Ofenkanal 116, 117, 120.  
 Ofenkonstruktion 126.  
 Ofenmantel 122.  
 Ofenmauerwerk 121, 129.  
 —, Isolierung 123.  
 Ofenmitte 116.  
 Ofenraum 126.  
 Ofenreife 96, 97, 104, 109.

Ofensohle 122.  
 Ofentemperatur 128.  
 Ofenwandung 112, 121, 123.  
 Ofenwärme, Ausnutzung der 126.  
 Ofenzug 125.  
 Öffnungen, Feuer- 115.  
 Ohio-Ton 70.  
 Öl 102, 103, 125.  
 Ölfeuerung 115, 117, 125.  
 Operationsraum 147.  
 Optische Charakteristik 35.  
 Organische Chemie 153.  
 — Säureindustrie 154.  
 Orthosilicat, RO- 39.  
 Orthosilicate 39.  
 Ortoklas 48.  
 Ostdeutschland 9.  
 Ottawa-Ton 69.  
 Ovale Körper 85.  
 Oxyd 36, 41, 71.  
 —, Aluminium- 114.  
 —, Blei- 128.  
 —, Cer- 49.  
 —, Chrom- 49.  
 —, Cobalt- 49.  
 —, Di- 68.  
 —, Eisen- 128.  
 —, Mangan- 49.  
 —, Metall- 36.  
 —, Mon- 67.  
 —, Natrium- 114.  
 —, Pent- 68.  
 —, Zirkon- 49.  
 Oxydierende Atmosphäre 115.  
 Oxydierender Brand 113, 118, 119.

**P**anzerung 145.  
 Papierindustrie 155.  
 Paßarbeit 134, 135.  
 Pasteurkufen 154.  
 Patrizie 94.  
 PbO 37.  
 Pegmatit 48, 56.  
 Pendelschlagwerk 139.  
 Pentoxyde 68.  
 Periodische Beschickung 124.  
 — Muffelofen 122.  
 — Öfen 115, 116, 119, 122, 125.  
 Periodischer Vorschub 109.  
 Petroleum 103, 125.

- Pfanne, Schmelz- 120.  
 Pfälzerton 69.  
 Pfeilerbruchbau 51.  
 Pharmazeutische Produkte 154.  
 Phase, amorphe 38.  
 —, feste 27, 28, 30, 31, 42.  
 —, flüssige 27, 30, 31, 33, 34, 35, 36, 41.  
 —, glase 40, 41.  
 —, Krystall- 35.  
 Phasensystem, Drei- 40.  
 Phosphat 69, 71.  
 Phosphor 38.  
 Photochemie 156.  
 Phyllit 47.  
 Physikalische Eigenschaft 36, 37, 42, 43, 63, 68, 81, 110, 137, 148.  
 — Einflüsse 110.  
 — Form 38.  
 — Forschung 148.  
 — Homogenität 35.  
 — Lösung 41, 125.  
 — Vorgänge 43, 115.  
 Pikrinsäure 154.  
 Piltz, H. A u g., G. m. b. H. 17.  
 Plagioklas 49.  
 —, trikliner 40.  
 Planrost 117, 124.  
 Planschliff 132, 133.  
 Plastizität 27, 28, 29, 30, 32, 37, 66, 76, 81, 82, 84, 96, 97, 110.  
 Plastische Bestandteile 105.  
 — Masse 51, 57, 66, 77, 79, 80, 81, 84, 85, 87, 88, 94.  
 — Rohstoffe 44.  
 Plastischer Ton 45, 51, 55, 57, 58, 105.  
 — Zustand 30, 31, 57, 62, 66, 76, 81, 82, 96.  
 Plastischformen 37, 61.  
 Plath, G. 22, 150.  
 Platinelement 128.  
 Platten 83, 86, 89, 94, 96, 99, 102, 107, 119, 131, 132, 145, 151, 154.  
 —, Brennen der 116.  
 —, Bürgersteig- 139.  
 —, Fußboden- 97, 100.  
 —, gelochte 156.  
 —, mehrfarbige Mosaik- 102.  
 Platten, Stempel- 101.  
 —, Stern- 151.  
 Plattentürme 149.  
 Plattformen der Wagen 117.  
 Platzwechsel der Atome 33.  
 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 37, 68, 69, 71.  
 Pökelfässer 94.  
 Pökeln, Ein- 147.  
 Polierschliff 133, 141.  
 Polko, H. 16.  
 Polymerisation 35.  
 Polymorphie 42.  
 Poren 140.  
 —, Abdichtung der 113.  
 Porenraum 29, 30, 32, 142.  
 —, absoluter 138.  
 Porenvolumen 111.  
 Porenwasser 104.  
 Porphyr 44, 45.  
 Poröse Gipsform 85.  
 Porosität 73, 80, 86, 111, 144, 145.  
 —, scheinbare 138.  
 —, wirkliche 138.  
 Porositätsbestimmung 138.  
 Porzellanfabr. H. Schomburg & Söhne A.-G. in Margarethenhütte 18.  
 Präzision 130, 136, 152.  
 Präzisionsmeßinstrument 128.  
 Präzisionsrundsleifmaschine 135.  
 Präzisionsschliff 134.  
 Preiskonvention 24.  
 Preßdruck 29, 30, 76, 77, 78, 79, 85, 87, 88, 90, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103.  
 Presse 76, 87, 88, 89, 90, 91, 96, 100, 101, 102.  
 —, Fallstempel- 99.  
 —, Filter- 65, 66 und Bild 5 (S. 32).  
 —, Halbtrocken- 96.  
 —, Hand- 97.  
 —, Horizontalstrang- 90.  
 —, hydraulische 95, 97, 100, 101, 102.  
 —, hydraulische Trocken- 58, 94, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 104.  
 —, Klinker- 99 und Bild 17 (S. 104).  
 Presse, Kniehebel- 96, 99, 101.  
 —, Kolben- 87, 88, 100.  
 —, mechanische Stempel 101.  
 —, Muffenrohr- 90.  
 —, Quetsch- 94, 95.  
 —, Rohr- 90, 91, 92, 93, 94 u. Bild 11 (S. 64).  
 —, Schlag- 103.  
 —, Schnecken- 87, 88, 89, 90.  
 —, Schwungrad- 97.  
 —, Spindel- 94, 95, 96.  
 —, Stempel- 95, 99.  
 —, Strang- 87, 89, 94, 96.  
 —, Trocken- 37, 77, 98.  
 —, Turmteil- 91 u. Bild 13 (S. 80).  
 —, Walzen- 87, 88.  
 Pressen, Aufeinander- 94.  
 — eckiger Gefäße 83.  
 Pressenmundstück 90.  
 Pressenschnecke 91.  
 Pressenvorlage 91.  
 Preßinstrument 89.  
 Preßkloß 101.  
 Preßkolben 100, 101.  
 Preßkuchen, Filter- 66.  
 Preßling 98, 99, 100, 101.  
 Preßluft 53, 115, 135, 152.  
 Preßluftbohrhammer 56.  
 Preßluftspaten 53, 55, 56.  
 Preßmasse 101.  
 Preßmundstück 93.  
 Preßrohrstücke 93.  
 Preßstempel 94, 95, 97.  
 Preßtisch 91, 101.  
 Pressung 92, 94, 98, 99, 100, 101, 102.  
 Preßverfahren, hydraulisches 100.  
 —, Naß- 94, 108.  
 Preßwasser 100, 101.  
 Preßzylinder 87, 88, 90, 100, 101.  
 Primäre Lagerstätte 44, 47.  
 Prismen 87, 94.  
 Prisensteine 151.  
 Probeziehen 128.  
 Probezylinder 138.  
 Probleme 34, 137, 142, 150, 151.  
 Produkte, pharmazeutische 154.  
 Produktionskosten 93.  
 Profil, Scheiben- 134.  
 Prozeß, chemischer 142, 150, 153.  
 Prüfung 138, 139.  
 —, mechanische 140.  
 Prüfungskörper 140.  
 Prüfungsmethode 137, 139.  
 P u k a l l, W. 11, 12.  
 Pulver, Masse- 62, 98, 99, 102.  
 Pulvrige Masse 61, 62, 66.  
 Pumpen 101, 154, 155.  
 —, Hochdruck- 100.  
 —, Kolben- 134, 152, 153.  
 —, Kreisel- 152.  
 —, Membran- 65.  
 —, Strahl- 152.  
 Pumpenanlage 56.  
 Pumpenkörper 152.  
 Punkt, eutektischer 33, 77.  
 Pyrometer, Strahlungs- 128, 129.  
 —, thermoelektrische 128, 129.  
**Q**ualität 104, 106, 112, 123, 125, 129, 137, 143, 146.  
 — der Klinker 120.  
 Qualitätssteigerung 141.  
 Quarz 42, 43, 44, 45, 47, 48, 58, 60, 64, 70, 110, 128, 131.  
 —, geschmolzener 49, 128.  
 — von Hohenbocka 71.  
 Quarzgehalt 68.  
 Quarzhaltiger Ton 47.  
 Quarzit 47, 56.  
 Quarzitläufer 63.  
 Quarzsand 70, 71, 127.  
 Quarzspat 48.  
 Queensware 14.  
 Quellfähigkeit 28.  
 Quellungsmaximum 28.  
 Quellwasser 145.  
 Querschnitt, eiförmiger 90.  
 —, elliptischer 90.  
 —, Pressenstrang- 89.  
 —, Rohr- 90, 144.  
 —, viereckiger 90.  
 Querschnittsform 88, 100.

Quetschpresse 94, 95.  
Quirl, Schlamm- 63, 64,  
65, 80.  
—, Schrauben- 63, 65.  
Quirlprodukt 65.

**R**ädchen, Stahl- 134.  
Räder, Schleif- 131.  
Raschigringe 151, 152.  
—, Oberfläche der 151.  
Raschigturm 151.  
Rationalisierung 81, 87,  
104, 143.  
Rauchgassammelkanal  
121.  
Rauhe Oberfläche 112.  
Raum, Kontakt- 151.  
—, Operations- 147.  
Raumausfüllung 111.  
Raumgewicht 138.  
Raumverlust 139.  
Raumverminderung 106.  
Raupenbänder 54.  
Reaktion, chemische 32,  
41, 111.  
— im festen Zustand  
32, 33, 34, 43, 77.  
— im flüssigen Zustand  
43.  
Reaktionsfähigkeit der  
Materie 33.  
Reaktionsfläche 142.  
Reaktionsoberfläche 150.  
Reaktionstemperatur,  
Erniedrigung der 34.  
Reaktionstürme 136,  
150.  
Reduktion 124.  
Reduzierende Atmo-  
sphäre 125.  
Reduzierender Brand  
114, 118, 119.  
Reform-Säure-Automat  
22.  
Regellose Lagerung 151.  
Regelmäßiger Einbau  
151.  
Registrierung Selbst-  
128.  
Regulierbarkeit 125.  
Regulierung d. Druckes  
99.  
Reibung 141.  
—, innere 76, 77.  
Reibscheibe 95.  
Reibscheibenantrieb 85.  
Reibungskupplung 91.

Reibungssteigerung 89.  
— beim Strangpressen  
89.  
Reihenwaschanlagen 147.  
Reinheit 132, 153.  
—, chemische 154.  
Reinigung 63, 146, 156.  
—, Ton- 58.  
Reißen 105.  
Rekrystallisation 33, 34,  
38.  
Restaurationen 147.  
Rheinische Steinzeug-  
industrie 18.  
Rheinisches Schiefer-  
gebirge 48.  
— Steinzeugsyndikat 19.  
Rhombischer Cordierit  
40.  
Rhomboederkörper 151.  
Richter, W. & Cie.  
A.-G. 17.  
Rillen 92, 144.  
Rillenkästen 156.  
Rillierung 91, 92.  
Ringe 151.  
—, Glover- 151.  
—, Kreuz- 151.  
—, Raschig- 151, 152.  
—, Stern- 151.  
Ringförmige Behälter  
150.  
Rinnen 146.  
Rinne, Schlamm- 56.  
Rißbildung 83, 95, 127.  
Risse 89, 104, 113, 116,  
138.  
—, Brenn- 82.  
—, Facetten 98.  
—, Haar- 102.  
—, Schwind- 105.  
—, Trocken- 82, 93, 96,  
105, 108.  
RO—Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—SiO<sub>2</sub> 39, 67.  
RO-Alumosilicat 39.  
RO-Metasilicate 39.  
RO-Orthosilicate 39.  
RO-Silikate 39.  
Rohbraunkohle 123.  
Roherz 71.  
Rohformling 98, 117.  
Rohglasur 72, 73.  
Rohmaterialien 34, 44,  
61, 63, 70, 125.  
—, unplastische 47.  
— für Glasuren 72.  
Rohpetroleum 125.  
Rührchen, Scheidewand-  
151.

Rohrdeformation 92.  
Rohre 89, 90, 92.  
—, Bogen- 144.  
—, Druck 136.  
—, dünnwandige 93.  
—, Eisen- 145.  
—, Flanschen- 90.  
—, flanschenlos 89.  
—, fünfeckige 94.  
—, geteilte 145.  
—, Halb- 146.  
—, Kanalisations- 90,  
120.  
—, Knie- 144.  
—, Metall- 146.  
—, Muffen- 89, 90, 144.  
—, Spitzende der 92.  
—, Übergangs- 144.  
Rohrenden 144.  
Rohrfabrikation 87, 89,  
109.  
Rohrformling 90, 91, 92.  
Rohrindustrie 87, 88,  
108.  
Rohrlänge 90.  
Rohrleitung 90, 100, 129,  
144, 154, 155.  
—, Abwässer- 137.  
Rohrmann, L.  
Krauschwitz  
22, 23.  
Rohrmuffe 90.  
Rohrmühlanlage, konti-  
nuierliche 65.  
—, Naß- 65.  
Rohrmühle 60.  
Rohrpresse 90, 91, 92,  
93 u. Bild 12 (S. 72).  
—, Muffen- 90.  
Rohrpreßverfahren 94.  
Rohrquerschnitt 90, 144.  
Rohrschalen 145.  
Rohrschlangen 94.  
Rohrspitze 92.  
Rohrstrang 91.  
Rohrverputzverfahren  
92.  
Rohrwandung 144.  
Rohrstücke, gepreßte 93.  
Rohrstutzen 144.  
Rohschale, Transport  
einer 109 u. Bild 18  
(S. 112).  
Rohstoffe 34, 44, 61, 63,  
70, 125.  
—, Aufbereitung der 50.  
—, Entstehung der 44.  
—, Gewinnung der 50.  
—, plastische 44.

Rohstoffe, Verarbeitung  
der 50.  
—, Vorkommen der 44.  
Rohton 52, 59, 62, 64,  
69, 102.  
Rohtonstein 58.  
Rohware, Einbauen 126.  
Rohzirkonerde 49.  
Rolladenschieber 117.  
Römische Wasserleitungs-  
rohre 143.  
—, Zeit 137.  
Römischer Wasserlei-  
tungsbaustoff 156.  
Röntgenographische Un-  
tersuchung 35.  
Rost, Plan- 117, 124.  
—, Schräg- 117, 124.  
—, Treppen- 117, 124.  
Rostbeschickung 114,  
124.  
Rostfläche 124.  
Roststäbe 124.  
Rotationsform 86.  
Rotationsgefäß 83.  
Rotationskörper 82, 83,  
85.  
—, Achter- 139.  
Rotbraune Glasober-  
fläche 74.  
Rotbraunes Eisenoxyd  
74.  
Röthaer Ton 69.  
Rotierende Scheibe 132.  
Rotierender Tisch 96.  
Rotierendes Sieb 64.  
Rüböl 102.  
Rückschlagventil 152.  
Rückzugskolben 101.  
Rührarm 63, 64.  
Rührarmschlammquirl  
64.  
Rührbottich 64.  
Rühren 62.  
Rührflügel 60.  
Rührwerk 63, 64, 65,  
151.  
Rundofen 118, 125.  
— mit aufsteigender  
Flamme 122.  
Rundschleifmaschine,  
Präzisions- 135.  
Rundschliff 133, 135 u.  
Bild 25 (S. 152).  
Rutscher 131.  
—, künstliche 131.  
Rutscherkranz 132.  
Rutschersteine 131.  
Rutschung, Gehänge- 46.

- Salpetersäure** 150, 153.  
**Salpetersäureindustrie** 150.  
**Salz, Koch-** 114.  
**Salzdämpfe** 114, 115, 119, 123.  
**Salze** 28, 36.  
— alkalische 29.  
—, wasserlösliche 40, 41.  
—, wasserunlösliche 41.  
**Salzeinblasevorrichtung** 119.  
**Salzen** 114, 115, 119, 124, 129.  
**Salzgare** 114, 120.  
**Salzglasierte Geschirre** 120.  
**Salzglasierverfahren** 114, 115, 122, 129.  
**Salzglasur** 7, 35, 72, 74, 75, 114, 119, 120, 123, 127, 144, 147.  
**Salzlösung, konzentrierte** 142.  
**Salzsäure** 149, 153.  
**Salzsäureabsorption** 150.  
**Salzsäuregase** 151.  
**Salzungszone** 119.  
**Sand** 47, 56, 131, 132, 144, 145.  
—, Glas- 47.  
—, körniger 139.  
—, Monazit- 49.  
—, Quarz- 127.  
—, Schleif- 131, 132.  
— von Hohenbocka 71.  
**Sandfänger** 145.  
**Sandige Abraumschicht** 55.  
**Sandscheibe** 132, 135.  
**Sandschicht** 46, 52.  
—, Schwimm- 56.  
**Sandschleifscheibe** 131.  
**Sandstein** 46, 47, 131, 132.  
**Sandstrahl** 140.  
**Sandstrahlabnutzbarkeit** 142.  
**Sandstrahlgebläseversuch** 139.  
**Sanitäre Einrichtungen** 146.  
**Sauberkeit** 155.  
**Sauerstoff, aktiver** 155.  
**Sauger, Kreisel-** 153.  
**Saugfähigkeit** 137.  
**Saure Flüssigkeiten** 150, 152.  
— Gase 150.
- Säure, Abfall-** 153.  
—, Ameisen- 150, 154.  
—, Mineral- 141, 149.  
—, Pikrin- 154.  
—, Salpeter- 150, 153.  
—, Salz- 149, 153.  
—, Schwefel- 149, 150, 153.  
—, schweflige 155.  
—, Wein- 154.  
**Säureangriffe** 141.  
**Säureauslaugung** 142.  
**Säureautomaten** 152.  
**Säurebeständigkeit** 39, 68, 69, 74, 141, 149, 153, 154, 155, 156.  
**Säureextraktion** 142.  
**Säurefeste Apparate** 137.  
— Gefäße 137.  
— Geräte 137.  
— Maschinen 137.  
— Normalsteine 149.  
**Säurefestigkeit** 143.  
**Säuregase** 151.  
**Säuregefäße** 152.  
**Säurehaltiges Wasser** 145.  
**Säureindustrie, Organische** 154.  
**Säuren** 28, 155.  
**Säureverarbeitende Industrie** 137.  
**Schablone** 85, 86, 91, 92, 93.  
**Schälbagger** 54.  
**Schalen** 147, 151.  
—, Abdampf- 154.  
—, Entwickler- 156.  
—, Rohr- 145.  
—, Schmuck- 147.  
—, Sohl- 145.  
**Schamotte** 37, 60, 62, 63, 64, 71, 128.  
**Schamottemauerwerk** 118.  
**Schamottemehl** 66.  
**Schamotteplatten** 127.  
**Schamotteschieber** 117.  
**Schamottesteine** 118, 127.  
**Scharffeuer** 126.  
**Scharffeuerperiode** 111.  
**Scharffeuerzone** 116, 117, 118, 119, 123.  
**Scharfkantige Form** 97.  
**Schauloch** 127, 128.  
**Scheibe** 83.  
—, Dreh- 91.  
—, Eisen- 132.
- Scheibe, Kopf-** 133.  
—, mechanisch angetriebene 82.  
—, Reib- 95.  
—, rotierende 132.  
—, Sandschleif- 131, 132, 135.  
—, Schleif- 133, 136.  
—, Schub- 82.  
—, Schwung- 82.  
—, Segment- 133.  
—, Siliciumcarbid 134.  
—, Stirn- 133.  
—, Töpfer- 82, 83, 85.  
—, Zylinder- 133.  
**Scheibenauswahl** 134.  
**Scheibenprofil** 134.  
**Scheidewandröhrchen** 151.  
**Scheinbare Porosität** 138.  
**Scherben** 58, 144.  
—, lerderharte 72.  
—, Sinterzeug- 64.  
—, weißtrockener 72.  
**Scherbenbruch** 138.  
**Scherbendicke** 105, 106, 112, 113, 118, 122.  
**Scherbenerweichung** 126.  
**Scherbenoberfläche** 114.  
**Scherbenverdichtung** 36.  
**Scherbenzusammensetzung** 84.  
**Scherversuch** 140.  
**Schicht, Abraum-** 50.  
—, Farb- 102.  
—, oberflächenaktive 27.  
—, Ton- 50, 52, 53.  
**Schichtgesteine, typische** 49.  
**Schichtschliff** 133.  
**Schichtung** 46.  
— in der Masse 95.  
**Schieber** 119.  
—, Abschluß- 124.  
— aus Schamotte 117.  
—, Rolladen- 117.  
**Schiebetor** 119.  
**Schiefer, Urton-** 47.  
**Schiefergebirge, rheinisches** 48.  
**Schieferton** 44, 47, 96.  
**Schieferung im Preßling** 98.  
**Schießarbeit** 55, 56.  
**Schießbaumwolle** 153, 154.  
**Schiffsschraubenbewegung der Quirle** 63.
- Schlachthofabwässer** 145.  
**Schlachthofbetrieb** 147.  
**Schlackenwolle** 123.  
**Schlag des Stempels** 99.  
**Schlagbiegefestigkeit** 70, 139, 142.  
**Schlagmaschine** 66.  
**Schlagpresse** 103.  
**Schlagwerk, Pendel-** 139.  
**Schlamm** 65.  
—, Masse- 63.  
—, Siliciumcarbid- 133, 135.  
**Schlämmanlage** 65.  
**Schlammapparat** 63, 65.  
**Schlammegge** 64.  
**Schlammeindickung** 65.  
**Schlämmen** 50, 56, 58, 64.  
—, Vor- 58.  
**Schlammmaschine** 64.  
**Schlammmasse** 71.  
**Schlammprozeß** 63.  
**Schlammquirl** 63, 65, 80.  
**Schlammrinne** 56.  
**Schlammton** 65.  
**Schlammvorrichtung** 64.  
**Schlange, Dreirohr-** 94 u. Bild 16 (S. 100).  
—, Heiz- 93, 140.  
—, Kühl- 93, 140, 150.  
—, Multiplex- 94 u. Bild 16 (S. 100).  
**Schlangenrohr** 93, 94.  
**Schleifapparate** 131.  
**Schleifarbit** 136.  
**Schleifbeanspruchung** 139.  
**Schleifen** 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136.  
—, Ab- 135.  
—, Aus- 135.  
—, Dicht- 136.  
—, Ein- 135.  
—, Hahn- 135.  
—, Ineinander- 135.  
—, Metall- 134.  
—, Plan- 133.  
**Schleifende Einwirkungen** 144.  
**Schleiferei** 129, 134, 136.  
**Schleiffeile** 131.  
**Schleifkotten** 132.  
**Schleifleistung** 132, 134.  
**Schleifmaschine** 132, 134.  
—, Flächen- 132.  
—, Präzisionsrund- 135.

- Schleifmaschine, Rund- 135.  
—, Spiegelglas- 131.  
Schleifmittel 131, 132, 133, 135.  
Schleifmotor 134.  
Schleifrad 131.  
Schleifraum 131.  
Schleifsand 131, 132.  
Schleifscheibe 133, 136.  
—, künstliche 134.  
—, Sand- 131.  
Schleifstaub 134.  
Schleifstein 132.  
Schleiftechnik 132, 152, 153.  
Schleifteller 132.  
Schleifverfahren 133.  
Schleifvorrichtung 136.  
Schleifwerkstoff 131.  
Schleifwirkung 131.  
Schleifzeit 135.  
Schleppzahn 64.  
Schleudermühle 59, 69.  
Schleuse, Doppel- 117, 119.  
—, Einfahrts- 117.  
Schleusung, Ein- 117.  
Schlick 47.  
Schlicker 29, 80, 84.  
—, Gieß- 66.  
—, flüssiger 78, 81.  
—, Masse- 78.  
Schliff 136, 155.  
—, Dicht- 133, 135, 154.  
—, Fein- 134.  
—, Flächen- 133, 135 u. Bild 23 (S. 144).  
—, gasdichter 136.  
—, Glatt- 133.  
—, Grob- 133, 134, 135.  
—, Hochglanz- 141.  
—, Innen- 133, 135.  
—, Naß- 133, 134.  
—, Plan- 132.  
—, Polier- 133.  
—, Politur- 141.  
—, Präzisions- 134.  
—, Rund- 133, 135 und Bild 25 (S. 152).  
—, Schicht- 133.  
—, Schrapp- 134.  
—, Trocken- 134.  
Schlifffläche 135.  
Schliffgeschwindigkeit 133.  
Schliffglätte 134.  
Schliffzugabe 130.  
Schlitten, Brenn- 116.
- Schlüge, schmale 146.  
Schmalseite des Ofens 122.  
Schmauchzone 117.  
Schmelzbarkeit v. Steinzeugglasuren 72.  
Schmelze 37.  
—, flüssige 37.  
Schmelzen 42, 73, 111.  
Schmelzender Anteil 42.  
Schmelzerscheinung, eutektische 33.  
Schmelzerweichungspunkt 110.  
Schmelzgut 120.  
Schmelzkörbe 120.  
Schmelzpfanne 120.  
Schmelzprozeß, lokaler 36.  
Schmelzpunkt 41, 42, 69, 128.  
— des Tones 47.  
Schmelzpunkterniedrigung 33.  
Schmelzsteine, vulkanische 70.  
Schmelzsystem 35, 36.  
Schmelztemperatur 42.  
Schmelzung 47, 111, 128.  
—, inkongruente 35, 43.  
Schmelzvorgang 42.  
Schmelzwärme 37.  
Schmiermittel 141.  
Schmirgel 48, 131.  
Schmuckschalen 147.  
Schnecke 60, 88, 89, 90.  
—, Förder- 88.  
Schneckenangang, Misch- 62.  
Schneckenpresse 87, 88, 89, 90.  
Schneckenwelle 89.  
Schneide 131.  
—, Gewinde- 133.  
—, Meißel- 130.  
Schneidefähigkeit 130.  
Schneidewerkzeug 130.  
Schnellessighildner 154.  
Schokoladenindustrie 155.  
Scholle, Ton- 53.  
S c h o m b u r g, H. & S ö h n e A.-G., Porzellanfabrik in Margarethenhütte 18.  
Schönheitsfehler 129.  
S c h o o f, G e b r. G. m. b. H. 17.
- Schornstein 118, 121, 122, 126.  
Schornsteinzug 118.  
Schrägrost 117, 124.  
Schraper 55.  
Schraubenquirl 63, 65.  
Schrumpfung 79, 106.  
Schruppen 135.  
Schruppschliff 134.  
Schubscheibe 82.  
Schuppen, Trocken- 59, 107.  
Schüttelsieb 64.  
Schußanstrich 123, 129.  
Schußrohr 128.  
Schwachbrand 126.  
Schwankung, Druck- 129.  
—, Temperatur- 128, 136.  
Schwarzes Glasurinnere 74.  
Schwefelkies 60, 63.  
Schwefelsäure 149, 150, 153.  
Schwefelsäureindustrie 149, 151.  
Schweflige Säure 155.  
Schwenkvorrichtung 92.  
Schwierigkeit, Formgebungs- 149.  
Schwimmsandschicht 56.  
Schwindprozeß 106.  
Schwindrisse 105.  
Schwindung 71, 78, 79, 88, 93, 101, 102, 105, 106, 134.  
—, Brenn- 88, 110, 111, 127, 130.  
—, Feuer- 105.  
—, Trocken- 88, 105, 106, 130.  
Schwindungsvorgang 107, 111.  
Schwungradpresse 97.  
Sechstausend-Litergefäße 152.  
Sedimentation 46.  
Seer-Ton 69.  
Segerformel 70, 72.  
Segerkegel 128.  
Segmentscheiben 133.  
Seide, Kunst- 154.  
Seitenwandung 125.  
Sekundär umgelagerte Tongesteine 45.  
Sekundäre Lagerstätte 46.  
— Luft 124.  
Seladonglasur 5.
- Selbstregistrierende Instrumente 128, 129.  
Senkung der Temperatur 118.  
Serpentin 49.  
Sesquioxide 68.  
Seuchengefahr 146.  
Shaw-Gaskammerofen 120 u. Bild 20 (S. 124).  
SiC 41, 49, 69, 131, 133.  
Sicherheit, Betriebs- 153.  
— beim Sprengen 53.  
Sicherheitsfaktor 137.  
Sicherheitsgrenze 138.  
Sicherheitssprengstoff 51, 53.  
Sicherheitsventil 100.  
Sichtung, Wind- 60, 64.  
Sickeranlagen 146.  
Sieb 58, 63.  
—, rotierendes 64.  
—, Schüttel- 64.  
Silicatbildung, mineralische 133.  
Silicat-chemisches Problem 34.  
Silicate 41, 42, 68, 71.  
—, Aluminium- 38, 40, 45, 110, 141.  
—, Eisen- 38.  
—, Meta- 39.  
—, Natrium-Aluminium- 114.  
—, Ortho- 39.  
—, RO- 39.  
—, Tonerde- 38, 40, 45, 110, 141.  
—, Zirkon- 49.  
Silicatgruppe, Erdalkali-Alumo- 40.  
Silicium, Ferro- 49.  
Siliciumcarbid 41, 49, 69, 131, 133.  
Siliciumcarbidskorn 133.  
Siliciumcarbidscheibe 134.  
—, keramisch gebundene 133.  
Siliciumcarbidschlamm 133, 135.  
Sillimanit 35, 38, 39, 40, 49, 110.  
—, D. T. S.- 25, 141, 156.  
—, D. T. S.-Isolator 25.  
—, künstlicher 49.  
— -Mischkristall 40.  
Silo 146.  
Sinkkästen 94, 145.

- Sinken der Temperatur 128.
- Sintergebrannter Ton 71.
- Sintermagnesit 39.
- Sinterung 33, 34, 36, 42, 73, 77, 98, 110, 111, 114, 138, 144.
- Sinterungspunkt des Tones 47.
- , Herabsetzung 36.
- Sinterungstemperatur 42, 114.
- Sinterzeugscherben 64.
- SiO<sub>2</sub> 68, 69.
- SnO<sub>2</sub> 68.
- Soda 62, 66, 79.
- Sohle 126.
- , Ofen- 122.
- , undurchbrochene Kammer- 121.
- Sohlenfeuerung 121.
- Sohlschalen 145.
- Sohlsteine 145.
- Sommern 54, 59.
- Sortierung, Vor- 59.
- Spachtel 96.
- Spaltung von Kochsalz 114.
- Spanabhebende Bearbeitung 130.
- Spanabnahme 130, 134, 135.
- Spanleistung 134.
- Spanbeanspruchung 135.
- Spannungen 78, 82, 104, 113.
- , Druck- 140.
- , Trocken- 104.
- , Zug- 140.
- Spannungserwärmungsprobe 141.
- Spannvorrichtung 135.
- Spaten 55.
- , Preßluft- 53, 55, 56.
- Specialitäten 123.
- Specialöfen 120.
- Specialqualitäten, feuerfeste 123.
- Specialstahl 130.
- Specifische Festigkeits-eigenschaften 140.
- Specifische Wärme 142.
- Specifisches Gewicht 138.
- Speckstein 39, 44.
- Speicheranlagen 152.
- Speicherer Ton 69.
- Speichergefäße 154.
- Spiegelglasschleifmaschine 131.
- Spieß, Ton- 55.
- Spindel 87, 95, 96.
- , Dreher- 85.
- Spindeldruck 103.
- Spindelpresse 94, 95, 96.
- Spinell 39.
- Spitzende von Rohren 92.
- Spitzenrillierung 91.
- Sprengarbeit 53.
- Sprengen 50.
- , Sicherheit beim 53.
- Sprengloch 56.
- Sprengstoff, Sicherheits- 51, 53.
- Sprengstoffindustrie 154.
- Sprengverfahren 53.
- Spritzen 76.
- Sprödigkeit 139.
- Sprünge 89, 95, 104, 113, 120, 141.
- Spuckbecken 147.
- Spühlbottiche 147.
- Spülsteine 147.
- Spülversatzverfahren 51.
- Spülwannen 156.
- SrO 37, 39, 67, 68, 70.
- Stäbe, Rost- 124.
- Stabiler Krystallzustand 41.
- Städtebau 137.
- Stählerne Form 97, 100.
- Stahlrädchen 134.
- Stall, Kuh- 146.
- Stalleinrichtungen 146.
- Standfestigkeit 111, 127.
- des Formlings 90.
- Stanzen 102, 103.
- Stapel 107.
- Stärke, Wand- 140.
- Staub, Schleif- 134.
- Stechmaschine, Ton- 55.
- Steifigkeit der Masse 90.
- Steigerung der Temperatur 112, 113.
- Steigleitung 152.
- Stein, Abzieh- 131.
- , Arkansas- 131.
- , Form- 95.
- , Masse- 58.
- , Naxos- 131.
- , Normal- 52, 151.
- , Prismen- 151.
- , Rohton- 58.
- , Rutscher- 131.
- , Sand- 131, 132.
- , säurefester Normal- 149.
- , Schamotte- 118, 127.
- , Schleif- 132.
- Stein, Spül- 147.
- , trocken gepreßter 97.
- Steinbrecher 64.
- Steinbruchbetrieb 56.
- Steinige Bestandteile 60.
- Steinkohle 124.
- Steinplatte 132.
- Steinzeit 131.
- Steinzeug, weißes 1, 4, 123, 142, 150.
- , weißglasiertes 145, 147, 150.
- Steinzeugröhrenfabrik G. m. b. H. Lugknitz 24.
- Steinzeugrohrsyndikat, Rheinisches 19.
- Stempel 95, 99, 102.
- , Ober- 100, 101.
- , Preß- 95, 97.
- , Unter- 99, 100.
- Stempelplatte 101.
- Stempelpresse 95.
- , Fall- 99.
- , hydraulische 101.
- , Kniehebel- 96, 99.
- , mechanische 101.
- Stempelschlag 99.
- Stephan - Boltzmannsches Gesetz 112.
- Sternplatten 151.
- Sternringe 151.
- Steuerapparat 100.
- , Ventil- 101.
- Steuerung 101.
- Steuerventile 152.
- Stirnscheiben 133.
- Stopfbüchsen 152.
- Störungsgebiete, tektonische 47.
- Stöße, Abbau- 54.
- Stoßfestigkeit 139, 149.
- Stoßkanten 94.
- Stoßweise Belastung 139.
- Strahlpumpen 152.
- Strahlung, Gesamt- 112, 129.
- , Wärme- 112, 113, 129.
- Strahlungs-pyrometer 128, 129.
- Strahlungsverlust 119, 121.
- Strang 82, 90.
- , endloser 87, 88.
- , Masse- 89, 94.
- , Rohr- 91.
- Strangpresse 86, 87, 89, 90, 94, 96.
- Strangpreßverfahren 87, 94.
- Straße, Fahr- 146.
- Straßenentwässerung 144.
- Streckenvortrieb 51.
- Streichdruck 84.
- Streichen 76, 83.
- Streichverfahren 84.
- , Auf- 83 und Bild 10 (S. 60).
- Ströbel am Zobten 46, 48.
- Stromdurchgang 141.
- Strömung, Wärme- 112.
- Strosse 52, 54.
- Struktur, faserige 35.
- Stützen, Rohr- 144.
- Stüger 156.
- Sublimation 154.
- Sublimiergefäße 154.
- Sulfate 110.
- Sulfide 110.
- Sumpf 56, 58, 62, 63.
- Suppenwürze 155.
- Suspension 63, 76, 80.
- , Masse- 65.
- , Ton- 64, 65.
- , wässrige 56, 61.
- Süßwasserablagerung 46.
- Synthetische Arbeit 35.
- Syphon 94.
- System, Krystall- 35.
- , Schmelz- 35, 36.
- T**agebau 50, 51.
- , Tongruben- 52 und Bild 1 (S. 8).
- Talk 44.
- Tasse 143.
- Technik, Aufgaben der 139.
- , Metall- 31.
- , Ofenbau- 116.
- , Schleif- 152, 153.
- , Wärme- 123.
- , Zeitalter der 156.
- Technische Verbesserung 148.
- , Verwendung 156.
- Teerstrick 144.
- Tektonische Störungsgebiete 47.
- Teller 143.
- , Schleif- 132.
- Temperatur, Arbeits- 102.
- des Ofens 128.

Temperatur, End- 126.  
 —, Gleichgewichts- 43.  
 —, kritische 110.  
 —, Sinken der 128.  
 —, Sinterungs- 114.  
 Temperaturanstieg 113, 114.  
 Temperaturdifferenz 113.  
 Temperatureffekt 77.  
 Temperaturgefälle 112.  
 Temperaturgrenze 113.  
 Temperaturintervall 118.  
 Temperaturkontrolle 128.  
 Temperaturmeßinstrumente 127.  
 Temperaturmessung 129.  
 Temperaturschwankung 128, 136.  
 Temperatursenkung 118.  
 Temperatursteigerung 112, 113, 128.  
 Temperaturverlauf 37.  
 Temperaturwechselbeständigkeit 25, 69, 70, 140, 149, 152.  
 Terra sigillata 7.  
 Tertiärton 47, 70.  
 Textilindustrie 155.  
 Thermische Eigenschaften 142.  
 — Konstanten 141.  
 — Widerstandsfähigkeit 140.  
 Thermischer Wirkungsgrad des Ofens 114.  
 Thermoelektrisches Pyrometer 128, 129.  
 Thermoelement 128, 129.  
 Tiefbagger 54.  
 Tiefbau 50, 51, 143, 144, 145, 146.  
 Tiefengestein 48.  
 TiO<sub>2</sub> 37, 68.  
 Tisch, beweglicher, der Presse 89.  
 —, Entwicklungs- 156.  
 —, Form- 101.  
 —, kreisförmiger 95.  
 —, Pressen- 91, 101.  
 —, rotierender 96.  
 Titanat 38.  
 Titanglas 38.  
 Ton, 44, 45, 46, 50, 51, 54, 57, 58, 59, 60, 62, 63, 64, 70, 71, 81, 128.  
 —, alluvialer 47.

Ton, bildsamer 47.  
 —, Braunkohlen- 70.  
 — Deggendorfer 69.  
 —, eisenhaltiger 36, 70.  
 —, fetter 105.  
 —, geschlämmter 65.  
 —, gesumpfter 62.  
 —, hochplastischer 105.  
 —, Lehaner- 69.  
 —, Marine- 46.  
 —, Pfälzer- 69.  
 —, plastischer 45, 51, 55, 57, 58.  
 —, quarzhaltiger 47.  
 —, Roh- 52, 59, 62, 64, 69, 102.  
 —, Schiefer- 47, 96.  
 —, sintergebrannter 71.  
 —, Speicherer 69.  
 —, Tertiär- 47, 70.  
 — und Steinzeugwerke W. Richter & Cie. Bitterfeld 17.  
 — von Bitterfeld 69.  
 — von Belitz 69.  
 —, von Briesen 69, 70.  
 — von Bunzlau 71.  
 —, von Frohnsdorf 69.  
 — von Goldhausen 71.  
 — von Guttau 69.  
 — von Halle 71.  
 —, von Haydenville 70.  
 —, von Höhr 69.  
 — von Klingenberg 69.  
 — von Lämmersbach 69, 71.  
 — von Löhain 71.  
 — von Ohio 69, 70.  
 — von Ottawa 69.  
 — von Rötha 69.  
 — von See 69.  
 — von Zinzendorf 69.  
 —, Westerwälder 5.  
 Tonabbau 50, 51, 53, 56.  
 Tonauflösung 64.  
 Tonbagger 54 u. Bild 2 (S. 16).  
 Tonbedarf 52.  
 Tonbergbau 52, 54.  
 Tonbrei 65, 77.  
 Tonerde 35, 68, 110, 111.  
 —, geschmolzene 43.  
 —, krystalline 43.  
 Tonerdedoppelsilicat 38.  
 Tonerdedoppeltitanat 38.  
 Tonerdegehalt 70, 114.  
 Tonerdehaltige Mineralien 44.  
 Tonerdehydrosilicat 45.

Tonerdesilicat 38, 110.  
 Tongesteine 44, 46.  
 —, sekundär umgelagerte 45.  
 Tongrube 51, 55, 56.  
 Tongruben-Tagebau 52 und Bild 1 (S. 8).  
 Tonhomogenisierung 63.  
 Tonklumpen 55.  
 Tonknötchen 62.  
 Tonlager 46, 50, 59.  
 Tonmaterial 56.  
 Tonmergel 44, 47.  
 Tonmischung 57, 58, 62.  
 Tonreinigung 58.  
 Tonschicht 50, 52, 53.  
 Tonschichten, Abpflügen der 53.  
 Tonschiefer 44, 47.  
 Tonschneider 62, 66, 82, 88, 96 und Bild 6 (S. 40).  
 Tonspieß 55.  
 Tonstechmaschine 55.  
 Tonstein, Roh- 58.  
 Tonstrang 82.  
 Tonsubstanz 27, 32, 44, 46, 71, 73, 110.  
 —, Zersetzung der 32.  
 Tonsubstanzgehalt 68.  
 Tonsuspension 63, 64, 65.  
 Tonteilchen, kolloide 29.  
 Tonwand 53.  
 Tonwarenfabrik Bettenhausen Dr. Dr. Plath, Staub & Piepmeyer 22, 23.  
 — A. Kypke, Muskau 23.  
 — Schwandorf 17.  
 Tonzusammensetzung 69.  
 Töpfe 155.  
 —, Eindrehen kleiner 82 und Bild 8 (S. 48).  
 —, Einmach- 147.  
 —, Koch- 147.  
 —, Nitrier- 153.  
 Töpfer 81, 83.  
 Töpferei, Geschirr- 81.  
 Töpferscheibe 82, 83, 85.  
 Topfwagen 153.  
 Tor, Schiebe- 119.  
 Torsionsfestigkeit 142.  
 Torsionsversuch 140.  
 Transparenz 74.  
 Transport 60, 61, 109, 116, 150, 153.  
 —, Ab- 55.

Transport einer Rohschale 109 und Bild 18 (S. 112).  
 — von Großbehältern 129, 140 und Bild 24 (S. 148).  
 Transportband 109.  
 Transportverfahren 93.  
 Transportvorrichtung 89, 109.  
 Transportwagen 117.  
 Treppenrost 117, 124.  
 Trichter, Füll- 124.  
 Trikliner Plagioklas 40.  
 Trockenanlage 108, 126.  
 Trockenaufbereitung 47, 58, 59, 60, 61, 62.  
 Trockenbearbeitung 132.  
 Trockenboden 92.  
 Trockendauer 37.  
 Trockene Masse 57, 76.  
 Trockener Zustand 58.  
 Trockenformgebung 61, 66, 96.  
 Trocken gepreßte Steine 97.  
 Trockengerüste 108.  
 Trockengewicht 138.  
 Trockengitter 107.  
 Trockengut 109.  
 Trockenkammer 108.  
 Trockenkanal 109.  
 Trockenluft 106, 108.  
 Trockenmahlung 58, 64.  
 Trockenmethode 108.  
 Trockenperiode 97.  
 Trockenpresse 37.  
 —, Halb- 96.  
 —, hydraulische 101.  
 Trockenpressung 58, 77, 81, 94, 97, 98, 100, 102, 103, 104.  
 Trockenraum 107, 108.  
 Trockenrisse 82, 93, 96, 97, 105, 108.  
 Trockenschliff 134.  
 Trockenschuppen 59, 107.  
 Trockenschwindung 32, 71, 79, 88, 105, 106, 130.  
 Trockenspannung 104.  
 Trockentrommel 59.  
 Trockenverformung 61.  
 Trockenvermahlung 65.  
 Trockenvorgang 105, 106, 107, 108, 111.  
 Trockenvormahlung 64.  
 Trockenvorrichtung 59.

Trockenzwecke 118, 126.  
 Trocknen 30, 31, 32, 37,  
 58, 73, 79, 82, 83,  
 93, 96, 104, 105, 106,  
 107, 109, 110, 125.  
 Trockner Kanal- 108,  
 109.  
 Trocknung, Darren- 59.  
 — in Kammern 107.  
 —, künstliche 59.  
 —, Vor- 59, 60.  
 Trocknungsanlage 109.  
 Trocknungsdauer 105,  
 108, 109.  
 Trocknungsmethode 59.  
 Trocknungsperiode 107.  
 Trocknungsverfahren,  
 Kammer- 108.  
 Trocknungszeit 102, 103.  
 Tröge, Futter- 146.  
 —, Wasch- 147.  
 Trommel, Trocken- 59.  
 Trommelmühle 64, 65.  
 —, Naß- 58.  
 Trommelprobe 142.  
 Tropfen, Glasur- 129.  
 Tunnel-Muffelofen 119.  
 —, kontinuierlicher 120.  
 Tunnelofen 109, 115,  
 116, 117, 118, 119,  
 121, 123, 125 und  
 Bild 19 (S. 120).  
 —, Klinker- 120.  
 Tunnelofenbetrieb 119.  
 Tür, Einsatz- 115, 127.  
 Turill 149.  
 Turm, Absorptions- 150.  
 —, Gay-Lussac- 149.  
 —, Glover- 149.  
 —, Kühl- 152.  
 —, Platten- 149.  
 —, Raschig- 151.  
 —, Reaktions- 136, 150.  
 —, Wasch- 152.  
 Turmteile, Absetzen von  
 91 u. Bild 13 (S. 80).  
 Turmteilpresse 91 und  
 Bild 13 (S. 80).  
 Trydimit 43.

**Ü**bergang d. Wärme 112.  
 Übergangsbogenrohre  
 144.  
 Übergangsrohre 144.  
 Übergangszylinder 90.  
 Überhitzter Dampf 115.  
 Überhitzung 126.  
 Überlauf 151.

Überschlagende Flamme  
 121, 122, 126.  
 Überschuß, Luft- 113.  
 Übertragung der Wärme  
 112, 140.  
 Überwachung d. Brandes  
 127, 129.  
 —, Zug- 129.  
 Überwürfe 156.  
 Umfangsgeschwindigkeit  
 133.  
 Umfangswände 149.  
 Umlagerung d. Tones 45.  
 Umsetzung, chemische  
 111.  
 Umwandlung 43.  
 —, chemische 125.  
 —, enantiotrope 37.  
 —, monotrope 37.  
 Unbildsame Mineralien  
 27.  
 Undichtigkeit 144.  
 Undurchbrochene Kam-  
 mersohle 121.  
 Undurchlässigkeit für  
 Flüssigkeit 62.  
 Unglasierte Ware 74.  
 Unhygroskopizität 141,  
 142, 146.  
 Unplastische Gesteine  
 44.  
 — Mineralien 44, 49.  
 — Rohmaterialien 47.  
 Unterglasurfarben 74.  
 Unterirdischer Abbau 51.  
 Unterkühlte Flüssigkei-  
 ten 72.  
 Unterstempel 99, 160.  
 Untersuchung, röntgeno-  
 graphische 35.  
 —, Vor- 138.  
 Untersuchungsmethoden  
 137.  
 Untertagebetrieb 51.  
 Unverbrannte Gase 124.  
 Unvergänglichkeit 144.  
 Urgestein 48.  
 Urtonschiefer 47.  
 Urzeit 131.

**V**akuum 154.  
 Valentiner, F. 22.  
 Valentinus, Basilius 20.  
 Vanadin 38.  
 Vanadinaluminat 41.  
 Vanadincarbonat 41.  
 Vanadinoxid 41.  
 Vanadinsilicat 41.

Vasen, Blumen- 147.  
 Vauxhall 67.  
 Vegetabilisches Binde-  
 mittel 133.  
 Vegetationsgefäße 146.  
 Ventil, Kugel- 152.  
 —, Steuer- 152.  
 —, Rückschlag- 152.  
 —, Sicherheits- 100.  
 Ventilation, künstliche  
 121, 126.  
 Ventilator 107, 118.  
 Ventilsitz 133.  
 Ventilsteuerapparat 101.  
 Verarbeitbarkeit von  
 Massen 31.  
 Verarbeitung der Roh-  
 stoffe 50.  
 Verbesserung, technische  
 148.  
 Verbesserungen 137,  
 140, 149, 150.  
 Verbilligung der Fabri-  
 kation 81.  
 Verbindungsstücke 145.  
 Verbrauch an Wärme  
 108, 127.  
 —, Kohlen- 129.  
 Verbrennung 124.  
 — der Gase 123.  
 Verbrennungsluft 118,  
 121.  
 —, vorgewärmte 121.  
 Verdampfung 106, 113.  
 —, Flüssigkeits- 151.  
 Verdampfungsvorgang  
 105.  
 Verdichtung 101, 141.  
 — des Gefüges 95.  
 — der Masse 36, 111.  
 —, Vor- 101.  
 Verdunstung 105, 106.  
 —, Oberflächen- 105.  
 —, Wasser- 65, 106.  
 Verdunstungsperiode  
 107.  
 Veredlung, Textilfaser-  
 155.  
 Verein für chemische u.  
 metallurgische Pro-  
 duktion, Aussig 21.  
 Vereinheitlichung der  
 Form 81.  
 Vereinigte Tonwaren-  
 werke A. G. in Char-  
 lottenburg 17, 22, 23.  
 Verfahren, chemische  
 149.  
 —, elektrochemische 155.

Verfall der Tonsubstanz  
 110.  
 Verfestigung des Mate-  
 rials 97.  
 — der Masse 37.  
 — von Schmelzen 37.  
 Verflüssigung 79.  
 Verflüssigungsmittel 62.  
 Verformen 28, 57, 79,  
 81, 82, 86.  
 — unter Druck 81, 82,  
 98.  
 Verformung im plasti-  
 schen Zustande 82.  
 —, maschinelle 87.  
 —, Naß- 58.  
 Verformungsverfahren,  
 plastisches 61.  
 —, Trocken- 61.  
 Verglühen des Scherbens  
 73.  
 Verkaufsgesellschaft  
 Deutscher Steinzeug-  
 werke G. m. b. H.  
 Charlottenburg 18.  
 Verkürzung der Brenn-  
 dauer 112.  
 Verladung, maschinelle  
 55.  
 Verlauf der Temperatur  
 37.  
 Verlust, Abbau- 51.  
 —, Abgas- 125.  
 — an Gewicht 111.  
 —, Gewichts- 139, 142.  
 —, Raum- 139.  
 —, Strahlungs- 119, 121.  
 —, Wand- 125.  
 —, Wärme- 121, 125.  
 Verlustwinkel, dielek-  
 trischer 68.  
 Vermahlung 65.  
 —, Trocken- 65.  
 Verpressen 92, 95.  
 — von Abfall 93.  
 Verputzen 78, 93.  
 — der Rohre 91, 92.  
 Verputzmaschine 92.  
 Verringerung des Vo-  
 lumens 111.  
 Versand 129.  
 Versatz, Glasur- 73.  
 Versätze, Massen- 71.  
 Versatzstoffe 72.  
 Verschleiß 91.  
 — der Innenmauerung  
 123.  
 Verschuß, Geruch- 145.  
 —, Wasser- 145.

- Verteiler, Flüssigkeits- 152.  
 Verunreinigung 35, 36, 45, 61, 63, 64, 65.  
 Verwendung 144, 147, 148, 150.  
 —, chemische 153.  
 —, technische 156.  
 Verwitterungsprodukt 44, 45.  
 Verwitterungsvorgang 45.  
 Verziehen 105.  
 Viehtrog 94.  
 Viereckige Kammeröfen 122.  
 Viereckiger Einzelofen 118, 125.  
 — Querschnitt 90.  
 Viskose Flüssigkeiten 77.  
 Viskosität 76.  
 Voisonlieu 67.  
 Volksbäder 147.  
 Vollfeuer 113, 115, 121.  
 Volt, 380000-Spannung 25.  
 Volumen, Poren- 111.  
 Volumenvergrößerung d. Quarzes 110.  
 Volumenverringerung 111.  
 Vorbereitungsprozeß 59.  
 Vorbrennen d. Scherbens 73.  
 Vorfeuer 113.  
 Vorform 90.  
 Vorgänge, chemische 115.  
 —, physikalische 43, 115.  
 Vorgeformte Klinker 96.  
 Vorgelege, Zahnrad- 97.  
 Vorgetrockneter Zustand 97.  
 Vorgewärmte Verbrennungsluft 121.  
 Vorkommen d. Rohstoffe 44.  
 —, geologisches 44.  
 Vorlage, Pressen- 91.  
 Vormahlung 64.  
 —, Trocken- 64.  
 Vorrichtung, Beschickungs- 60.  
 —, Verputz- 92.  
 Vorschlämmen 58.  
 Vorschub, hydraulischer 134.  
 —, periodischer 109.  
 Vorschubvorrichtung, mechanische 116.
- Vorsortierung 59.  
 Vorster & Gröneberg 21.  
 Vortrieb, Strecken- 51.  
 Vortrocknung 59, 60.  
 Voruntersuchung 138.  
 Vorverdichtung 101.  
 Vorwärmezone 116, 117.  
 Vorwärmung 108, 109, 123.  
 Vorzerkleinerung 54, 64.  
 Vorzerkleinerungsapparat 64.  
 Vulkanische Schmelzgesteine 70.
- Wächter, Feuer- 122.  
 Wagen, Brenn- 116, 117.  
 —, Hub- 109.  
 —, Plattformen der 117.  
 —, Topf- 153.  
 —, Transport- 117.  
 Wageneinfahren 117.  
 Walze 88, 89, 155.  
 Walzenpresse 87, 88.  
 Walzwerk 88.  
 —, Fein- 63.  
 Wandbekleidungsplatten 146.  
 Wände, Umfassungs- 149.  
 Wandernde Brennzonen 120.  
 Wanderndes Brenngut 120.  
 Wandstärke 80, 83, 89, 90, 109, 123, 140.  
 Wandung, Ofen- 121, 123.  
 —, Rohr- 144.  
 —, Seiten- 125.  
 Wandungen 113.  
 Wandverluste 125.  
 Wannen 83, 152, 155.  
 —, Bade- 147.  
 —, Fußbade- 147.  
 —, Spül- 156.  
 Ware 120.  
 —, unglasierte 74.  
 Wärme 112, 113, 121, 125.  
 —, spezifische 142.  
 Warme Luft 109.  
 Wärmeaufnahme 123.  
 Wärmeausnutzung 107, 121.  
 Wärmebindung 106.  
 Wärmedehnung 73, 136, 140.
- Wärmeinhalt 125, 129.  
 Wärmeisolierschicht 123.  
 Wärmeleitfähigkeit 25, 69, 112, 130, 140, 142, 149.  
 Wärmeleitung 112, 113, 130.  
 Wärmemenge 121, 124, 125, 126, 130.  
 Wärmestrahlung 112, 113, 129.  
 Wärmeströmung 112.  
 Wärmetechnik 123.  
 Wärmetechnische Eigenschaften 140.  
 Wärmeübergang 112.  
 Wärmeübertragung 112, 140.  
 Wärmeverbrauch 108, 127.  
 Wärmeverluste 121, 125.  
 Wärmewirtschaft 107, 118, 125.  
 Wärmezufuhr 124.  
 Waschanlagen, Reihen- 147.  
 Waschbecken 147.  
 Waschbretter 147.  
 Waschtische, Auf- 147.  
 Waschtöpfe 147.  
 Waschtürme 152.  
 Wasser, Adhäsions- 104.  
 —, eisenhaltiges 145.  
 —, hygroskopisches 110.  
 —, Konstitutions- 110.  
 —, Niederdruck- 100.  
 —, Poren- 104.  
 —, Preß- 100, 101.  
 —, säurehaltiges 145.  
 Wasserabgabe 105, 110.  
 Wasseraufnahmefähigkeit 106, 142.  
 Wasserdampf 113.  
 Wasserdruck 100.  
 Wasserentziehung 106.  
 Wassergehalt 32, 76, 77, 78, 79, 80, 84, 85, 87, 96, 97, 98, 99.  
 Wasserglas 62, 66, 79.  
 Wasserhaltung 55.  
 Wasserhaut 104.  
 Wasserhomogenisierung 62.  
 Wässrige Suspension 56, 61.  
 Wasserkühlung 150.  
 Wasserleitung, Gebrauchs- 145.
- Wasserleitungsbaustoff, römischer 156.  
 Wasserleitungsrohre, römische 5, 143.  
 Wasserlösliche Salze 40, 41.  
 Wassermenge 97, 105, 111.  
 Wasserstoffsuperoxyd 155.  
 Wasserunlösliche Salze 41.  
 Wasserverdunstung 65, 106.  
 Wasserverschluß 145.  
 Wasserzusatz 79.  
 Wechsellagerung 46.  
 Wedgwood, Josiah 14, 15, 20.  
 Wedgwood 67.  
 Wedgwood-Geschirr 86.  
 Weiche Masse 81.  
 Weiden & Schaafl 18.  
 Weinsäure 154.  
 Weißes Steinzeug 1, 142, 150.  
 Weißglasiertes Steinzeug 145, 147, 150.  
 Weißtrockener Scherben 72.  
 Weiterbeförderung 152.  
 Welle, biegsame 133.  
 —, Schnecken- 89.  
 Werkstoff 148.  
 —, Schleif- 131.  
 Werkstoffbeanspruchung 137.  
 Werkzeugmaschine 133.  
 Westdeutsche Steinzeug-, Schamotte- & Dinaswerke G. m. b. H., Euskirchen 18, 23.  
 Westerwälder Steinzeug 8.  
 — Tone 5, 8.  
 — Geschirr 86.  
 Wetterfestigkeit 143.  
 Widerstand, chemischer 148.  
 —, Durchgangs- 152.  
 Widerstände, elektrische 69.  
 Widerstandsfähigkeit 110, 142.  
 —, chemische 25, 68, 75, 137, 152.  
 —, elektrische 68, 70.

**Widerstandsfähigkeit**  
 gegen Atmosphärien 143.  
 — — ägende Einwirkung 154.  
 — — Flußsäure 69.  
 — — Korrosion 143.  
 — — Säure 69, 141, 154.  
 — — schleifende Beanspruchung 139.  
 —, mechanische 144.  
 —, thermische 140.  
 Wiesenkalk 48.  
 Wimpf & Schmidt 22.  
 Windablagerung 46.  
 Windsichtung 60, 64.  
 Wintern des Tones 54, 59.  
 Wirkliche Porosität 138.  
 Wirkung, katalytische 151.  
 Wirkungsgrad des Ofens 125, 126.  
 Wirtschaft, Wärme- 118, 125.  
 Wirtschaftliche Bedingungen 59.  
 — Führung d. Brandes 128.  
 Wirtschaftlichkeit 68, 123, 148.  
 Wissenschaft 137, 149.  
 Witterungsverhältnisse 107.  
 Wolfram 38.  
 Wolframaluminat 41.  
 Wolframcarbonat 41.  
 Wolframoxyd 41.  
 Wolframsilicat 41.  
 Wollastonit 40.

**Zähigkeit** 139.  
 Zahn, Schlepp- 64.  
 Zähne, Drachen- 89, 94.  
 Zahnradvorgelege 97.  
 Zeitalter d. Technik 156.  
 Zellenhohlkörper 151.  
 Zellulose, Nitro- 154.  
 Zentrifugalpumpe 80.  
 Zentrifugen, Nitrier- 153.  
 Zerfall des Mullits 35.  
 Zerkleinerung 57, 58, 59, 61, 63, 64.  
 —, Kollergang- 63 und Bild 4 (S. 28).  
 —, Vor- 54, 64.  
 Zerkleinerungsapparat 60.  
 Zerkleinerungsmaschine 61.  
 Zerreißapparat 139.  
 Zerreißen 104.  
 Zerrung 127.  
 Zersetzung, chemische 110.  
 — der Aluminiumsilicate 32.  
 — der Tonsubstanz 32.  
 — des Feldspates 45.  
 Zersetzungsperiode 111.  
 Zersetzungsprodukt 44.  
 Zersetzungspunkt 110.  
 Zersetzungs Vorgang 44.  
 Zerstörungen 136.  
 Zertrümmerung 140, 142.  
 Ziehklinge 96.  
 Ziehprobe 127.  
 Zimmer, Bade- 147.

**Zinzendorfer Edelton**  
 69, 70.  
 Zirkon 38.  
 Zirkonaluminat 41.  
 Zirkoncarbonat 41.  
 Zirkonerde, roh 49.  
 Zirkonoxyd 41, 49.  
 Zirkonsilicat 41, 49.  
 ZnO 39, 67, 68, 71.  
 Zone, Abkühl- 116, 118, 119.  
 —, Brenn- 121.  
 —, Kühl- 117.  
 —, Nutz- 120.  
 —, Salzungs- 119.  
 —, Scharffeuer- 116, 117, 118, 123.  
 —, Schmauch- 117.  
 —, Vorwärme- 116, 117, ZrO<sub>2</sub> 37, 68, 71.  
 Zubehörteile 145.  
 Zufuhr von Wärme 124.  
 Zuführung von Brennstoff 125.  
 Zugbeanspruchung 136, 139, 144.  
 Zugerzeugung 122.  
 Zugfestigkeit 139, 142, 149.  
 Zug im Ofen 115, 125.  
 —, Luft- 113.  
 —, Schornstein- 118.  
 Zugmesser 127, 129.  
 Zugspannung 140.  
 Zugüberwachung 129.  
 Zusammenbacken 126, 127.  
 Zusammengarnieren 84.

**Zusammengehörigkeit, mechanische** 75.  
**Zusammensetzung, chemische** 37, 38, 42, 43, 68, 111, 141.  
 — der Flammgase 118.  
 — — Glasuren 72, 73.  
 — — Masse 67, 83, 99, 112.  
 — — Scherben 84.  
 — — Tone 69.  
 —, mineralische 111.  
**Zusätze, alkalische** 31.  
**Zusatzmittel** 64.  
**Zuschlagsstoffe** 68.  
**Zustand, amorpher** 42.  
 —, breiförmiger 76.  
 —, fester 43.  
 —, flüssiger 42, 43, 96, 98.  
 —, gießfähiger 66.  
 —, krümeliger 103.  
 —, krystalliner 40, 42.  
 —, lederharter 30, 97.  
 —, plastischer 30, 31, 57, 62, 66, 76, 81, 82.  
 —, Reaktion im festen 77.  
 —, trockener 58.  
 —, vortrockneter 97.  
**Zweistoffsystem** 34.  
**Zwischenschicht, elastische** 140.  
**Zylinder** 87, 88, 152.  
 —, Preß- 88, 90, 100, 101.  
 —, Probe- 138.  
 —, Übergangs- 90.