

SCHAMOTTE UND SILIKA

IHRE EIGENSCHAFTEN, VERWENDUNG
UND PRÜFUNG

L. LITINSKY

SCHAMOTTE UND SILIKA

IHRE EIGENSCHAFTEN, VERWENDUNG
UND PRÜFUNG

VON

OB.-ING. L. LITINSKY

LEIPZIG

*

MIT 75 ABBILDUNGEN
IM TEXT UND AUF 4 TAFELN UND
43 ZAHLENTAFELN IM TEXT



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1925

ISBN 978-3-662-28254-0 ISBN 978-3-662-29772-8 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-29772-8

Copyright Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1925
Ursprünglich erschienen bei Otto Spamer, Leipzig
Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1925

Vorwort.

Das vorliegende Werk ist vom Standpunkte des Verbrauchers geschrieben. Es soll in diesem Buch gezeigt werden, welche Beschaffenheit ein feuerfester Stoff aufweisen muß, um den mannigfachen Ansprüchen der verschiedensten Industriezweige gerecht zu werden. Dagegen gehört es nicht zu den Aufgaben dieses Werkes, auch den Weg zur Erlangung der benötigten Eigenschaften, also die Fabrikation der feuerfesten Erzeugnisse zu kennzeichnen. Wenn auch die Güte der feuerfesten Fabrikate in gewissem Grade von der Art ihrer Erzeugung abhängt, so ist es doch dem Verbraucher selten bekannt, wie das zu verwendende Fabrikat erzeugt worden ist. Es ist deshalb vielmehr die Sache des Fabrikanten, die Herstellungsart seiner Erzeugnisse den in Frage kommenden Eigenschaften anzupassen.

Während es bereits verschiedene Bücher gibt, die sich mit der Fabrikation feuerfester Produkte befassen, fehlte bislang völlig ein Buch, in welchem die Wünsche der Verbraucher genügende Beachtung fanden. Diese Tatsache hat mich bewogen, das in einer Reihe von Jahren in meiner Praxis mühsam gesammelte Material zu sichten und in vorliegendem Buch, soweit es möglich war, entsprechend den Bedürfnissen der Praxis mit zu verwerten.

Die Verluste, die in den industriellen Ofenanlagen durch vorzeitige Zerstörung der Ofenmauern und -wände eintreten, sind durch die darauffolgende Außerbetriebsetzung der Öfen und damit verbundene Arbeitsunterbrechung so bedeutend, daß es dem Verbraucher wohl lohnend erscheint, von vornherein sich soweit als möglich Klarheit über die zu verwendenden feuerfesten Baustoffe zu verschaffen. Andererseits wird die fortschreitende Kenntnis der Eigenschaften dieser Baustoffe bei den Verbrauchern dazu führen, daß sie viele übertriebene Forderungen, die sich in Form von zuweilen unerfüllbaren Lieferungsbedingungen zeigen, fallen lassen. Auch werden dann die Verbraucher in bezug auf den Kern der meisten feuerungstechnischen Prozesse — die feuerfesten Baustoffe — zweckentsprechender als bisher verfahren können.

Es gibt wohl kaum Industriezweige, die mit den feuerfesten Erzeugnissen nichts zu tun haben. Die hauptsächlichsten Anwendungsgebiete derselben werden im Buche nach einzelnen Industrien gegliedert und besprochen. Natürlich werden dabei nur die wichtigsten Industriezweige mit den markantesten Betriebseigentümlichkeiten berücksichtigt. Die Ansprüche jeder einzelnen Industrie an das feuerfeste Material sind so verschieden, daß, außer der Besprechung der allgemeinen Eigenschaften desselben, die wichtigsten Anforde-

rungen einzelner Industrien noch gesondert durchgesprochen werden müssen. Sofern die Erfordernisse an die Haltbarkeit des feuerfesten Materials für einige in dieser Hinsicht weniger wichtige Industrien nicht über das normale Maß hinauskommen, habe ich zwecks Vermeidung von Wiederholungen von besonderer oder ausführlicher Besprechung der Frage des feuerfesten Materials in diesen Industrien abgesehen. Zur Kontrolle der Einhaltung der auf Grund praktischer Erfahrungen als notwendig herausgebildeten Eigenschaften feuerfester Produkte müssen auch die bewährtesten Prüfungsmethoden angegeben werden. Auf diese Weise ergab sich die gewählte Dreiteilung des Buches: Eigenschaften, Verwendung, Prüfung.

Die Beibehaltung im Titel des Buches des allerdings ab und zu mißdeuteten Wortes „Silika“ geschieht nicht aus Vorliebe zu Fremdworten; vielmehr war die Befürchtung maßgebend, daß weitere Leserkreise nicht wissen würden, um was es sich eigentlich handelt, wenn ich statt Silika eine von anderen Autoren vorgeschlagene Verdeutschung, wie z. B. Kalkquarzsteine, angewandt hätte. Im Text werden aber neben den vom Auslande übernommenen Bezeichnungen parallel auch die entsprechenden Verdeutschungen angewandt.

In meinem Werke ist die Rede nur von Schamotte- und Silikafabrikaten. Trotzdem noch unzählige andere feuerfeste Stoffe, wie Kohlenstoff-, Chromit-, Magnesit-, Carborundumsteine usw. bekannt und für gewisse Industrien unumgänglich sind, ist der prozentuale Verbrauch dieser Abarten im Vergleich mit den beiden Hauptrepräsentanten der feuerfesten Industrie — Schamotte und Silika — verhältnismäßig gering. Ich habe deshalb vorgezogen, mein Buch im Rahmen der oben erwähnten Dreiteilung mit anderen feuerfesten Materialien wie Silika und Schamotte nicht zu belasten. Im Nachtrag ist dagegen eine kurze Beschreibung dieser anderen, außer dem Programm des vorliegenden Werkes liegenden feuerfesten Materialien vollständigkeitshalber mit aufgenommen.

Wie aus dem Titel des Buches hervorgeht und oben bereits erwähnt ist, gehört die Fabrikation der feuerfesten Produkte nicht in den Kreis meiner Ausführungen; deshalb sind die Rohstoffe der feuerfesten Industrie in dem einleitenden Teil des Buches nur soweit behandelt, wie es für das Verständnis der Eigenschaften der zu verwendeten Fabrikate notwendig ist.

Ohne einen Anspruch auf Vollständigkeit zu erheben, will ich hoffen, daß es mir gelungen ist zu zeigen, welches Silika- und Schamottmaterial, für welche Zwecke und von welcher Beschaffenheit die Verbraucher benötigen, und wie die verlangte Beschaffenheit nach dem heutigen Stande der jungen Wissenschaft der feuerfesten Stoffe geprüft werden kann, ohne damit Normen aufgestellt zu haben, was naturgemäß nur berufenen Institutionen vorbehalten werden kann.

Auch für den Fabrikanten feuerfester Erzeugnisse wird hoffentlich mein Buch von Nutzen sein, eben deshalb, weil es vom Standpunkte des Verbrauchers geschrieben ist. Ist doch der Hüttenmann über die Anforderungen der Maschineningenieure, der Gasfabrikant über die Ansprüche des Beleuch-

tungstechnikers usw. orientiert. Eine viel vornehmere Pflicht und interessantere Aufgabe entsteht aber dem Fabrikanten der feuerfesten Steine, weil er gleichzeitig sehr viele Industrien beliefert.

Erst, wenn der Hersteller feuerfester Produkte über die Prozesse bei der Verwendung und über die Beanspruchung seiner Fabrikate an der Verwendungsstelle vollständig im klaren ist, befindet er sich in der Lage, seine Steinmischung für den jedesmaligen Zweck mit einer gewissen Sicherheit zu wählen. Mögen dann die Produzenten die Wahl und Aufbereitung ihrer Rohmaterialien, die Art und Dauer des Mischens, Trocknens und Brennens ihrer Erzeugnisse dementsprechend vornehmen.

Ein Buch von diesem Inhalt und Aufbau erscheint zum ersten Mal und füllt nach meiner Überzeugung die sehr empfindliche Lücke in der Fachliteratur aus. Es kann daher leicht vorkommen, daß manches übersehen bzw. nicht genügend klar dargelegt wurde, an mancher Stelle evtl. auch Fehler unterlaufen sind, und das Literaturverzeichnis, besonders in bezug auf ausländische Quellen nicht ganz lückenlos ist. Ich wäre daher den Herren Fachgenossen und überhaupt den Lesern dieses Buches zu großem Dank verpflichtet, wenn Sie mich im Interesse der Allgemeinheit auf das eine oder andere aufmerksam machen wollten.

L. Litinsky.

Inhaltsverzeichnis.

Vorwort	III
Inhaltsverzeichnis	VI

Einleitung.

Einteilung und Benennung feuerfester Erzeugnisse	1
Einiges über Rohstoffe für Schamotte- und Silikaerzeugnisse	9

Eigenschaften.

1. Schwerschmelzbarkeit	19
2. Chemische Zusammensetzung	23
3. Mechanische Festigkeit	26
4. Verhalten unter Belastung in der Hitze	29
5. Raumbeständigkeit	42
6. Wärmeleitfähigkeit	48
7. Spezifische Wärme	56
8. Verhalten gegen Temperaturwechsel	59
9. Widerstand gegen chemische Angriffe (Schlacken, Flugstaub, Salze, Dämpfe, Kohlenstoff)	61
10. Porosität, Dichte und spezifisches Gewicht	68
11. Gasdurchlässigkeit	70
12. Farbe	72
13. Struktur	73
14. Äußere Form und Maßhaltigkeit	76

Verwendung.

1. Hochofenwerk	79
2. Stahlwerk	91
3. Eisengießerei	97
4. Metallhüttenwerke	100
5. Kokerei	115
6. Gaswerk	137
7. Zementindustrie	142
8. Kalkbrennerei	150
9. Keramische Brennöfen	154
10. Glashütte	162
11. Chemische Industrie	175
12. Elektrische Schmelzöfen	176
13. Gasgeneratoren	178
14. Dampfkesselfeuerungen	180

Prüfung.

1. Kegelschmelzpunkt	192
2. Chemische Analyse	202
3. Mechanische Festigkeit	205
4. Verhalten unter Belastung in der Hitze	207

Inhaltsverzeichnis.

VII

5. Raumbeständigkeit	222
6. Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärme	228
7. Widerstand gegen Temperaturwechsel.	228
8. Verhalten gegen Schlackenangriffe	230
9. Porosität, Dichte, Volum- und spezifisches Gewicht	233
10. Gasdurchlässigkeit	236
11. Mikroskopische Prüfung	238

Nachtrag.

1. Behandlung des feuerfesten Materials.	239
2. Einige andere feuerfeste Stoffe als Quarz und Schamotte	242
3. Ungebranntes feuerfestes Material	247
4. Feuerfeste Mörtel, Kitte und Überzüge	249
5. Literaturübersicht	255
6. Namenregister	277
7. Sachregister	278

Einleitung.

A. Einteilung und Benennung feuerfester Erzeugnisse.

Feuerfeste Steine nennt man im allgemeinen diejenigen Erzeugnisse der grobkeramischen Industrie, welche hohen Hitzegraden Widerstand zu leisten vermögen. Der Begriff „feuerfest“ ist kein absoluter und darf nicht buchstäblich genommen werden, weil es absolut feuerfeste Körper überhaupt nicht gibt; vielmehr versteht man unter Feuerfestigkeit die relative Widerstandsfähigkeit der Produkte gegenüber bestimmten Hitzegraden. In der Tonindustrie ist es nun üblich, diejenigen Materialien als feuerfest zu bezeichnen, deren Schmelzpunkt nicht unter dem des Segerkegels 26 liegt, was einer Temperatur von etwa 1600°C gleichkommt. Somit sind solche Stoffe als feuerfest zu betrachten, die einen gewissen Grad der Schwerschmelzbarkeit erreicht haben.

Aber nur selten werden die feuerfesten Stoffe allein auf hohe Temperaturen beansprucht; man unterscheidet daher neben „feuerfest im engeren Sinne“, womit die Widerstandsfähigkeit gegen bloße Einwirkung hoher Temperaturen im reinen Feuer gemeint ist, auch „feuerfest im weiteren Sinne“ als Widerstandsfähigkeit in hohen Temperaturen gleichzeitig gegen chemische, physikalische, mechanische und andere Einflüsse des Verbrennungs- und Ofenprozesses. Wie verschiedenartig und vielfältig solche Momente und Einflüsse sind, ersieht man aus der folgenden kurzen Zusammenstellung von *Jochum*¹, in welcher die häufigsten Ursachen der frühzeitigen Zerstörung feuerfester Baustoffe angegeben sind:

1. Irrige Wahl der feuerfesten Qualität gegenüber dem pyrotechnisch-thermochemischen Vorgang im Ofenraum, sei es, daß die absolute Feuerbeständigkeit der Komposition nicht hoch genug gewählt wird, um genügende Spannung zwischen ihr und den im Ofenraum der Zustellung zugemuteten Temperaturen zu lassen, oder daß die thermodynamischen und chemischen Wirkungen und Vorgänge des Ofenprozesses nicht genügend in Betracht gezogen würden.

2. Chemische Beeinflussungen durch den Ofenprozeß, mit deren Wirkungen man von vornherein bei der Konstruktion und Wahl der Ofenzustellung gerechnet hat und denen man nur durch Spezialkomposition und in der Aufbereitung, Formgebung, Brand der feuerfesten Steine begegnen, ihnen aber

¹ Die Grenzen der Feuerbeständigkeit in der Fabrikation feuerfester Produkte und die Definition des Begriffes „feuerfest“. Verl. der Tonind.-Ztg., Berlin 1904.

nicht vollkommen steuern kann, z. B. Boden, Gestell, Schacht, Rast eines Hochofens, Soda-, Glaswannenöfen usw.

3. Unrichtige Wahl feuerfester Qualitäten in bezug auf ihre physikalischen Eigenschaften, z. B. zu große Porosität durch übermäßiges Schamottieren, was sehr häufig dann vorkommt, wenn der Abnehmer allzu scharfe Bedingungen bez. Einhaltung der Form stellt und dadurch selbst zu hohem Schamotteversatz dort zwingt, wo größere Dichte und geringerer Versatz von größerem Vorteil wäre! Oder auch im Gegensatz hierzu ungenügende Porosität, z. B. für die Wasserkühlung in Rast und Gestell eines Hochofens.

4. Physikalische Einwirkungen, z. B. durch schroffen Temperaturwechsel, welcher sog. falsche Spannungen im Fabrikat auslöst, wodurch dasselbe reißt, schieferig oder muschelrig abspringt usw., z. B. Schieber in Koksöfen oder Winderhitzern, Regeneratorenzügen, Kühlen der glühenden, feuerfesten Ausfütterung mittels Wasserstrahl, z. B. Stahl- und Schlackenpfannen.

5. Beeinflussung des feuerfesten Mauerwerks durch den Brennstoff selbst oder seine Schlacken in höherer Temperatur, in allen Arten Generatoren und Kohlen-, Koks-, Braunkohlen-, Holzfeuerungs-, Hoch-, Schacht-, Kupolöfen usw.

6. Einwirkung der aus dem Ofenprozeß flüchtig werdenden Agentien, wie z. B. alkalische Flugaschen, Schwefelsäuredämpfe, flüchtige, leicht mit Kieselsäure usw. Glasur bildende Oxyde, Zersetzungsprodukte von SiCl_4 in Gegenwart von Wasserdämpfen wobei Salz- und feinst zerteilte Kieselsäure entsteht usw.

7. Mechanische Beeinflussung und mangelhafte Widerstandsfähigkeit, nicht genügende Härte in höherer Temperatur, Weichwerden und dadurch Anbacken der Beschickung bei ihrem Niedergang in Hochöfen, Schachtöfen für Kalk, Zement usw. Ungeschickte oder unvorsichtige Ofenführung, mangelhaftes Austrocknen und Anheizen der Öfen, Überbürdung oder Überanspannung derselben in Zeiten der Hochkonjunktur, mangelhafte Kühlung bei Hochöfen, Nichtbeachtung einseitig entstehender Stichflammen (auch durch die niedergehende Beschickung oft hervorgerufen) usw.

8. Mangelhaftes Mauerwerk, ungenügender, der verwandten Steinqualität nicht entsprechender Mörtel, alkalireiches Wasser beim Anmachen, zu grobes und ungleichmäßiges Auftragen desselben, Wundhauen der dem Ofeninnern zugekehrten glatten Steinköpfe, zu große oder ungleichmäßige Fugen, mangelhafter Verband, mangelhaftes Aufschleifen der Steine bei den gefährdeten Stellen usw.

Fast niemals tritt eine dieser Ursachen allein für sich als Moment der Steinzerstörung auf, sondern meist sind es deren mehrere. Daraus aber folgt ohne weiteres, wie unendlich schwer es ist, in solchen Fällen die Gründe der eingetretenen Zerstörung festzustellen. Würde dagegen eine rein chemische oder rein physikalische oder nur pyrotechnische Zerstörungsform im einzelnen Falle vorliegen, so kann man verhältnismäßig leicht und sicher auf einwandfreiem Wege ein Urteil bilden, was dem feuerfesten Stein oder dem Ofenbetrieb zur Last zu legen wäre.

Ein feuerfester Stein hat also nicht dem Feuer allein, sondern gleichzeitig nebenher einem ganzen Komplex von verschiedensten Erscheinungen zu widerstehen, was die ganze Materie ungemein schwierig macht. Aber nicht die oben erwähnten Momente allein, sondern auch Ofensysteme, Konstruktionsfehler bei solchen Öfen, ungeschickte oder unvorsichtige Ofenführung, mangelhaftes Austrocknen oder Anheizen des Ofens, Überlastung der Öfen usw. sind bei der Beurteilung der Beanspruchung feuerfester Steine zu berücksichtigen.

Bezüglich der Einteilung und Benennung der Fabrikate herrscht wohl kaum in irgendeiner Industrie so ein Wirrwarr und Durcheinander wie in der Industrie der feuerfesten Produkte. Trotzdem es in der Fachpresse an geeigneten Vorschlägen zur einheitlichen Benennung und Klassifizierung der feuerfesten Erzeugnisse keineswegs gefehlt hat, haben die Erörterungen hierüber noch nicht zu einer erschöpfenden Behandlung und einem klarstellenden Abschluß geführt.

Es gibt sehr viele Gesichtspunkte, nach denen die Hersteller und Verbraucher der feuerfesten Produkte diese einteilen können. Die einen gehen vom Verwendungszwecke aus und sprechen von Koksofen-, Hochofen-, Kupolofensteinen usw. Die anderen verlangen, ausgehend von den chemischen Prozessen in ihren Betriebsöfen, nach saurem, basischem, halbsaurem Material. Wieder andere richten sich nur nach dem Grad der Feuerfestigkeit und sprechen von Steinen, die bei einem bestimmten Segerkegel „stehen“. Die Hersteller unterscheiden außerdem die Steine nach der Formgebung und sprechen von Vollware, Hohlware usw. Auch die Ausgangsprodukte werden vielerorts sowohl für die Einteilung als auch für die Benennung der feuerfesten Erzeugnisse benutzt, so daß man oft von Quarz-, Quarzton-, Schamotte-, Bauxit-, Magnesitsteinen usw. hört. Es kommt noch eine ganze Reihe von Benennungen hinzu, mit denen die einzelnen Steinfabriken versuchen, ihre Fabrikate zu schützen, wie z. B. Dynaxit, Silamit, Durcit, Duras, Chromosit, Deva, Dynamidon, Alundum usw., was das ganze Gebiet noch mehr verwirrt.

Allerdings muß zugegeben werden, daß eine straffe Klassifizierung des verwinkelten Gebietes der feuerfesten Industrie nach einem bestimmten Prinzip mit großen Schwierigkeiten verbunden ist.

Gänzlich unzulässig sind aber, wie es *Jacob* trefflich ausführt, Art- und Gütebezeichnungen, die dem Verwendungszweck der feuerfesten Baustoffe entlehnt sind. Solche Bezeichnungen bestehen z. B. aus dem Namen der Feuerungsanlage mit dem Zusatz „Qualität“. Wenn also z. B. von Kupolofenqualität gesprochen wird, so müßte man darunter zumindest ein gleichartiges Erzeugnis von ganz bestimmten Eigenschaftsmerkmalen verstehen. Damit hat aber schon mancher schlechte Erfahrungen gemacht, der für Kupolofenqualität saure Steine lieferte, wo basische erwartet wurden. In der chemischen Zusammensetzung von Steinen, die zur Ausfütterung von Kupolöfen Verwendung finden, bewegt sich der Kieselsäuregehalt zwischen 55 und 91 Proz. und der Tonerdegehalt zwischen 11 und 42 Proz. Da zur Ausmauerung

von Kupolöfen saure, basische und auch halbsaure bzw. neutrale Steine Verwendung finden, erscheint die Bezeichnung Kupolofenqualität keineswegs als eine brauchbare Art- und Gütebezeichnung. Ebenso geht es mit der Bezeichnung Hochofenqualität. Für Schacht, Gestell, Rast und Boden werden Baustoffe mit voneinander abweichenden Eigenschaften gebraucht, so daß die Bezeichnung Hochofenqualität keine bestimmten Gütemerkmale in sich schließen kann. Ferner werden zur Ausmauerung der Hochöfen Steine von Kupolofenqualität, Stahlofenqualität u. a. angeboten. Als weiteres Beispiel diene die Bezeichnung Kesselqualität. Unter Steinen von Kesselqualität pflegt man vielfach Steine von relativ geringer Feuerfestigkeit und minderer Güte zu verstehen. Man bezeichnet damit aber auch solche hochkieselsäurehaltige, mechanisch feste Steine, welche nicht direkt für Kesselfeuerungen verwendet werden, und findet den Hinweis, daß Steine von Kesselqualität denen von Kupolofenqualität gleich seien. Als Steine von Schweißofenqualität werden beste feuerfeste Quarzsteine, und als Futter für Puddel- und Schweißöfen werden Schamottesteine von Ringofenqualität empfohlen. Die Reihe derartiger Bezeichnungen läßt sich durch viele andere Beispiele vervollständigen, woraus man ersieht, zu welchen Verwirrungen solche vom Verwendungszweck der Steine ausgehende Gütebezeichnungen führen können. Zu gleichen Unannehmlichkeiten führt auch der Namenwirrwarr auf dem Gebiet der feuerfesten Mörtel, welche einen wesentlichen Bestandteil der feuerfesten Mauerwerke bilden. Es ist nicht klar erkennbar, ob gewisse für diese feuerfesten Erzeugnisse gewählten Namen als Art- und Gütebezeichnungen oder als sog. Phantasienamen aufgefaßt werden sollen. Sehr beliebt ist für feuerfeste Mörtel die Bezeichnung Zement, wobei die Wortbildungen Feuer-, Vulkan-, Krater-, Pyrozement u. a. vorkommen. Unter Zement pflegt man im allgemeinen einen Mörtelstoff zu verstehen, der nach Anfeuchtung mit Wasser infolge chemischer Veränderungen abbindet und erhärtet. Solche hydraulischen Eigenschaften pflegen bei feuerfesten Mörteln nicht vorhanden zu sein. Sie bestehen in der Regel aus feuerfesten Rohstoffen oder aus Mischungen, die der Masse der feuerfesten Baustoffe ähneln. Derartige Mischungen binden nicht wie Zement ab, sondern können je nach ihrer Zusammensetzung durch Erhitzen auf hohe Temperaturen fest brennen. Es ist derselbe Vorgang wie beim Brennen keramischer Erzeugnisse. Feuerfeste Steine sind keine Zementsteine, mithin sind die in der Masse mit den feuerfesten Erzeugnissen übereinstimmenden sog. feuerfesten Mörtel kein Zement. Noch ein anderes Namenbeispiel aus diesem Gebiet. Man begegnet auch Pyritmörtel. Bei dieser Namengebung handelt es sich wohl um eine Anlehnung an das griechische Pyr = Feuer, so daß man es also, um deutsch zu sprechen, mit Feuermörtel zu tun hätte. Da aber nicht jeder Humanist ist, andererseits aber vielen die Bezeichnung Pyrit als Name eines im Ton häufig vorkommenden Minerals geläufig ist, das als Verbindung von Schwefel und Eisen auch als Schwefelkies bekannt ist, so könnte man sich unter Pyritmörtel auch einen Mörtel von schwefelkiesartiger Zusammensetzung vorstellen. In Wirklichkeit handelt es sich aber um einen Stoff, dessen Zusammensetzung dem Ton ähnelt.

Man sollte daher von Bezeichnungen absehen, die handelsüblich und wissenschaftlich nicht zutreffend sind, und die nur zu Verwechslungen mit den richtigen Namenskindern führen.

Wir wollen deshalb versuchen, so lange von berufener Seite in dieser Hinsicht nichts Besseres geboten wird, das gesamte Gebiet der feuerfesten Industrie (sowohl Steine, wie auch Mörtel) etwa nach folgendem Schema einzuteilen:

1. Quarzsteine (hochkieselsäurehaltige). Hierzu gehören: Kalkgebundene Quarzsteine (Kalkquarzsteine oder Silika; ferner englische Dinassteine), tongebundene Quarzsteine (Tonquarzsteine, auch Tondinas oder deutscher Dinas genannt), Puddingsteine¹, Ganistersteine².

2. Schamottesteine (hochtonerdehaltige). Das sind die eigentlichen tongebundenen Schamottesteine; ferner Bauxit- und Korundsteine³.

3. Quarzschamottesteine, welche an der Grenze zwischen den Quarz- und Schamottesteinen stehen. Das sind tongebundene Steine, welche als Magerungsmittel außer Schamotte auch Quarz enthalten.

4. Tonsteine, die aus besonders geeigneten sandhaltigen (also natürlich gemagerten) Tonen ohne Zusatz von Magerungsmitteln hergestellt werden.

5. Kohlenstoffhaltige Steine. Das sind feuerfeste Produkte aus Kohlenstoff, Carborundum und Graphit.

6. Verschiedene feuerfeste Steine aus: Magnesit, Dolomit, Chromit, Zirkonoxyd usw.

Würde man versuchen, die obenerwähnten Steinsorten, wie es in der die meisten feuerfesten Stoffe verbrauchenden Eisen- und Metallindustrie der Fall ist, noch nach ihrem Aciditätscharakter einzuteilen, so müßte man zunächst unter sog. basischen und sauren Steinen unterscheiden:

Basisch nennt man, im Gegensatz zu sauer, solche feuerfesten Stoffe, bei denen die Schwerschmelzbarkeit auf ihren Gehalt an Oxyden der Metalle oder Erdalkalien (Al_2O_3 , MgO , CaO) beruht; ursprünglich wurde dieser Ausdruck für Bauxit, Magnesit, Dolomit gebraucht, aber später hat sich diese Bezeichnung in erweitertem Sinne auch für Körper aus Ton bzw. Ton und Schamotte eingebürgert, die freie (also künstlich in Form von Quarz, Sand und dgl. zugesetzter) Kieselsäure nicht enthalten. Zu den basischen rechnet man auch die Schamottesteine; der Al_2O_3 -Gehalt erreicht hier 35 bis 40 Proz. und darüber.

Als sauer bezeichnet man, im Gegensatz zu basisch, solche feuerfesten Stoffe, deren Schwerschmelzbarkeit auf den Gehalt an SiO_2 beruht, so die

¹ Ein dem amorphen Quarzit ähnliches, in England und Belgien vorkommendes Naturgestein, welches im Rohzustand für feuerfeste Zwecke verwendet werden kann, was jedoch an der Schwierigkeit der Behauung infolge außerordentlicher Härte scheitert.

² Ein englischer Kohlendstein, enthaltend natürliches, toniges Bindemittel, so daß die Steine daraus ohne Zusatz von Kalk angefertigt werden. Wird einfach als Quarzitstein bezeichnet. Steht an der Grenze zwischen „Silika“ und „deutschem Dinas“ und unterscheidet sich von letzterem durch einen etwas höheren Kieselsäuregehalt.

³ Beide mit noch höherem Tonerdegehalt als der höchste (40 bis 42 Proz.) Gehalt an Al_2O_3 der besten Schamottesteine. Findet nur beschränkte Anwendung.

Quarzsteine usw. Für solche Steine ist ein Gehalt von 93 bis 97 Proz. (und etwas darunter) SiO_2 charakteristisch.

Die Quarzschamottesteine, die weder ausgesprochen sauer noch basisch sind, bezeichnet man zweckmäßigerweise als halbsaure.

Es sei noch bemerkt, daß die obige im feuerfesten Fach übliche Einteilung mit den rein chemischen Begriffen von Säure und Base nichts zu tun hat.

Von den vielen Arten feuerfester Erzeugnisse, die zum Bau industrieller Ofenanlagen in der neueren Zeit verwendet werden, kommen in den allermeisten Fällen nur solche feuerfesten Fabrikate in Frage, welche in der Hauptsache aus Ton (bzw. der durch Brennen von Ton entstandenen Schamotte) oder Quarz hergestellt werden. Somit kommen die gesamten Kohlenstoffsteine, ferner die unter der Gruppe 6 genannten Magnesit-, Chromit-, Zirkonsteine usw. ebenso wie die Tonsteine, die nur für geringere Beanspruchung verwendet werden, für unsere Betrachtungen von vornherein in Fortfall. Deshalb ziehen wir in den Rahmen des vorliegenden Werkes nur die folgenden Gruppen ein: 1. Quarzsteine, 2. Schamottesteine und 3. Quarzschamottesteine, oder entsprechend dem Vorwiegen der freien Kieselsäure oder der Tonerde bzw. dem annähernden Ausgleich der Eigenschaften der Tonerde durch Zusatz von saurem Quarz, der Reihenfolge nach: „saure“, „basische“ und „halbsaure“ Steine.

1. Die (sauen) Quarzsteine werden fast durchweg nur aus Quarzmaterialien und einem nur wenige Hundertteile betragenden Zusatz eines Bindemittels hergestellt. Je nachdem Kalk oder Ton als Bindemittel verwandt wird, spricht man von a) kalkgebundenen (Kalkquarzsteinen) bzw. b) tongebundenen (Tonquarzsteinen) feuerfesten Ziegeln.

a) Die kalkgebundenen Steine sind allgemein unter dem Namen Silikasteine bekannt. Die für dieselbe Steinsorte ebenso häufig verwendete Bezeichnung Dinassteine müßte unter allen Umständen verworfen werden. Das Wort „Dinas“ stammt aus England. In der dortigen Steinkohlenformation des Tales von Neath in Wales findet man als Naturprodukt einen Dinasandstein (Kohlensandstein), der gemahlen und mit einem Zusatz von ca. 2 Proz. Kalk zu Steinen verarbeitet wird, welche unter dem Namen Dinassteine eine ausgedehnte Verwendung auch in Deutschland gefunden haben. Zu der Zeit, als man in Deutschland mit der Herstellung hochquarzhaltiger feuerfester Steine begonnen hat, wurde auch der Rohstoff selbst (englischer Dinassandstein) nach Deutschland eingeführt. Nachdem sich jedoch herausgestellt hatte, daß die ebenfalls der Steinkohlenformation angehörenden Kohlensandsteine des Aachener Beckens dem Dinasstein in ihrem pyrometrischen Verhalten vollkommen gleich waren, und die zwischen Rhein, Sieg und Lahn, sowie auf dem Westerwalde vorkommenden Findlingsquarzite das englische Material sogar übertrafen, fing man an, in Deutschland solche hochkieselsäurehaltige feuerfeste Steine unter Verwendung des Materials des eigenen Landes herzustellen; man nannte diese feuerfesten Erzeugnisse ebenfalls Dinassteine. Es leuchtet aber ohne weiteres ein, daß die Beibehaltung dieser höchstens nur historisch gerechtfertigten Bezeichnung bei deutschen

kalkgebundenen Quarzsteinen kaum anwendbar ist. Was den Ausdruck „Silikasteine“ betrifft, so liegen die Verhältnisse etwas einfacher, da „Silika“ (lateinisch) den gleichen Sinn hat wie das deutsche Wort „Kieselsäure“. Man würde deshalb unter Dinassteinen nur solche Silikasteine verstehen, die unter Verwendung des englischen Dinassandsteines angefertigt sind. Allerdings gilt auch für Kalkquarzsteine die Benennung Dinassteine, wenn sie aus Felsquarzit oder aus Surrogaten, wie Kieselquarz oder Sand hergestellt werden. Das sind Silikasteine II. Qualität, während Silikasteine I. Qualität, ebenfalls mit Kalkbindung, jedoch aus Findlingsquarziten (vgl. weiter unten) hergestellt werden.

Einige Analysen von Silikasteinen folgen (vgl. Tabelle 1):

Tabelle 1.

Chemische Zusammensetzung einiger (saurer) Kalkquarzsteine (Silikaziegel).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alk.
95,07	1,56	0,92	1,75	0,06	0,70
94,5	1,7	1,1	1,85	0,15	0,6
96,05	1,80	0,55	1,35	0,05	0,3
96,25	0,88	0,79	1,85	0,14	0,39

Dinassteine weisen etwas weniger Kieselsäure und entsprechend mehr Tonerde + Eisenoxyd auf. Eine typische Zusammensetzung eines solchen Steines (Segerkegel 33) zeigt die folgende Analyse:

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O
93,29	3,46	0,88	1,55	0,21	0,83

b) Die hochkieselsäurehaltigen Tonquarzsteine werden, wie auch die kalkgebundenen Steine, aus Quarz hergestellt, jedoch tritt hier an Stelle des Kalkes Ton als Binde- und Verkittungsmittel. Es muß noch hinzugefügt werden, daß diese Steine, im Gegensatz zu erstklassigen Silikasteinen, bei welchen sog. amorphe Quarzite Verwendung finden, vorwiegend aus kristallinen Quarziten hergestellt werden. Diese tongebundenen Quarzsteine sind unter dem Namen „Tondinas“ bzw. „Deutscher Dinas“ bekannt und hätte man gegen die Beibehaltung dieser Bezeichnung nichts einzuwenden. In chemischer Hinsicht unterscheiden sich die deutschen „Dinassteine“ von den Silikasteinen, wie es auf der folgenden Tabelle 2 ersichtlich ist.

Tabelle 2.

Chemische Zusammensetzung von (sauren) Tonquarzsteinen (Deutsche Dinassteine bzw. Tondinas).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alk.
93,83	3,40	0,36	1,40	0,16	0,84
94,05	3,38	0,32	1,25	0,12	0,88
90,50	7,09	0,65	0,31	0,16	1,29
92,85	3,37	0,33	2,72	0,40	0,62

2. Ganz anders sind dagegen die (basischen) Schamottesteine¹. Sie lassen sich sehr einfach definieren. Schamottesteine sind alle feuerfesten Steine, welche aus hochgebranntem feuerfestem Ton (Schamotte)² als Magerungsmittel, mit rohem Ton als Bindemittel hergestellt werden, wobei Quarzbeimengungen nur eine beschränkte Rolle spielen. Diese Steine zeichnen sich chemisch durch einen hohen Tonerdegehalt aus. Es sei darauf hingewiesen, daß der höchste theoretisch erreichbare Tonerdegehalt der Schamottesteine, sofern der Fabrikationsmasse keine Tonerde in Form von Bauxit bzw. Korund usw. beigemischt wird, etwa 46 Proz. erreichen kann, was aus der chemischen Zusammensetzung des Tones ohne weiteres folgt. Ton ist Aluminium-Hydrosilicat von der Zusammensetzung $\text{Al}_2\text{O}_3, 2 \text{SiO}_2, 2 \text{H}_2\text{O}$. Beim Brennen zu Schamotte bzw. zu Steinen verliert der Ton sein Konstitutionswasser, so daß der reinste gebrannte Ton aus dem Verhältnis der Molekulargewichte der Tonerde und des wasserfreien Doppelsilicates bestimmt, etwa

$$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Al}_2\text{O}_3 + 2 \text{SiO}_2} = \frac{102}{222} = 46 \text{ Proz. Tonerde}$$

(Al_2O_3) enthalten würde. Praktisch sind die Tonerdegehalte der besten Schamottesteine niedriger, wie man es aus den folgenden Analysen von Schamottesteinen (Tab. 3) ersehen kann.

Tabelle 3.
Chemische Zusammensetzung von Schamottesteinen
(Basische Steine).

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	Alk.
59,28	42,52	1,92	0,20	0,25	1,83
52,50	43,60	1,60	0,56	0,48	1,22
56,55	37,85	2,43	0,77	0,11	1,49
58,52	37,80	1,95	0,33	0,27	1,13

3. In der Mitte zwischen den sauren Kalk- und Tonquarzsteinen (Silika und Tondinas) und den basischen Schamottesteinen stehen die halbsauren Quarzschamottesteine. Diese sind, wie bereits oben erwähnt, tongebundene Steine, welche als Magerungsmittel sowohl Schamotte als auch Quarz

¹ Nicht jeder gebrannte Ton ist als Schamotte anzusprechen.

² Die Entstehung des Wortes „Schamotte“ läßt sich nicht genau feststellen. Es ist nicht ausgeschlossen, daß das deutsche Wort Scherben, in thüringischer Mundart als „Schärm“ oder „Scharm“ klingend, vor etwa 100 Jahren durch die in Thüringen tätigen italienischen Arbeiter in „Scharmotte“ umgewandelt wurde. Andere leiten die Entstehung dieses Wortes von scamare, mager werden, ab. Das r ist später allmählich verschwunden, so daß das Wort „Schamotte“ entstand. In der 50jährigen Jubiläumsschrift der Stettiner Schamottefabrik A.-G. wird auf S. 45 folgende Erklärung über die evtl. Bildungsweise des Wortes Schamotte gebracht: „Das Wort Schamotte kommt von dem jetzt nur mehr selten gebrauchten deutschen Wort Mott, Modde, Mudde, Motter = Schlamm, Ton, gebrannte Erde, namentlich gebrannte Moorerde, also auch gebrannter Ton, besonders gebrannter Braunkohlenton, her. Die Vorsilbe Scham, Skam oder Sam ist unsicher. Skam = Scham bedeutet althochdeutsch klein.“

oder andere Modifikationen der Kieselsäure enthalten. Das Charakteristische dieser Gruppe feuerfester Steine leuchtet ein, sobald man sich vergegenwärtigt, daß die beiden diametral entgegengesetzten Haupteigenschaften des im Feuer „wachsenden“ (volumvergrößernden) Quarzes und den „schwindenden“ (volumvermindernden) tonigen Bestandteilen der Schamottesteine bei gleichzeitiger Verwendung der beiden sich gegenseitig ausgleichen, so daß man praktisch gewissermaßen raumbeständige, wenn auch minder feuerfeste Steine erhalten kann. Die durchschnittliche chemische Zusammensetzung solcher halbsauren Quarzschamottesteine zeigt die Tabelle 4.

Tabelle 4.

Chemische Zusammensetzung von halbsauren Schamottesteinen
(Quarzschamottesteinen).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alk.
75,18	21,83	1,75	0,50	0,16	0,62
73,72	22,59	1,65	0,34	0,53	1,17
65,81	29,71	1,76	0,64	0,65	1,43
79,0	16,35	1,90	0,50	0,55	1,70
83,71	13,03	1,03	0,26	0,31	1,66

B. Einiges über Rohstoffe für Schamotte- und Silikaerzeugnisse.

Wir unterscheiden hier ganz allgemein zwischen zwei Hauptgruppen. Die eine Gruppe umfaßt die feuerfesten Tone, die andere die quarzhaltigen Mineralien, in der Hauptsache Quarzite.

I. Feuerfeste Tone.

Die feuerfesten Tone sind durch das Einwirken physikalischer und vorzugsweise chemischer Einflüsse auf feldspathaltige Gesteine verschiedener Art entstanden, indem durch Wechselwirkung von Wasser und Kohlensäure, von Wärme und Kälte, von reduzierenden und oxydierenden Einflüssen einzelne Stoffe dieser Gesteine, namentlich die Alkalien, Erdalkalien, Eisenoxyd und Kieselsäure in löslicher Form fortgeführt wurden. So entstanden wasserhaltige Tonerdekieselsäureverbindungen aus den Muttergesteinen und aus zahlreichen, der Zersetzung mehr oder weniger zugänglichen Mineralien, von denen die Feldspate eine Hauptrolle spielen.

Auf dieselbe Weise ist auch das dem feuerfesten Ton engverwandte Mineral, der Kaolin, entstanden, der sich von den meist auf sekundärer Lagerstätte befindlichen Tonen durch größeren Reinheitsgrad unterscheidet. Die Kaoline befinden sich im Gegensatz zu Tonen auf primärer Lagerstätte. Die Kaoline sind hellfarbig und um so reiner, je mehr ihre Farbe in weiß übergeht. Die Kaoline sind nicht plastisch und können deshalb in der Schamottesteinindustrie nur als Magerungsmittel verwendet werden. Wenn auch die Kaoline einen hohen Schmelzpunkt aufweisen, liegt ihre Bedeutung hauptsächlich in der Verwendung für Porzellanfabrikation; in der Schamotteindustrie finden sie in einem bei weitem geringeren Maßstabe Anwendung. Je nach der Be-

schaffenheit des Ursprungsgesteines und dem Grade der Zersetzung sind die Eigenschaften der entstandenen Tone und Kaoline äußerst verschieden.

Dadurch nun, daß lockere Steinmassen durch Druck in feste schieferige Massen übergeführt wurden, entstanden die Schiefertone, ein für die Herstellung hochwertiger Schamottesteine unerläßliches Produkt, das sich im wesentlichen durch seinen hohen Tonerdegehalt auszeichnet.

Die Schiefertone finden sich in der Steinkohlenformation und sind mit Kohle (bis zu 8 Proz.) derart durchsetzt, daß sie eine tiefschwarze glänzende Farbe aufweisen. Aus diesem Grunde können die Schiefertone nur im gebrannten Zustande als Magerungsschamotte verwendet werden. Die Hauptrepräsentanten dieser Tone sind der Rakonitzer und Neuroder Schiefertone. Sie zeichnen sich durch einen hohen Reinheitsgrad und gleichmäßige Zusammensetzung aus. Der gebrannte Neuroder Schiefer weist z. B. die folgende chemische Zusammensetzung auf:

Kieselsäure	49,0 bis 51,0	Proz.	} Gesamtflußmittel im Durchschnitt 1,7 Proz.
Tonerde	46,0 „ 47,0	„	
Eisenoxyd	1,0 „ 1,4	„	
Calciumoxyd	0,2 „ 0,7	„	
Magnesiumoxyd	ca. 0,1	„	
Kaliumoxyd	0,1 bis 0,5	„	

Der Flußmittelgehalt der Schiefertone ist außerordentlich niedrig, freie Kieselsäure, die den Schmelzpunkt etwas herabsetzen würde, ist nicht vorhanden, Kegelschmelzpunkt = S.-K. 36 (ca. 1800° C). Da die wasserfreie Tonsubstanz höchstens (vgl. S. 8) nur 46 Proz. Al_2O_3 enthält, lassen sich höhere, als dieser, Gehalte an Al_2O_3 im Schiefertone durch Mitwirkung von Tonerdehydraten erklären.

Aus den Tonen brennt man die sog. Magerungsmittel (Schamottetkorn), mit denen die Bindetone in gemahlenem Zustande vermengt, aufbereitet, zu plastischen Schamotteformmassen verarbeitet und dann zu Steinen geformt und gebrannt werden. In chemischer Beziehung enthalten die feuerfesten Tone drei Gruppen von Bestandteilen, die die Tone selbst charakterisieren:

1. die eigentliche Tonsubstanz,
2. die bei der Zersetzung der tonbildenden Gesteinmassen übriggebliebenen Mineraltrümmer,
3. die sog. akzessorischen Beimengungen.

Der vorwiegende Teil des Tones, die Tonsubstanz, entstand bei der Bildung des Tones durch Zersetzung des Feldspates und anderer Gesteine und Entfernung der Alkalien und eines Teiles der Kieselsäure. Somit besteht die Tonsubstanz im wesentlichen aus Kieselsäure, Tonerde und Wasser und hat die chemische Formel $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Unter allen Bestandteilen des Tones ist nun die Tonerde (Al_2O_3) der wertvollste und gleichzeitig der schwerschmelzbarste (1775° C) Teil. Die Kieselsäure (SiO_2) ist leichter schmelzbar (1685° C) als die Tonerde. Die Mischung von 1 Mol. Al_2O_3 mit 2 Mol SiO_2 ist die feuerbeständigste. Mit weiterem Zusatz von SiO_2 (bis zu

17 Mol.) nimmt die Schwerschmelzbarkeit ab, dann aber tritt mit dem Vorherrschen der SiO_2 ein Wendepunkt ein und die Schwerschmelzbarkeit nimmt mit dem Steigen der SiO_2 wieder zu.

In der Fig. 1 ist die Beziehung zwischen der Schmelzbarkeit und der chemischen Zusammensetzung solcher Aluminiumsilikate übersichtlich dargestellt. Nach der Seite der Kieselsäure liegen die SiO_2 -reichen Produkte, die Silika- und Dinassteine. Daran anschließend folgen zuerst die quarzreichen, dann die quarzarmen und schließlich die quarzfreien Schamotteerzeugnisse mit der Endzusammensetzung des reinen Kaolins. Rechts von dem reinen Kaolin, d. h. nach der Tonerdeseite hin, liegen alle jene Massen, bei denen ein erhöhter Tonerdegehalt (also über 46% Al_2O_3) durch künstlichen Zusatz von Tonerde als solche oder in Form von Bauxit usw. erreicht wird.

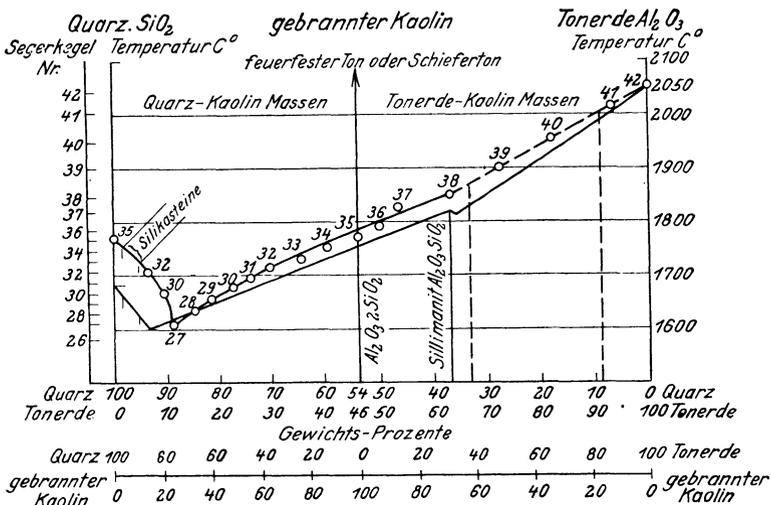


Fig. 1. Schmelztemperaturen von Quarz-Tonerdemischungen (nach Riecke).

In dem Diagramm Fig. 1 sind weiterhin noch die Schmelztemperaturen und die Zusammensetzungen der bekannten Segerkegel eingetragen. Die Differenz in den beiden Kurven erklärt sich dadurch, daß bei den Segerkegeln die Umbiegungstemperaturen, während bei der anderen, vorher besprochenen Kurve die physikalischen Erstarrungspunkte angegeben sind. Aus diesem Grunde sind die Segerkegel (was hier nebenbei bemerkt werden soll) keineswegs als sichere Temperaturanzeiger zu betrachten.

So wertvoll diese Kurve ist, darf nicht übersehen werden, daß die Silikatgemische in Wirklichkeit noch Flußmittel in Form von Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , MgO , Na_2O usw. führen, deren Gegenwart die Schmelzverhältnisse viel verworrener macht.

Den zweiten Bestandteil des Tones bilden die Mineraltrümmer. Sie stammen aus dem unzersetzten Ursprungsgestein und ihre wesentlichen Repräsentanten sind Feldspat, sowie andere alkalihaltige Mineralien und Quarz.

Was schließlich die akzessorischen Beimengungen des Tones betrifft, so sind dies jene Produkte, die in den Ton während seiner Wanderung von den primären in die sekundären Lagerstätten hineingelangt oder bei seiner Entstehung zurückgeblieben sind; es handelt sich hierbei im wesentlichen um die schädlichen, den Schmelzpunkt des Tones herabsetzenden Eisen-, Kalk- und Magnesiumverbindungen, die man auch als Fluß- oder Schmelzmittel bezeichnet.

Bei den Tönen, die im rohen, nicht gebrannten Zustande als Bindemittel für Schamottkörner verwendet werden, spielt die Bildsamkeit oder Plastizität eine große Rolle. Unter einer Plastizität versteht man die Eigentümlichkeit der Tone, mit Wasser angemacht eine teigartige Masse zu bilden, der durch Kneten, Drücken und Pressen und nach dem Aufhören des Drückens und nach der Entfernung des Wassers unverändert bleibende Form gegeben werden kann. Im Zusammenhang damit steht auch die Bindefähigkeit der Tone. Die Ursache der Plastizität ist nach einem Forscher in der Kugelgestalt der kleinsten Tonteilchen, nach anderen im Gehalt an Tonsubstanz und nach wieder anderen im Vorhandensein von organischen Fermenten und Bakterien zu suchen; in der neueren Zeit glaubt man die Plastizität der Tone auf den Gehalt an Kolloiden zurückführen zu können. Als Bindetone verwendet man besonders plastische Tone. Solche plastische Tone haben jedoch die Eigenschaft, stark zu schwinden. Die Trockenschwindung ist nur die Folge der Abgabe des hygroskopischen oder des „Anmachewassers“, während die Brennschwindung durch die Abgabe des chemisch gebundenen Wassers bewirkt wird. Die schädlichen Folgen der Trockenschwindung werden durch sachgemäßes Magern aufgehoben. Um der Brennschwindung entgegenzutreten, wird die Menge des Bindetones möglichst gering bemessen. Ein vollständiges Aufhören der Brennschwindung kann nur durch hohes Brennen erreicht werden; Nachschwindungen des Fertigfabrikates im Betrieb eines Ofens können nur durch genügend hohen den späteren Betriebsverhältnissen entsprechenden Brand im Schamottsteinbrennofen vermieden werden.

Schiefertone zeichnen sich durch hohe Schwindung aus. Ziemlich gut durchgebrannte Schiefertonsstücke ergaben beim Nachbrennen¹ bei etwa 1400° C Nachschwindungen von 1,1 bis 3,7 Proz. Bedenkt man, daß zuweilen von Schiefertonen bis zu 70 Proz. in eine Steinmischung hineingelangen, so ergeben sich bei der Verwendung solcher Schieferarten im Fertigprodukt besonders bei großen Steinformaten wesentliche Unterschiede.

Je schärfer die Schamottmaterialien gebrannt sind, um so vollwertiger sind sie und beeinflussen die Haltbarkeit der Fertigfabrikate im günstigsten Sinne. Es kommt noch hinzu, daß die Dimensionen der Steinformate um so genauer ausfallen, je geringer die Trocken- und Brennschwindung der feuerfesten Massen ist.

Aus der chemischen Zusammensetzung der Tone lassen sich kaum Rückschlüsse auf ihre Feuerfestigkeit ziehen. Die Analyse ist vielmehr inso-

¹ *Hartmann*, Über Koksofensteine. Kattowitz.

fern von Wert, als man mit deren Hilfe Vergleiche zwischen verschiedenen Tonen anstellen kann. Enthält z. B. unter zwei Tonen der eine mehr Tonerde im Verhältnis zu den Flußmitteln bzw. zu der Kieselsäure, so ist dieser auch der schwerer schmelzbare. Ist das Verhältnis des Tonerdegehaltes zu den Flußmitteln bei verschiedenen Tonen ein gleiches, so ist der kieselsäureärmere der strengflüssigere. Was die Kieselsäure des Tones anbetrifft, so ist ihre Wirkung eine ganz verschiedene, je nachdem, ob sie in freier oder gebundener Form enthalten ist.

Von einem Schmelzpunkt kann eigentlich bei Tonen keine Rede sein; sie verhalten sich vielmehr wie glasige Massen, welche keinen eigentlichen Schmelzpunkt, sondern ein ausgebildetes Interwall von Schmelzbarkeit besitzen. Deshalb ist von dem Schmelzpunkt der Tone ihre Erweichung zu unterscheiden. Die Ursachen der Erweichung der Tone, die mehrere 100° unterhalb des Schmelzpunktes der Tone liegt, sind noch nicht genügend erforscht. Es kommt noch hinzu, daß die Tone hinsichtlich dieser charakteristischen Eigenschaft ein ganz verschiedenes Verhalten aufweisen, je nachdem sie nur vorübergehend hohen Temperaturen ausgesetzt werden oder ob man tage- und wochenlang die im praktischen Betrieb auf diese Materialien hohe Temperaturen unter gleichzeitigem Druck einwirken läßt. Auf jeden Fall konnte festgestellt werden, daß mit wenigen Ausnahmen die feuerfeste Industrie kaum Edeltone besitzt, deren Erweichungsbeginn höher als Segerkegel 10 bis 12 (1300 bis 1350° C) ist, während bei denselben Tonen der Schmelzpunkt selbst über Segerkegel 30 liegt. Es ist aber gelungen, durch Zusatz bestimmter Magerungsmittel die Erweichungseigenschaften der Bindetone günstig zu beeinflussen. Als Magerungsmittel kommt außer gebrannten Tonen und Schiefertönen zuweilen auch Quarz in Betracht.

Während der Kegelschmelzpunkt bei jedem Ton leicht festzustellen ist als diejenige Temperatur, bei der der betreffende Ton in Übereinstimmung mit einem Normalkegel nach *Sege*r, wie er in der Industrie zu Temperaturmessungen gebraucht wird, zum Niederschmelzen kommt, ist es bisher nicht gelungen, wissenschaftlich zu ergründen, warum die Tone gemischt mit Magerungsmitteln bei einer Temperatur von Segerkegel 12 bis 14 im Ofen zu einem bis zu Segerkegel 35 widerstehenden Erzeugnis gargebrannt werden können, anderseits aber bereits bei Temperaturen, die erheblich unter dem Schmelzpunkt liegen, Erweichungserscheinungen aufweisen. Alle Schamottesteine leiden an diesen für die Verwendung der Steine außerordentlich schädlichen Erweichungen, obwohl die Hauptaufgabe bei der Herstellung darin besteht, solche Gemenge zusammenzusetzen, daß der Erweichungspunkt möglichst hoch liegt und soweit als möglich mit dem Schmelzpunkt zusammenfällt. Die letztere Forderung ist jedoch bei Schamottesteinen leider praktisch nicht erreichbar.

II. Quarzite.

Die andere Hauptgruppe der Rohstoffe der feuerfesten Industrie wird zum weitaus größten Teil durch Quarzite, in zweiter Linie durch Kiesel-

steine, Sande usw. repräsentiert. Das Wort „Quarzit“ ist ein petrographischer Begriff und bezeichnet ein in der Hauptsache aus Quarz (SiO_2) bestehendes Gestein. Quarzit stellt einen Sandstein dar, welcher aus kleinen durch ein Bindemittel verkitteten Quarzkörnern besteht. Für die feuerfeste Industrie kommen nur die Quarzite, in welchen als Bindemittel Kieselsäure auftritt, in Betracht. „Quarz“ ist dagegen ein mineralogischer Begriff. Man verwendet in der feuerfesten Industrie drei Arten solcher Quarzite: Felsquarzite, Kohlensandsteine und Findlingsquarzite; die sich voneinander am besten durch Mikrostruktur unterscheiden lassen (vgl. Fig. 2 und 3 auf Tafel I).

Die Felsquarzite oder die krystallinischen sind durch allmähliche Abscheidung der Kieselsäure aus dem Wasser des Urmeeres entstanden und auf primärer Lagerstätte liegend durch Gebirgsdruck gefestigt worden. Infolge einer allmählichen Abscheidung der Kieselsäure aus dem Wasser bildeten sich verhältnismäßig größere Quarzindividuen, die mit scharfen Rändern dicht aneinanderliegen oder zackig und gut verzahnt ineinandergreifen. Sie besitzen also, wie die mikroskopische Untersuchung im polarisierten Lichte zeigt, eine ausgesprochen krystallinische Struktur. Geologisch gehören sie teils zum produktiven Carbon, teils zu Devon oder Silur.

Die Kohlensandsteine sind ebenfalls durch allmähliche Abscheidung der Kieselsäure, und zwar aus dem Brackwasser entstanden. Unter dem Mikroskope sieht man, daß sie mehr aus mittelgroßen Quarzindividuen zusammengesetzt sind. Die Kohlensandsteine stellen eine der Übergangsformen zwischen Fels- und Findlingsquarziten dar.

Die Findlingsquarzite oder amorphe Quarzite sind dagegen aus auf sekundärer oder bereits tertiärer Lagerstätte (Braunkohlenformation) liegenden feinkörnigen Sanden entstanden, welche durch Eindringen von Oberflächenwässern, die Kieselsäure mit sich führten und diese hier ablagerten, verkittet worden. Unter dem Mikroskop betrachtet, erweisen sie sich als ein ganz andersartig zusammengesetztes Gestein, in dem kleine Quarzindividuen mit stark korrodierten Rändern, voneinander getrennt, ziemlich gleichmäßig in einer fein krystallinen Grundmasse, dem sog. Basaltzement, eingelagert liegen. Im Feuer weisen alle diese Quarzite ein Wachsen auf, welches darauf beruht, daß sich der Quarz, ohne seine chemische Zusammensetzung zu ändern, allmählich in die bei höherer Temperatur stabile Form des Tridymits oder Cristobalits umwandelt, wenn er längere Zeit hohen Temperaturen ausgesetzt wird. Dabei vermindert sich das spez. Gewicht des Quarzites von 2,65 auf 2,32 und eine gleichzeitige Volumenvermehrung (bei vollkommener Umwandlung) von ca. 14 Proz. tritt ein. Es ist klar, daß solche Volumenänderungen bei plötzlichem Erhitzen den Zusammenhang zwischen den Quarzkörnern zerstören, wovon sich die Notwendigkeit des langsamen Erhitzens ergibt. Wie schon erwähnt, läßt sich der Unterschied zwischen den beiden hauptsächlichsten Quarzarten am besten unter dem Mikroskop feststellen.

Amorphe Quarzite (Findlingsquarzite) zeigen im Dünnschliff kleine Quarzindividuen, mit stark ausgefressenen Rändern, die getrennt von

einander in einer feinkristallischen Basaltmasse eingebettet sind, die krystallinischen Quarzite (Felsquarzite) zeigen dagegen im Dünnschliff nur größere, aneinanderliegende Quarzindividuen, mit verzahnten Rändern und ohne Zementmasse. In den Fig. 2 und 3 (Tafel I) ist der Unterschied deutlich zu ersehen.

Die Umwandlung des Quarzes in Tridymit wird durch die Gegenwart eines glasigen Schmelzflusses, der intermediär lösend wirkt, begünstigt. Da das in den Quarziten enthaltene Eisen sowie des Calciumsilicat, welches sich beim Brennen der Quarzsteine aus dem zugesetzten Bindekalk bildet, allein nicht fähig ist, die Umwandlung in Tridymit herbeizuführen, so nimmt *Rebuffat*¹ an, daß die zur Herstellung guter Dinassteine geeigneten Quarzite einen anderen Stoff enthalten, der die Umwandlung begünstigt. Solche Stoffe können z. B. sein: Borsäure, Phosphorsäure, Vanadin- und Wolframsäure. Bei Quarziten aus Lagonegro die erfahrungsgemäß raumbeständige Steine lieferten, wurde ein P_2O_5 -Gehalt von 0,3 Proz. gefunden. Diese Menge P_2O_5 hat sich in besonderen Versuchen als genügend erwiesen, um eine vollkommene Umwandlung (vom spez. Gew. 2,65 auf 2,27) zu erzielen. Die vorherige Entfernung dieser Menge P_2O_5 aus dem Quarzit mittels Salpetersäure bewirkte dagegen, daß Tridymitbildung nur in unbedeutendem Maße auftrat. Leider fehlen Angaben darüber, ob die Salpetersäure außer P_2O_5 noch andere Stoffe aus dem Quarzit entfernt, die evtl. für die Quarzumwandlung von Bedeutung sind.

Für die Herstellung von Quarzsteinen kommen praktisch heute nur noch Fels- und Findlingsquarzite in Betracht, wobei der Felsquarzit infolge Vorhandenseins von dessen Schmelzpunkt erniedrigenden Glimmerbeimengungen als Quarzit II. Sorte gilt. Das wesentliche Charakteristicum des krystallinischen Felsquarzites besteht darin, daß er bei normalem Brand der Brennöfen der Silikawerke nicht ganz oder nur teilweise in die Tridymitform umgewandelt werden kann. Dadurch besitzt der fertige, nicht genügend lange und hart gebrannte fertige Stein die unangenehme Eigenschaft dauernd zunehmender Volumenvergrößerung und bei unsachgemäßer Aufbereitung des Quarzites wird so durch Auflockerung des Gefüges eine frühzeitige Zerstörung des Steines herbeigeführt. Die amorphen Findlingsquarzite weisen dagegen schon beim ersten Brand eine weitgehende Umwandlung in Tridymit auf. Aus diesem Grunde wird in Deutschland zur Herstellung erstklassiger Silikasteine vornehmlich Findlingsquarzit verwandt. Da aber die Lager der Findlingsquarzite ständig im Abnehmen begriffen sind, ist die Frage immer dringlicher geworden, ob es möglich ist, auch krystallinische Quarzite für die Herstellung hochwertiger Silikasteine zu verwenden. Die Meinungen darüber sind geteilt. *Lux*² vertritt die Ansicht, daß es sehr wohl möglich ist, auch aus krystallinischen Quarziten prima Silikasteine herzustellen, vorausgesetzt, daß durch entsprechend langen und hohen Garbrand bei mindestens 1500° C der Rohstoff zum größten Teil in Tridymit überführt wird. Es

¹ Iron Coal Tr. Rev. 1921, S. 695.

² Stahl und Eisen 1921, Heft 8.

wird dabei auf die Erfahrungen der amerikanischen¹ feuerfesten Industrie verwiesen, der ausschließlich krystallinische, allerdings sehr reine Quarzite zur Verfügung stehen und die trotzdem infolge geeigneter Aufbereitung (weitgehende Feinmahlung usw.) und genügend hohem und langem Garbrand hochwertige Steine herstellt, die den deutschen, aus Findlingsquarzit fabrizierten Steinen vollkommen gleichwertig sind. Die Amerikaner scheuen nicht vor Ausgaben für Kohlen. Wie *Endell*² berichtet, beträgt dort der Kohlenaufwand zum Brennen von Silikasteinen 40 bis 45 Proz. des Gewichtes vom

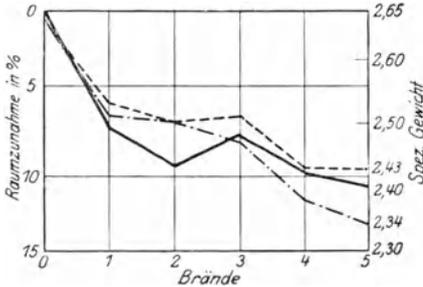


Fig. 4. Umwandlungsgeschwindigkeit kristallinischer Quarzite.

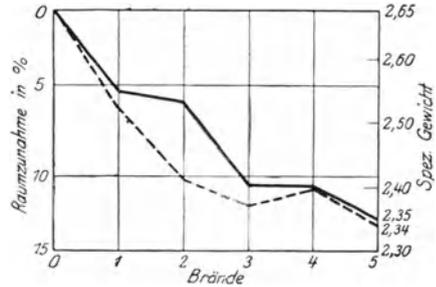


Fig. 5. Umwandlungsgeschwindigkeit des Kohlensandsteins.

Fertigfabrikat. In Deutschland sind uns Zahlen des Brennstoffaufwandes von über 22 bis 28 Proz. nicht bekannt.

Gegenüber den krystallinischen Quarziten haben nun die Findlingsquarzite die Eigenschaft, bei relativ kurzer Zeit die Umwandlung in Tridymitform

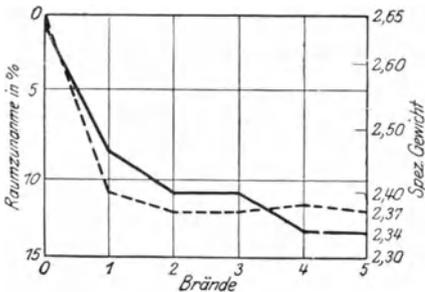


Fig. 6. Umwandlungsgeschwindigkeit amorpher Quarzite.

durchzumachen. Es genügt im wesentlichen, ein scharfer normaler Garbrand in den bekannten Brennöfen der deutschen Silikaindustrie, um diese Umwandlung des Quarzites zum größten Teil zu bewirken, d. h. einen Stein zu erzeugen, der hinsichtlich der Volumenbeständigkeit den aus krystallinischen Quarziten hergestellten weit übertrifft. Es kommt noch hinzu, daß die Findlingsquarzite infolge Fehlens von Glimmer, Eiseninfiltrationen und

sonstigen Verunreinigungen einen um ca. 2–3 Sek. höheren Schmelzpunkt aufweisen als die Felsquarzite.

Über die Umwandlungsgeschwindigkeit des Quarzes in die spezifisch leichteren Modifikationen hat *Endell*³ Unter-

¹ und auch schwedischen und italienischen. Vgl. *Endell*, Bericht Nr. 79 des Stahlwerksausschusses des Ver. d. Eisenhüttenleute.

² Brennstoff- und Wärmewirtschaft 1923, S. 101.

³ Stahl und Eisen 1913, S. 1774; 1920, S. 436.

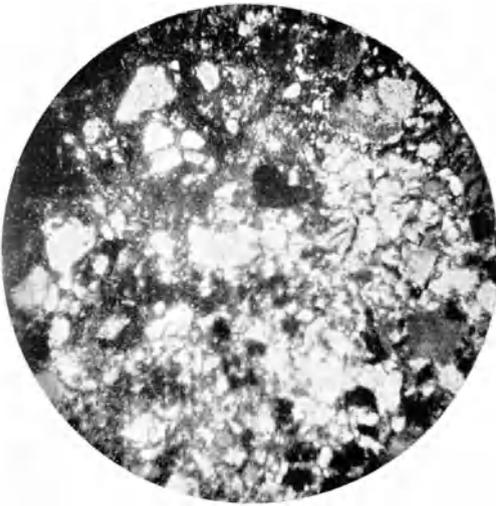


Fig. 2. Findlingsquarzit, Quarzkörner liegen in Basaltzement.

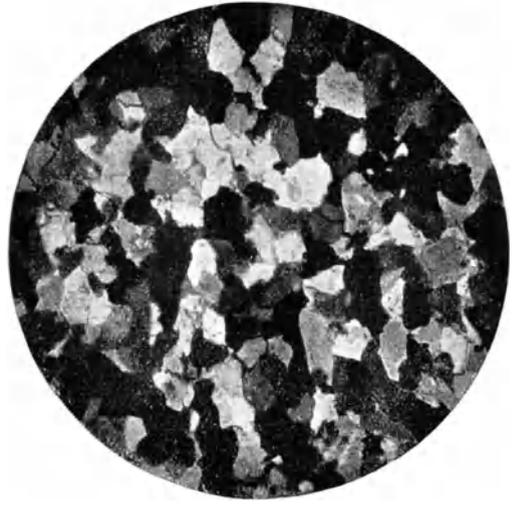


Fig. 3. Felsquarzit. Quarzkorn an Quarzkorn ohne Zement.

Fig. 2 und 3. Unterschied in der Mikrostruktur eines Findlings- und Felsquarzites (gekreuzte Nikols).

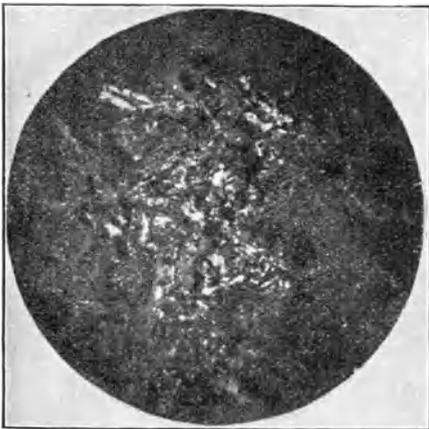


Fig. 7. Gutgebrannter Silikastein (gekr. Nikols).



Fig. 8. Schlechtgebrannter Silikastein (gekr. Nikols).

suchungen angestellt. Er hat krystallinen Quarzit, Kohlsandstein und amorphen Quarzit wiederholten Bränden ausgesetzt und dabei die jedem Brande entsprechende prozentuale Raumzunahme sowie die Verringerung des spez. Gewichtes festgestellt. Die Resultate sind in den Fig. 4 bis 6 wiedergegeben.

Wie die Fig. 4 zeigt, hat von drei krystallinischen Quarziten erst einer und auch dieser erst nach dem 5. Brande die Abnahme des spez. Gewichtes von 2,65 auf 2,34 erreicht, bei gleichzeitiger Zunahme des Raumes um rund 14 Proz., was einer vollkommenen Umwandlung des Quarzes entspricht. Die Fig. 5 zeigt das Verhalten der Kohlsandsteine beim wiederholten Brennen. Diese erreichen bereits beim 2. oder 3. Brande das Höchstmaß ihrer Raumzunahme bzw. der Verringerung ihres spez. Gewichtes und verhalten sich demnach schon günstiger, als die krystallinen Quarzite. Die amorphen Quarzite erreichen dagegen schon beim 1. Brande (Fig. 6) das Höchstmaß der Umwandlung und weisen deshalb den Vorteil auf, daß sie in der kürzesten Zeit und mit dem niedrigsten Brennstoffaufwand bis zur praktischen Raumbeständigkeit gebrannt werden können.

Auch *Hartmann* hat amorphe Quarzite, Felsquarzite und Quarzsandsteine, die alle die gleiche chemische Zusammensetzung, gleichen Schmelzpunkt und gleiches spez. Gewicht hatten, einem dreimaligen Brennen unterzogen. Die lineare Ausdehnung betrug:

	1. Brand	2. Brand	3. Brand
Amorphe Quarzite	1,0 bis 1,1 Proz.	1,3 bis 1,4 Proz.	1,8 bis 2,1 Proz.
Felsquarzite	1,6 „ 1,9 „	1,8 „ 2,6 „	2,9 „ 3,7 „
Quarzsandsteine	2,6 „ 3,7 „	4,1 bzw. Zerfall	5,8 „

Die *Hartmanns*chen Versuche decken sich somit mit den Ergebnissen von *Endell*.

Ob nun die Silikasteine wirklich bis zur erfolgten Tridymitbildung gebrannt werden müssen, scheint noch nicht endgültig festzustehen. *Le Chatelier*¹ und *Fenner*² geben z. B. an, daß ein guter Silikastein $\frac{2}{3}$ seiner Gesamtausdehnung beim Brennen und $\frac{1}{3}$ im Ofen erreichen soll. Auf alle Fälle ist derjenige Quarzstein der beste, bei welchem das Höchstmaß der Raumzunahme erreicht wird.

Das Bild, welches ein derartiger gut gebrannter Silikastein im Dünnschliff unter dem Mikroskop zeigt, wird etwa demjenigen in der Fig. 7 (Tafel I) gleichen. Die aus Kalk und zerkleinertem Quarz gebildete Masse ist frei von Quarz, zeigt dagegen Anhäufungen von Cristobalitkörnern (unter dem Mikroskop sichtbar) und langgestreckte Tridymitkristalle. Ein Stein von solcher Beschaffenheit ist als gut zu bezeichnen und wird beim Gebrauch in Öfen auch nur noch ein geringes nachträgliches Wachsen zeigen.

Ein Beispiel eines schlecht gebrannten Silikasteines zeigt uns dagegen die Fig. 8 (Tafel I). Bei der Mikroanalyse solcher Steine sieht man, daß die großen Quarzkörner noch aus völlig unverändertem Quarz bestehen. Derartige Steine müssen die unvermeidliche Umwandlung des Quarzes noch

¹ Comptes rendus 1916, 26. XII. und 1917, 6. VIII.

² Amer. Journ. of Science 1915, S. 331 bis 384.

später durchmachen, wenn sie sich bereits im Betrieb befinden, und dann verursachen sie durch nachträgliche Ausdehnung große Störungen, um so mehr daß, im Gegenteil zum Verhalten im Brennofen, die Steine im Betriebe sich nicht frei ausdehnen können.

Quarzite, deren Ausdehnungskoeffizient möglichst klein ist und bei wiederholtem Brennen sich wenig verändert und deren Gefüge dabei dicht und fest bleibt, sind für die Fabrikation von Silikasteinen die bestgeeignetsten.

Der Garbrand der heute in der deutschen Silikaindustrie vorhandenen Öfen genügt durchaus, um aus Findlingsquarziten denkbar volumenbeständige Silikasteine herzustellen; dagegen wird es von der Zukunft abhängen, ob die Silikawerke dazu übergehen, besondere, mit Silikasteinen ausgemauerte Brennöfen zu errichten, die einen genügend hohen und langen Brennprozeß gestatten, um die Fabrikation hochwertiger Silikasteine auch aus krystallinischen Quarziten (Felsquarziten) zu ermöglichen.

In Frankreich ausgeführte Versuche, über die *Le Chatelier* am 17. Dezember 1917 in der Akademie der Wissenschaften berichtete¹, haben ergeben, daß man im speziellen aus grobkrystallinischen Quarzen brauchbare Silikasteine herstellen kann, wenn sie vor der weiteren Verarbeitung zu feinstem, unfühlbarem Pulver gemahlen werden. Für die Praxis kommt dies nicht in Frage; denn abgesehen davon, daß ein solcher Fabrikationsprozeß viel zu teuer kommen würde, würde sich beim Fertigfabrikat die Eigenschaft ungewöhnlich großer Sprödigkeit herausstellen und damit seine Unbrauchbarkeit für die Praxis ergeben. Dagegen ist es richtig, daß der Grad der Mahlung einen großen Einfluß auf die Güte des Quarzites und des daraus gefertigten Steines hat. Das feine Material, das die Grundmasse der Steine bildet, wandelt sich bedeutend rascher in Tridymit um als die großen Körner. Infolgedessen enthält nach dem Garbrände, abgesehen von den vorhandenen größeren Quarzitkörnern, die Grundmasse keinen Quarz mehr, dafür eine Menge gut ausgebildeter Tridymitkristalle. Die langen, ineinandergeschobenen Tridymitkeile bilden das Netzwerk, das nach den Angaben von *Le Chatelier* dem Steine die Festigkeit verleiht, und mit Recht wird hervorgehoben, daß die großen Quarzitkörner nicht fehlen dürfen, weil sie dem Netzwerk Halt und Stütze geben. Die günstigste Bedingung für die Bildung des Netzwerkes liegt nach *Le Chatelier* in einer mehrere Tage dauernden Erhitzung auf 1450° C.

Die Feuerfestigkeit und die chemische Zusammensetzung spielen bei Quarziten noch viel weniger eine Rolle als bei den feuerfesten Tönen. Vielmehr ist hier ihr physikalisches Verhalten und besonders die mikroskopische Struktur maßgebend.

Der große Unterschied zwischen Silika- und Schamottesteinen besteht darin, daß beim Silikastein, wenn man überhaupt von einem Erweichungsgrade sprechen darf, dieser praktisch mit dem Schmelzpunkte zusammenfällt, während bei Schamottesteinen die Erweichung stets unterhalb des Schmelzpunktes liegt, wobei die Differenz zwischen diesen beiden physikalischen Kennzeichen zuweilen bedeutend werden kann.

¹ *Strassmann*, Die Industrie feuerfester Steine und ihre Aufgaben für Gaswerke und Kokereien. Bonn 1921.

Eigenschaften.

Die hauptsächlichsten Eigenschaften der feuerfesten Steine, die im folgenden ausführlicher besprochen werden, sind:

1. Schwerschmelzbarkeit;
2. chemische Zusammensetzung;
3. mechanische Festigkeit;
4. Verhalten unter Belastung in der Hitze;
5. Raumbeständigkeit;
6. Wärmeleitfähigkeit;
7. spezifische Wärme;
8. Verhalten gegen Temperaturwechsel;
9. Widerstand gegen chemische Angriffe (Schlacken, Flugstaub, Salze, Dämpfe, Kohlenstoff);
10. Porosität, Dichte und spezifisches Gewicht;
11. Gasdurchlässigkeit;
12. Farbe;
13. Struktur;
14. äußere Form und Maßhaltigkeit.

Kein Stein kann so beschaffen sein, daß er gleichzeitig allen diesen Eigenschaften Rechnung trägt. Man wählt deshalb einen Stein, der je nach dem Verwendungszweck den meisten verlangten Eigenschaften entspricht. Man vgl. hierzu die Ausführungen auf S. 116.

1. Schwerschmelzbarkeit.

Die Schwerschmelzbarkeit ist eine unerläßliche Bedingung aller feuerfesten Fabrikate. Nach dem Beschluß der Versammlung des Vereins deutscher Fabriken feuerfester Produkte im Jahre 1914 gelten nur diejenigen feuerfesten Erzeugnisse als feuerfest, die mindestens dem Segerkegel 26 entsprechen. Man tut besser, bezüglich der Schwerschmelzbarkeit in Anbetracht der Erweichungserscheinungen ein Material zu wählen, das um einige Segerkegel höher liegt, als die Temperatur des betreffenden Ofenprozesses entspricht.

Die Schwerschmelzbarkeit der Steine beruht bald auf hohem Tonerde-, bald auf hohem Kieselsäuregehalt derselben und bildet noch eine vielumstrittene wissenschaftliche Materie. Die Schwerschmelzbarkeit stellt eine der wichtigsten Eigenschaften der feuerfesten Steine dar und wird gewöhnlich

im Vergleich mit Segerkegeln angegeben. Diese Eigenschaft der Steine ist deshalb mit dem „Kegelschmelzpunkt“ identisch. Der Kegelschmelzpunkt besagt lediglich, mit welchem Segerkegel bzw. bei welcher Temperatur eine dem Segerkegel möglichst gleichgeformte Pyramide aus dem zu prüfenden Material ohne Berücksichtigung irgendwelcher gleichzeitiger Druckverhältnisse ihre Spitze umbiegt und Verglasungserscheinungen zeigt.

Bei feinkörnigen, möglichst homogenen Stoffen ist die Bestimmung des Kegelschmelzpunktes zuverlässiger als bei Fertigprodukten, die aus mehreren Komponenten in verschiedenen Korngrößen bestehen. Da ein Pulvern solcher Materialien vor Ausführung der Prüfung unstatthaft ist (vgl. weiter unten), wird das Material in eine den Segerkegeln ähnliche Form und Größe gebracht und mit Segerkegeln im Feuer verglichen. Da der Kegelschmelzpunkt nicht nur von der Erhitzungszeit und der Erhitzungsgeschwindigkeit, sondern auch von der Größe der Versuchskörper abhängig ist, muß das Probestück in seiner Form dem Segerkegel möglichst entsprechen. Der in Schamottesteinen verwendete Bindeton schmilzt häufig eher als die durch ihn gebundenen Schamottkörner; daher sind die Schmelzerscheinungen nicht immer ganz eindeutig und die Beurteilung des gerade erfolgten Umschmelzens recht subjektiv. Schon aus diesem Grunde ist es unangebracht, einen allzu großen Wert auf derartige Bestimmungen zu legen. Außerdem ist die Höhe des Kegelschmelzpunktes an sich kein Maßstab für die Beurteilung der Temperatur, die ein Material tatsächlich während des Gebrauches auszuhalten vermag; diese liegt meist ganz erheblich tiefer, da der Kegelschmelzpunkt ja ein bereits stark vorgeschrittenes Stadium der Deformation angibt. Es ist also durchaus falsch, ein Material unter allen Umständen für besser und wertvoller zu halten, wenn es ein oder zwei Segerkegel höher schmilzt als ein anderes. Meist sind ganz andere Eigenschaften für die Brauchbarkeit entscheidend (*Rieke*). Außerdem bietet die Feuerfestigkeitsermittlung feuerfester Steine, wenn diese aus einer sehr grobkörnigen Masse hergestellt sind, oft Schwierigkeiten, da das Probestück noch aufrecht stehen bleibt, nachdem schon einzelne Bestandteile herausgeflossen sind. Es wurde deshalb bei verschiedenen zusammengesetzten Steinen festgestellt, inwieweit eine Veränderung des Schmelzpunktes eintritt, wenn die Proben in gepulvertem Zustand untersucht werden. Hierbei stellte sich heraus, daß die Feuerfestigkeit um so stärker herabgedrückt wird, je feiner der Probekörper vorher gemahlen wurde. Gleichzeitig wurde der Kegelschmelzpunkt verschieden zusammengesetzter roher, bei Segerkegel 10 und bei Segerkegel 20 gebrannter Steine bestimmt. Hierbei ergab sich, daß es auf die Höhe des Schmelzpunktes ganz ohne Einfluß ist, ob die Steine in rohem oder in verschieden hoch vorgebranntem Zustand geprüft werden.

Rees (Chem. Trade Journ. and Chem. Eng. 1922, 3. März, S. 262) vertritt die Ansicht, daß die Prüfung ganzer Ziegel wertvoller ist, als die von kleinen Teilen der Ziegel. Er hatte häufig die Erweichungstemperaturen (ohne Belastung) ganzer Ziegel in der Weise geprüft, daß er sie auf eine feuerfeste gewölbte Fläche in einen großen, gasgefeuerten Ofen legte und die



Fig. 10. Abschmelzerscheinungen an Silikasteinen nach 40 stündigem Glühen oberhalb 1400 °C
(nach *Steinhoff*).

Temperatur beobachtete, bei welcher Durchbiegung des Probeziegels eintrat. Manchmal lag die so ermittelte Erweichungstemperatur des ganzen Ziegels um 50–150° tiefer als die durch die Prüfung kleiner Probestücke angezeigte. Auch konnte bei ganzen Ziegeln der Einfluß der Ofengase besser beurteilt werden.

Über die Beziehungen zwischen Schmelzpunkt, spez. Gewicht und chemischer Zusammensetzung feuerfester Steine stellte *Patterson*¹ Versuche an, aus denen jedoch einstweilen keine Rückschlüsse gezogen werden können. Auch *Kanolt*² konnte keinen Zusammenhang zwischen der Zusammensetzung und Schmelztemperatur feuerfester Steine feststellen.

Da in der Praxis die feuerfesten Steine in gänzlich anderer Weise beansprucht werden, als die Vergleichsprüfung mit Segerkegeln ergibt, kann man aus dem Kegelschmelzpunkt wohl den Feuerfestigkeitsgrad, jedoch kaum Rückschlüsse auf Geeignetheit des Steines für den einen oder anderen Zweck ziehen. Gute Schamottesteine weisen ziemlich den gleichen Kegelschmelzpunkt auf wie auch Quarzsteine.

*Steinhoff*³ hat beim Erhitzen von prismatischen, aus Silikasteinen herausgeschnittenen Versuchskörpern von $2,5 \times 2,5 \times 10$ cm bemerkenswerte Abschmelzerscheinungen festgestellt. Bereits nach 20stündigem Erhitzen oberhalb 1400° zeigte der Stab *B* (vgl. Fig. 9, Tafel II) an der dem Heizrohr zugewandten Fläche deutlich Anzeichen des beginnenden Schmelzens. Die Fläche war mit einer Glasur überzogen. Sowohl der Stab *A* wie auch der Stab *C* waren unverändert geblieben. Nach weiteren 20 Glühstunden verschob sich das Bild dahin, daß nur der Stab *A* vom Feuer äußerlich nicht beeinflusst war, während die nach dem Heizrohr gerichteten Oberflächen der beiden anderen prismatischen Versuchskörper eigenartige kraterförmige Vertiefungen aufwiesen. Was den Grad des Abschmelzens betrifft, so steht der Stein *C* noch über dem Stein *B*, so daß also die 3 Proben in der Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen folgende Reihenfolge einnehmen: *A—C—B*. Fig. 9 zeigt die Stäbe nach 40stündigem Glühen.

Stab *C* dürfte zur Erklärung des Abschmelzvorganges ein bemerkenswertes Versuchsstück darstellen. Die abgeschmolzene Oberfläche zeigt bis zu 3 mm tiefe und zum Teil 6 mm breite Vertiefungen, die mit ihren aufgewölbten Rändern an Krater erinnern. Der Abschmelzvorgang ist hier in einem Zeitpunkt festgehalten, der geeignet ist, über das Abschmelzen bestimmte Aussagen zu machen.

Ein Silikastein ist nie so vollkommen kompakt, daß keine porösen, luftgefüllten Stellen in ihm enthalten sind. Beim Erweichen des Steines in höheren Temperaturgebieten verkapseln sich die kleinen Gasblasen und liegen ein-

¹ Stahl und Eisen 1916, S. 1070 bis 1071.

² Technologic Papers of the Bureau of Standards, Washington 1912, Nr. 10, S. 1 bis 17; Silikat-Ztschr. 1913, S. 140.

³ Mitteilungen aus der Versuchsanstalt der Deutsch-Luxemburgischen Bergwerks- und Hütten-A.-G. Dortmunder Union 1922, H. 2, S. 66; Berichte der Fachausschüsse des Ver. deutscher Eisenhüttenleute. Werkstoffausschuß. Bericht Nr. 39.

gebettet in dem erst zähflüssigen, bei höheren Temperaturen nachgiebigeren dem starken Druck, unter dem sie stehen, auszudehnen. Je höher die Temperatur steigt, um so leichtflüssiger und nachgiebiger wird die Abschmelzhaut, um so stärker steigt auch der in der Luftblase herrschende Druck. Einmal wird der Punkt erreicht, wo der innere Luftdruck den Widerstand der Oberflächenspannung übertrifft, wo also die Luftblase herauspufft. Der zerstörende Einfluß dieser eingebetteten Gasblasen muß also offenbar erheblich sein.

Die so entstehenden kraterartigen Gebilde mit ihren aufgewölbten Rändern werden nicht lange in diesem Zustande erhalten bleiben. Die aufgewölbte dünnwandige Randzone wird zuerst zusammengesmolzen, und allmählich wird ein Nivellieren der aufgerissenen Oberfläche erfolgen, bis die zusammenhängende Brennhaut wieder hergestellt ist. Es liegt auf der Hand, daß die im Betrieb einwirkenden heißen, teilweise staubbeladenen Gase während dieses Vorganges ihre zerstörende Wirkung auf das Steininnere besonders leicht ausüben können. Die Tatsache, daß der nicht abgeschmolzene Stein *A* am wenigsten porös ist und (besonders in der Schnittfläche) keine dunklen Flecken besitzt, die (aus Eisensilikaten bestehend) erfahrungsgemäß am frühesten schmelzen, dürfte eine Bestätigung der hier entwickelten Ansichten sein. Ein ähnlich gutes Verhalten zeigte Stein *A* bei einer zweiten Versuchsreihe; auch bei dieser Versuchsreihe blieb Stein *A* allein unverändert.

Nach diesen Ergebnissen muß das Fabrikat *A* als das im Betrieb voraussichtlich widerstandsfähigste angesprochen werden. Tatsächlich wurde vom Stahlwerk bestätigt, daß mit Fabrikat *A* als Gewölbstein die besten Erfahrungen vorliegen.

Im Zusammenhang hiermit möge bemerkt werden, daß die bessere Qualität des Steines *A* auch aus anderen Untersuchungen hervorgeht. So zeigte dieser Stein im Anlieferungszustande ein spezifisches Gewicht von 2,353 (gegenüber 2,470 und 2,527 bei den zwei anderen Steinen), einen Umwandlungsgrad in Tridymit und Cristobalit von 93% (56 und 38%), ein Nachwachsen im Feuer Ton 2,5% (4,3 und 7,6%), sowie die beste Standfestigkeit im Feuer unter Belastung.

Als zweckmäßig hat sich folgender Untersuchungsgang herausgestellt. Silikaprismen verschiedener zu prüfenden Steine werden in einem senkrecht stehenden Kohलगriesofen derart aufgestellt, daß von jedem Stein eine Kante dem Heizrohr zugewandt ist. Der Ofen wird vorsichtig angeheizt, so daß nach etwa 20 Stunden 1500° erreicht sind. Bei 1500° wird die Temperatur 3 Stunden konstant gehalten. Darauf wird die Temperatur langsam um ungefähr 150° gesteigert. Nach diesem Temperaturanstieg wird der Strom ausgeschaltet, der Ofen gut zugedichtet und sich selbst überlassen, bis er abgekühlt ist.

Die erhaltenen Resultate sind nach *Steinhoff* so markant, daß er glaubt, mit dem Studium des Abschmelzvorganges ein ausgezeichnetes Mittel zur laboratoriumsmäßigen Beurteilung der Silikasteine in Vorschlag bringen zu dürfen.

2. Chemische Zusammensetzung.

Nach *Richters*¹, „äußern äquivalente Mengen der als Flußmittel auftretenden Basen auf die Schmelzbarkeit von Tonen mit gleichem Tonerde- und Kieselsäuregehalt einen gleichen Einfluß“. Es sei hier besonders hervorgehoben, daß unter gleichem Tonerde- und Kieselsäuregehalt hierbei das gleiche Verhältnis von Al_2O_3 : SiO_2 zu verstehen ist. Je größer der Kieselsäuregehalt im Verhältnis zur Tonerde ist, um so energischer ist ferner nach *Richters* die schmelzpunkterniedrigende Wirkung der Flußmittel, wobei sich jedoch auch bei den kieselsäurereichen Gemischen die gleiche Wirkung äquivalenter Flußmittelmengen zeigt. Die Beurteilung des feuerfesten Steines allein nach seinem Tonerdegehalt oder allein nach der Summe der Flußmittel führt zu schiefen Urteilen. Insbesondere gibt das Summieren der Gewichtsmengen der Flußmittel ein falsches Bild von dem Wirkungsgrad derselben. Trotzdem die grundlegende Arbeit von *Richters* schon im Jahre 1868 erschien, wurde sie erst fast 30 Jahre später von *Cramer*² mit inzwischen bedeutend verbesserten Hilfsmitteln nachgeprüft. Im großen und ganzen wurde durch *Cramer* bestätigt, daß das *Richters*sche Gesetz für die Praxis Anwendung finden kann, jedoch unter der Voraussetzung, daß die Tone keine nennenswerten Mengen freier Kieselsäure enthalten und daß die in Betracht kommenden Flußmittelmengen relativ gering sind. *Rieke*³ hat in neuerer Zeit, veranlaßt durch die Arbeiten von *Richters* und *Cramer*, sowie durch die Arbeit von *Ludwig*⁴ eine Reihe von Versuchen angestellt und gefunden, daß die Wirkung äquimolekularer Mengen der Oxyde CaO , MgO , FeO , K_2O , Na_2O u. a. sowohl auf den Kegelschmelzpunkt von reinem Kaolin als auch auf den von Tonerde-Kieselsäuremischungen mit verschiedenem SiO_2 -Gehalt keine gleichstarke ist. Eine hierbei für alle verwendeten Flußmittel geltende Gesetzmäßigkeit konnte nicht gefunden werden, doch zeigte sich bei der CaO -Gruppe, daß das Oxyd mit dem niedrigsten Mol.-Gewicht bei Anwendung äquimolekularer Mengen den Schmelzpunkt am meisten herabsetzt, dasjenige mit dem größten Mol.-Gewicht dagegen am wenigsten. Auch für die Gruppe der Alkalien scheint eine derartige Regelmäßigkeit zu bestehen. Aus der chemischen Zusammensetzung des Fertigfabrikats kann ein, allerdings erfahrener Keramiker höchstens einen Schluß auf seine ungefähre Schwerschmelzbarkeit ziehen, niemals jedoch auf sein Verhalten an der späteren Verwendungsstelle in den verschiedenen Betrieben. Wie oben hervorgehoben ist, steht die Feuerfestigkeit eines feuerfesten Materials im Zusammenhang mit dem Verhältnis der Tonerde zur Kieselsäure und der Summe der Flußmittel. Werden letztere innerhalb der zulässigen Grenzen in gleichen oder gleichwertigen Mengen angenommen, so nimmt mit steigendem Tonerdegehalt die Feuerfestigkeit zu. Es ist daher

¹ Untersuchungen über die Ursachen der Feuerbeständigkeit der Tone. 2. Aufl. 1897.

² Wirkung der Flußmittel in Tonen. Tonind.-Ztg. 1895, Nr. 40 u. 41, S. 533ff. — Flüchtigkeit und Wirkung der Flußmittel. Tonind.-Ztg. 1897, Nr. 28, S. 288.

³ Das *Richters* sche Gesetz. Ein Beitrag zur Kenntnis der Flußmittelwirkung. Sprechsaal 1910, Heft 14, 15 u. 16.

⁴ Tonind.-Ztg. 1909, Nr. 63, S. 773.

erklärlich, daß man die Güte eines feuerfesten Fabrikates häufig nach dessen chemischer Zusammensetzung bzw. nach dem Tonerdegehalt zu beurteilen bestrebt ist. Das Verlangen nach einem bestimmten Gehalt an Tonerde und Flußmitteln hat (nach *Riecke*) in gewissem Sinne auch seine Berechtigung. Hieraus mußte sich nun die Folgerung ergeben, daß alle Fabrikate verschiedener Herkunft mit gleichen Gehalten an Tonerde, Kieselsäure und Flußmitteln auch qualitativ gleichwertig sind; dies entspricht aber keinesfalls der Wirklichkeit. In bezug auf ihre absolute Feuerfestigkeit mag eine gewisse Gleichwertigkeit vorhanden sein, dagegen pflegen die anderen viel wichtigeren physikalischen Eigenschaften sehr zu variieren.

Die chemische Analyse allein bildet somit keineswegs ein Wertmaß für die Güte eines feuerfesten Steines. Trotzdem pflegt man die chemische Analyse der feuerfesten Fabrikate doch auszuführen, da sich hierbei oft wesentliche Unterschiede zwischen Fabrikaten verschiedener Herkunft und etwaige fehlerhafte Zusammensetzungen oder schädliche Bestandteile nachweisen lassen. Berücksichtigt man jedoch, daß häufig fehlerhafte Steine von verschiedener chemischer Zusammensetzung die gleichen Eigenschaften aufweisen und umgekehrt Steine mit gleichem analytischem Wert zuweilen ein verschiedenartiges Verhalten zeigen, so sieht man ohne weiteres ein, daß die chemische Analyse mehr Wert für den Erzeuger, als für den Verbraucher hat. Sie ist deshalb mehr als ein Hilfsmittel zur Auswahl der Rohstoffe und dann gleichzeitig mit der Ausführung der rationellen Analyse von Wert. Es ist dabei zu beachten, daß die im Ton chemisch gebundenen Bestandteile eine andere Wirkung ausüben, als die nichtgebundenen bzw. verschiedenartig gebundenen. So verhält sich in bezug auf Feuerfestigkeit die an Tonerde und Flußmittel gebundene Kieselsäure anders als freier Sand; auch die Alkalien des Tones haben einen anderen Einfluß als die in Form von Feldspat im Ton enthaltenen Alkalien.

Trotzdem kann man aus der chemischen Analyse der Steine doch manches für die Beurteilung der Eigenschaften derselben entnehmen. So deutet bei Schamotteerzeugnissen ein hoher Tonerdegehalt auf hohe Feuerfestigkeit hin; ein hoher Kieselsäuregehalt, besonders in Verbindung mit größerem Gehalt an flußmittelbildenden Oxyden, wie Oxyde des Eisens, Calciums, Magnesiums, Alkalien usw. bewirkt ein Abnehmen der Feuerfestigkeit. Eine direkte Berechnung der Schmelzbarkeit aus der Analyse, wie man sie früher mehrfach angewandt hat, ist wenig zuverlässig und hat wenig Zweck. Ein hoher Kieselsäuregehalt, der bei diesen Massen stets auf einen höheren Gehalt an freiem Quarz zurückzuführen ist, ruft ferner meist auch eine größere Porosität hervor und bewirkt bei hohen Temperaturen leicht ein „Wachsen“ der ganzen Masse und dadurch unter Umständen auch eine Verringerung der mechanischen Festigkeit. Kieselsäurearme und tonerdereiche Massen lassen dagegen ein „Nachschwinden“ bei hoher Temperatur befürchten. Ein hoher Gehalt an Flußmitteln bewirkt zwar meist eine größere Festigkeit und ein dichteres Gefüge, begünstigt aber das Erweichen und setzt nicht nur die Schmelztemperatur, sondern auch die Erweichungstemperatur herab.

Bei Vergleichen zwischen verschiedenen Erzeugnissen gleicher Gattung hat die chemische Analyse schon mehr Wert. Enthält z. B. unter zwei Steinen der eine mehr Tonerde im Verhältnis zu Flußmitteln bzw. zu der Kieselsäure, so ist dieser auch der schwerer schmelzbare. Ist das Verhältnis des Tonerdegehaltes zu den Flußmitteln bei verschiedenen Steinen ein gleiches, so ist der kieselsäureärmere der strengflüssigere. Was die Kieselsäure anbetrifft, so ist ihre Wirkung eine ganz verschiedene, je nachdem, ob sie in freier oder gebundener Form enthalten ist.

Ein nicht unwesentliches Hilfsmittel für die Beurteilung der Feuerbeständigkeit einer tonhaltigen Masse stellt der Alkaligehalt dar. Alkali selbst ist als ein starkes Flußmittel bekannt, und da das Alkali aus dem zur Bindung und als Schamotte der Steinmasse zugesetzten Ton stammt, so läßt sich je nach dem vorhandenen K_2O -Gehalt auf die Gegenwart größerer oder geringerer Mengen von Mineraltrümmern schließen, welche Körper von verhältnismäßig äußerst geringem Schmelzgrad darstellen. Um den Ursprung des Alkalis vor Augen führen zu können, muß an dieser Stelle auf die Bildungsweise des Tones etwas näher eingegangen werden.

Ton ist ein Zersetzungs- oder Verwitterungsprodukt feldspathaltiger Gesteine. Das Muttergestein, der Feldspat, ist ein Doppelsilicat von der Formel $Al_4Si_9O_{24} + K_4Si_3O_8$. Das Feldspatmolekül besteht somit aus:

64,86	Proz.	SiO ₂
18,29	,,	Al ₂ O ₃
16,85	,,	K ₂ O

Durch postvulkanische Prozesse, Einwirkung von Kohlensäure und Wasser geht die Zersetzung des Feldspatmoleküls in der Weise vor sich, daß die Doppelverbindung aufgehoben wird und sich einfache Silicate bilden.



Das saure Kaliumsilicat wird dann weiter in normales Kaliumsilicat ($K_2Si_2O_3$) und freie Kieselsäure (SiO_2) zersetzt.

Hinzu kommt, daß die in den Mineraltrümmern aufgeschlossene Kieselsäure in äußerst feiner Form auftritt und beim nachherigen Brennen der Steine in den amorphen Zustand übergeht, in welchem die Kieselsäure nicht nur für Alkali, sondern auch für Eisen, Kalk und Magnesia besonders leicht zugänglich ist und leicht flüssige Produkte bildet.

Die reine Tonsubstanz besteht im gebrannten Zustande aus 46,2 Proz. Tonerde und 53,8 Proz. SiO₂. Diese reine Tonsubstanz ist fast unschmelzbar. Ein für die Herstellung von feuerfesten Steinen verwendeter Ton wird also um so feuerbeständiger sein, je mehr es sich dieser Zusammensetzung nähert bzw. je weniger er von den akzessorischen alkalihaltigen Flußmitteln enthält.

Ein niedrigerer Flußmittelgehalt deutet selbstverständlich auf entsprechend hohen Schmelzpunkt des Steines hin. Man darf jedoch mit der Forderung auf Herabsetzung des Flußmittelgehaltes nicht zu weit gehen, da mit sinkendem Gehalt an Flußmitteln auch die mechanische Festigkeit des Steines abnimmt, sobald der Flußmittelgehalt eine gewisse Grenze unterschritten hat.

Bei quarzhaltigen Erzeugnissen hat die chemische Analyse noch weniger Zweck, als bei Schamottefabrikaten. Der Kalkgehalt beträgt hier normalerweise 1 bis 2 Proz., Tonerde + Eisenoxyd etwa 2 bis 3 Proz.; ein höherer Gehalt an Kalk, Tonerde und Eisenoxyd setzt den Schmelz- bzw. Erweichungspunkt des Silikasteines herab. Trotzdem ist auch hier die chemische Analyse nicht zu umgehen. Ergibt die Analyse z. B. zu wenig SiO_2 oder zu viel Fe_2O_3 usw., so kann man zuweilen schon daraus ersehen, daß es sich nicht um einen Silikastein handelt und unter Umständen weitere Bestimmungen ersparen.

Die Art der chemischen Prüfung der Steine ist besonders bei Vergleichsanalysen von Wichtigkeit. Wie verschieden die Analysenresultate ausfallen, wenn ein und dasselbe Material nach verschiedenen Prüfungsverfahren und an verschiedenen Stellen untersucht wird, zeigt folgendes Beispiel aus der Praxis:

	Stelle I Aufschluß nach Lawrence Smith	Stelle II Methode un- bekannt	Stelle III Aufschluß mit HF.
SiO_2	78,93	79,74	77,38
Fe_2O_3	1,49	1,41	2,12
Al_2O_3	16,85	17,06	17,10
CaO	0,50	0,35	0,48
MgO	0,44	0,05	0,35
K_2O }	1,91	1,20	2,52
Na_2O }			
Glühverlust	0,31	0,28	0,36

Die drei Analysen eines und desselben Steines zeigen beträchtliche Unterschiede im Alkaligehalt an. Da aus dem Alkaligehalt als solchem oder vielmehr aus dem Verhältnis der Alkalien zu dem Tonerdegehalt auf die Güte der Schamottesteine u. U. Schlüsse gezogen werden können, so muß man entweder immer eine und dieselbe Untersuchungsmethode anwenden oder bei Anwendung verschiedener Methoden stets angeben, nach welcher Methode die chemische Untersuchung erfolgte.

3. Mechanische Festigkeit.

Die mechanische Festigkeit der Steine findet ihren Ausdruck hauptsächlich in der Druckfestigkeit derselben. Die Prüfung feuerfester Steine auf Druckfestigkeit¹ im kalten Zustande ist alt und wird analog der Prüfung gebrannter Ziegel durchgeführt:

- a) an Körpern, bestehend aus zwei mit den Flachseiten durch Portlandzement aufeinander gemauerten ganzen Steinen, deren Druckflächen mit Portlandzement geebnet wurden,
- b) an einzelnen hochkant gestellten Steinen, deren Druckflächen eben geschliffen wurden.

In jeder Versuchsreihe kommen je 10 bis 20 Körper zur Prüfung. Die Ergebnisse zahlreicher Druckversuche hat *F. W. Lürmann* veröffentlicht²

¹ *Gary*, Feuerungstechnik 2. Jg., S. 178 u. 199.

² *Stahl und Eisen* 1901, S. 785.

und Gary hat diese Zahlen weiter verarbeitet¹. Die Festigkeitsziffern bieten ein gutes Material zur Beurteilung der Zuverlässigkeit dieser Art Prüfungen, der Gleichmäßigkeit der Schamottesteine untereinander und der Möglichkeiten der Abweichungen, die bei Prüfungen verschiedener Art an den Eigenschaften gleichartigen Materials beobachtet werden können.

Man hat erkannt, daß die Festigkeit nicht proportional dem Raumgewicht ist. Z. B. haben Steine mit dem höchsten Raumgewicht 2,0 an mittleren Druckfestigkeiten ergeben:

nach Verfahren a 374 331 141 — kg/qcm
 nach Verfahren b 290 212 209 243 kg/qcm ,

also keineswegs übereinstimmend die höchsten Festigkeiten, was bei der Verschiedenheit der Zusammensetzung der feuerfesten Steine nicht überraschen kann.

Zur Beurteilung der Zuverlässigkeit der Prüfungsverfahren *a* und *b* (vgl. die Beschriftung der Fig. 10) ist es zweckmäßig, Zahl und Größe der Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwerte für beide Verfahren miteinander zu vergleichen. Zu diesem Zwecke sind eine große Zahl Einzelversuche (nach dem Verfahren *a* 755, nach *b* 880) in 10 Gruppen derart eingeteilt worden, daß alle Werte in einer Gruppe vereinigt wurden, die 5, 10, 15 usw. Prozent nach oben oder unten vom Mittelwert abweichen.

Aus Fig. 10 ist klar ersichtlich, daß das Verfahren *a* die größere Zuverlässigkeit beansprucht, daß also die Prüfung feuerfester Steine zweckmäßig in ähnlicher Weise erfolgt, wie man auch gewöhnliche Ziegel prüft, und wie die Steine im Mauerwerk liegen, flach aufeinandergemauert, falls man nicht besondere würfelförmige oder zylindrische Körper für die Prüfung herstellen will.

Die Gleichmäßigkeit der Druckfestigkeit der Schamottesteine läßt viel zu wünschen übrig. Die gleichzeitige Prüfung einer möglichst großen Zahl Steine einer Lieferung ist deshalb notwendig, wenn man zu einwandfreien, vergleichbaren Mittelwerten gelangen will.

Wenn auch die mechanische Festigkeit der feuerfesten Steine nicht immer von ausschlaggebender Bedeutung ist, so spielt sie doch in vielen Fällen eine ganz wesentliche Rolle. So verlangen die oberen Teile des Hochofenschachtes große Festigkeit der Steine, um der abreibenden Wirkung der hinuntergehenden Gichten ausreichend widerstehen zu können, ebenso lassen sich zu den Seitenwänden der Koksöfen nur recht feste, scharfgebrannte Steine anwenden, denn lockere Steine würden beim Herausdrücken des Koks bald abbröckeln und der Zerstörung unterliegen. Es gehört dahin auch die äußere Glättung

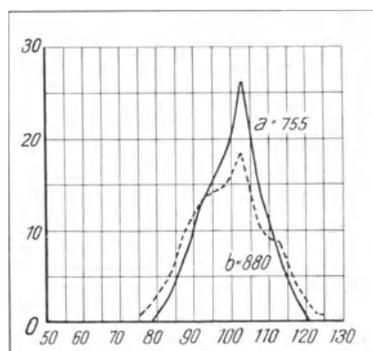


Fig. 10. Häufigkeit der Abweichungen vom Mittelwert bei der Prüfung feuerfester Steine. a) 2 Steine flach aufeinander gemauert. b) 1 Stein hochkant gestellt.

¹ Mitteilungen des Königl. Materialprüfungsamtes 1910, S. 24ff.

der Steine. Eine glatte, rissefreie, scharfkantige Form trägt zur Erhöhung der Güte der feuerfesten Steine bei.

Mit steigendem Flußmittelgehalt nimmt auch die Druckfestigkeit der Steine zu, so daß in dieser Hinsicht Flußmittel, soweit sie auf die Schwermelzbarkeit bzw. auf Erweichung der Steine unter Druck bei hoher Hitze nicht von besonderem Einfluß sind, höchst willkommen erscheinen.

Die Bestimmung der Druckfestigkeit der Steine in kaltem Zustande hat inzwischen an Bedeutung eingebüßt, und zwar seit man festgestellt hat, daß diese in keiner Beziehung zur Festigkeit bei höheren Temperaturen steht, worauf es eigentlich in der Industrie ankommt, und seit man weiß, daß der Druck, dem die Materialien während des Gebrauches ausgesetzt sind, erheblich niedriger ist, als man früher vielfach annahm. Bei Cowpersteinen beträgt dieser Druck in der Praxis nach *Canaris* in der untersten Lage nicht über 10 kg/qcm (*Lürmann* soll allerdings auch Belastungen für Raststeine im Cowperapparat bis zu 30 bis 33 kg/qcm festgestellt haben); im Martinofen beträgt der Druck nicht über 2 kg/qcm, im Koksofen ebenfalls nur 2 bis 3 kg/qcm. Die selbst von den in dieser Beziehung niedrig stehenden Fabrikaten erreichten Festigkeiten übertreffen die praktisch vorkommenden Drucke um ein Mehrfaches. Je dichter ein Material und je höher es gebrannt ist, um so größer ist auch seine Festigkeit. Besonders hohe Druckfestigkeitswerte weisen Magnesitsteine auf, die eine Belastung von 400 bis 500 kg/qcm bei gewöhnlicher Temperatur aushalten können.

Die Druckfestigkeit scheint von der Form, Gewicht, Festigkeit, Pressung bei der Fabrikation usw. abhängig zu sein. Ferner ist es maßgebend, ob die Steine hochkantig oder flach aufeinander gemauert dem Druck ausgesetzt werden. Alle diese Umstände bewirken verschiedene Resultate. Nach *Gary* schwankt die Druckfestigkeit feuerfester Steine im kalten Zustande zwischen 67 und 400 kg/qcm.

Die Druckfestigkeit hängt ferner von der Zusammensetzung und der Korngröße der einzelnen Bestandteile, der Art der Formgebung, der Brenntemperatur und noch manchen anderen Faktoren ab, so daß sich zahlenmäßige Zusammenhänge nicht angeben lassen. Eine bestimmte Norm über den Einfluß der Herstellungsart auf die Druckfestigkeit von Schamottesteinen läßt sich ebenfalls nicht feststellen, wenigstens ist es *Hahn* nicht gelungen (Berichte üb. d. 34. ord. Vers. d. Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Prod. S. 85).

Die Wirkung des wiederholten Brennens auf die Druckfestigkeit des Silicasteines zeigen folgende Ergebnisse der Untersuchungen von *K. Seaver*.

Tabelle 5. Die Wirkung des wiederholten Brennens auf die Druckfestigkeit der Silikasteine.

Anzahl der Brände	Breite des Steines in Zoll	Höhe in Zoll	Belastung in Pfund	Länge zwischen den Stützen in Zoll	Druckfestigkeit pro Quadrat-zoll
1	2,46	4,40	3,550	6	671
1	2,42	4,40	3,000	6	576
2	2,50	4,50	4,140	6	730
2	2,50	4,50	5,000	6	889
3	2,06	4,50	4,500	6	971
3	1,96	4,50	4,550	6	1,031

Fortsetzung der Tabelle 5.

Zahl des Brennens	Steinabmessungen Zoll	Flächen- inhalt in Quadratzoll	Belastung in Pfund	Druckfestigkeit pro Quadrat- zoll	Durchschnitt
1	9,00 × 4,40 × 1,96	39,60	176,800	4,465	—
1	9,04 × 4,44 × 2,04	40,14	167,000	4,161	4,313
2	9,10 × 4,46 × 2,02	40,58	186,500	4,596	—
2	9,10 × 4,40 × 2,06	40,04	168,000	4,196	4,396
3	9,06 × 4,42 + 2,00	40,04	195,000	4,870	—
3	9,12 × 4,46 × 2,06	40,68	168,000	4,130	4,500

Es folgt hieraus, daß mit jedem weiteren Brand die Druckfestigkeit der Silicasteine zunimmt.

4. Verhalten unter Belastung in der Hitze.

Von dem Kegelschmelzpunkt ist scharf die Erweichungstemperatur zu unterscheiden, weil diese besonders bei Schamottesteinen stets unter dem Kegelschmelzpunkt liegt. Die Schamottesteine enthalten eine Reihe von Silicaten mit niedrigem Schmelzpunkt, diese schmelzen und sättigen sich aus ihrer Umgebung mit Tonerdesilicat zu Verbindungen mit ständig steigendem Schmelzpunkt, und zwar setzt sich dies fort, bis die Temperatur den Schmelzpunkt der zuletzt möglichen Verbindung erreicht, so daß eine durchgehende Erweichung des Steines eintritt. Wird nun auf den Stein während der Temperatursteigerung ein Druck ausgeübt, so tritt ein stärkeres oder geringeres Erweichen und, damit verbunden, eine Formveränderung schon sehr viel früher ein, als dies ohne Belastung der Fall gewesen wäre. Eine Ausnahme hiervon machen die Silicasteine, die auch unter hohem Druck fast bis zum Schmelzpunkt unverändert bleiben. Der Begriff der Erweichung ist nicht scharf definierbar, weil außer der Temperaturhöhe und der Belastungseinwirkung auch die Dauer der Temperatureinwirkung von ausschlaggebender Bedeutung ist. Man kann jedoch aus den Erweichungserscheinungen (Standfestigkeit bei hohen Temperaturen unter Belastung) schon viel bessere Anhaltspunkte für die Beurteilung des Steines entnehmen.

Es gibt hierzu verschiedene Wege. Man kann den Einfluß der Erhitzungsdauer bei gleichen Steinen beobachten; man kann auch das Verhalten verschiedener Steine bei gleicher Erhitzungsdauer verfolgen; ferner kann man für verschiedene Temperaturen die schädliche Belastungsgrenze mit und ohne Abhängigkeit von der Zeitwirkung ermitteln; endlich kann man den Beginn der Steindeformation unter Einhalten einer gleichen Temperatursteigerung bei verschiedenen Steinen (verschiedene Rohstoffe, Arten, Bindemittel, Herstellungsarten usw.) vergleichen. Verschiedene Forscher haben auch verschiedene Wege eingeschlagen. Für die Praxis wird wohl das meiste Interesse der Erweichungsbeginn beanspruchen, weil meistens mit dem Beginn der Steindeformation im Betriebe Unannehmlichkeiten in Erscheinung treten. Die bisherige Prüfungsweise (Vergleich mit Segerkegeln ohne gleichzeitige Be-

lastung) hat in dieser Hinsicht keine Anhaltspunkte zu schaffen vermocht, weil, wie es hinreichend bekannt ist, bei vielen Steinen, die bei hohem Segerkegel „stehen“, die Erweichungserscheinungen bei bedeutend niedrigeren Temperaturen auftreten, während bei anderen Steinen die Differenz zwischen Erweichungs- und Schmelztemperaturen nur wenige Grade beträgt. Die chemische Analyse, die bei sachgemäßer Anwendung zuweilen ein gutes Hilfsmittel zur Beurteilung von Steinen mit tonigen Bindemitteln darstellt, versagt beim Vergleich der Schamottesteine mit anderen Steinsorten, wie Dinas, Silika, Magnesit usw. Die direkte Prüfung der Steine auf ihr Verhalten bei hohen Temperaturen unter gleichzeitiger Druckeinwirkung stellt einen großen Schritt vorwärts dar. Sie gibt wenigstens die Möglichkeit, Vergleichswerte zu schaffen. Die Methode muß jedoch weiter ausgebaut werden. Vor allem wäre es sehr erwünscht, daß irgendein Ausschuß sich mit dieser Frage, besonders in bezug auf das Prüffensystem, Dauer der Erhitzung, Größe der Prüfzylinder, ihre Herstellungsart, Höhe der Belastung usw. befaßt und irgendwelche Normen, wenn auch vorläufige (wie es z. B. der Verein deutscher Ingenieure für Messungen an Ventilatoren, für Versuche an Gaserzeugern usw. machte oder in neuerer Zeit Amerikaner und Engländer in zahlreichen Vereinsausschüssen und staatlichen Instituten für feuerfeste Stoffe durchführen) feststellt. Dies ist um so wünschenswerter, als die wenigen bisher bekannt gewordenen Arbeiten auf dem Gebiete der Druckeinwirkung auf hoch erhitzte Steine von verschiedenen Forschern unter verschiedenen Gesichtspunkten ausgeführt wurden und daher wenig vergleichbar sind.

Endell berichtet darüber folgendes¹: „Die ursprünglich von *A. N. Bleininger* ausgearbeitete Hebelpresse habe ich (in Nordamerika) überall in den Instituten und bei den feuerfesten Fabriken gefunden, da bereits drüben seit 10 Jahren feuerfeste Steine in dieser Weise unter Belastung bei hohen Temperaturen geprüft werden und nicht mehr eine Bewertung nach Segerkegeln stattfindet, die in vielen Fällen von fragwürdiger Bedeutung ist.“

Bleininger und *Brown*² haben Steine, die im gasbeheizten Versuchsofen hochkant standen, bei 5 kg/qcm und 1300° C (Segerkegel 9) geprüft. Nach den Ergebnissen der Versuche zu urteilen, scheint ein Zusammenhang zwischen der gemeinhin als Druckfestigkeit bezeichneten Widerstandsfähigkeit feuerfester Steine (also im kalten Zustande) und der Fähigkeit, Belastung bei hoher Temperatur zu ertragen, kaum zu bestehen. Dagegen scheint diese Fähigkeit einigermaßen vom Gesamtflußmittelgehalt abhängig zu sein, der eine gewisse Grenze nicht überschreiten darf, wenn er das Verhalten des Steines unter den angeführten Umständen nicht ungünstig beeinflussen soll. — Bei einer weiteren Reihe von Versuchen wurde der Druck auf 3,5 kg/qcm vermindert, dagegen

¹ *Endell*, Über die Bedeutung der wissenschaftlichen Forschung für die Entwicklung der keramischen Industrie in Nordamerika. Vortrag, gehalten auf der 3. Hauptversammlung der Deutschen Keramischen Gesellschaft am 19. Juni 1922. Berichte d. Deutsch. Keram. Gesellsch. Bd. 3 (1922), Heft 4. (Sonderabdruck.)

² *Transact. of the American Ceramic Society* 1911, Bd. XIII; *Stahl u. Eisen* 1912, S. 26 u. 1503.

die Temperatur auf 1350° gesteigert. Die Ergebnisse dieser Versuche sind im wesentlichen dieselben wie die der früheren; einzelne Steine, die bei 1300° C und $5,3$ kg/qcm Belastung nur sehr stark zusammengedrückt waren, wurden bei 1350° C und $3,5$ kg/qcm Belastung zerstört; nur ein Stein hatte die neue Probe besser bestanden als die frühere. Wie aus den früheren Versuchen, so geht auch aus dieser weiteren Versuchsreihe klar hervor, daß eine Beziehung zwischen der Druckfestigkeit bei Außentemperatur und der Fähigkeit der Steine, bei hoher Temperatur Druck zu ertragen, nicht besteht, da bei dem Versuche teilweise schon $\frac{1}{100}$ und weniger des Drucks, dem sie kalt gepreßt widerstanden, genügte, um sie zu zerstören. Es ist noch ferner zu bemerken, daß eine Belastung von $8,8$ kg/qcm bei 1300° C fast jeden von den bei diesen Versuchen geprüften Steinen zerstörte.

Der Druck, welchem die Steine in dem industriellen Ofen ausgesetzt sind, hängt sowohl von dem Ofensystem, als auch von der Lage des Steines im Ofen

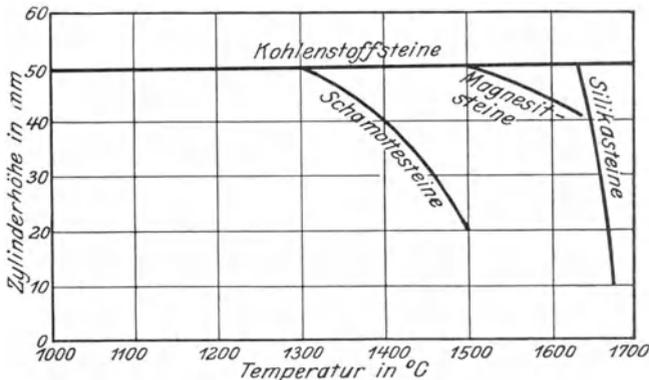


Fig. 11. Verhalten von Steinen unter Belastung in der Hitze (nach K. Endell).

ab. Die unteren Steine eines 30 m hohen Cowper- (Winderhitzer-) Apparates sind rund mit 10 kg/qcm belastet; allerdings herrschen hier keine besonders hohe Temperaturen. In der oberen Partie der Winderhitzer, wo die Temperaturen bedeutend höher sind, ist jedoch der Druck, dem die Steine ausgesetzt sind, bedeutend niedriger. In Koks- und Leuchtgas erzeugungsöfen rechnet man mit ca. 2 bis 3 kg Belastung pro Quadratcentimeter.

Endell benutzte eine Versuchseinrichtung, die in Stahl und Eisen 1920, Heft 1, beschrieben ist. Im wesentlichen ist es eine ähnliche Einrichtung, die die Amerikaner *Bleininger* und *Brown*¹ bereits vor 10 Jahren benutzt hatten. Für den Druckstempel verwendet Endell besonders harte Elektrodenkohle der Planiwerke. Als Versuchsgegenstände galten Steinzyylinder von 50 mm Durchmesser und 50 mm Höhe (Druckfläche = 20 qcm), die mittels Diamantbohrer aus einzelnen Steinen (Schamotte-, Magnesit-, Silika- und Kohlenstoffsteine) herausgeschnitten wurden und an beiden Flächen glatt geschliffen wurden. Als Ofen

¹ Transact. of the American Ceramic Society Bd. XIII, S. 220; Tonind.-Ztg. 1912, S. 815.

Tabelle

Untersuchungen über feuerfestes Material in der Hitze unter

Marke	Probe Nr.	Die Dimension des Probestückes vor der Probe						Analyse.					
		Höhe mm	Durchmesser mm	Vol. ccm	Abs.-Gewicht g	Scheinb. spez. Gewicht	Abstand zwischen den Belä-ritzen	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O
I	1	79,0	97,0	585	1020	1,75	63,0	13,77	83,89	0,13	0,79	0,18	1,24
	2	79,0	98,0	590	1030	1,75	62,0						
	3	82,5	98,0	625	1080	1,75	67,0						
	4	78,0	99,0	600	1060	1,75	61,0						
	5	80,5	98,0	610	1065	1,75	65,5						
	6	81,5	99,5	635	1085	1,70	65,0						
	7	82,5	95,5	590	1020	1,72	67,0						
	8	82,0	99,0	630	1090	1,75	66,5						
II	1	83,5	98,0	600	1180	1,95	60,0	17	81	—	2	—	—
	2	86,0	95,0	595	1120	1,90	—						
	3	80,5	97,0	595	1080	1,80	59,0						
	4	76,0	97,5	565	985	1,75	55,0						
	5	70,5	96,5	515	890	1,75	52,0						
	6	82,0	96,0	595	1030	1,75	68,0						
	7	81,7	95,0	580	1000	1,75	67,0						
III	1	107,0	97,0	790	1480	1,90	85,5	39,91	56,26	0,34	1,47	0,31	1,71
	2	92,0	97,5	685	1175	1,72	75,3						
IV	1	99,5	100,0	780	1380	1,74	85,5	39,91	56,26	0,34	1,47	0,31	1,71
	2	108,0	99,0	830	1490	1,75	92,2						
	3	108,0	99,0	830	1490	1,80	92,2						
V	1	64,0	97,5	480	980	2,05	49,1	39,91	56,26	0,34	1,47	0,31	1,71
	2	64,0	97,5	480	980	2,05	49,1						
	3	64,0	97,5	480	980	2,05	49,1						
	4	64,0	97,5	480	980	2,05	48,7						
	5	64,0	97,5	480	980	2,05	47,6						
VI	1	64,0	97,0	470	885	1,9	49,5	39,91	56,26	0,34	1,47	0,31	1,71
	2	64,0	97,0	470	885	1,9	49,0						
	3	64,0	97,0	470	885	1,9	49,0						
	4	64,0	97,0	470	885	1,9	49,0						
VII	1	80,0	91,0	520	949	1,82	63,0	39,91	56,26	0,34	1,47	0,31	1,71
	2	80,0	91,0	520	915	1,76	61,8						
	3	81,0	95,0	575	1017	1,77	63,5						
	4	81,0	94,5	568	1005	1,77	65,0						

diente der große Tamannofen (Kurzschlußofen mit etwa 10 kW) des Eisenhüttenmännischen Laboratoriums der Technischen Hochschule Charlottenburg mit einer lichten Weite von 120 mm; die Temperatur wurde mit dem optischen Pyrometer nach *Holborn-Kurlbaum* gemessen. Die Versuche wurden mit verschiedener Belastung durchgeführt; innerhalb einer Belastungsänderung von 0,5 bis 2 kg/qcm zeigten sich nur geringe Unterschiede; andere Wirkungen

6.

Belastung ausgeführt beim Värtagaswerk (Stockholm) im Jahre 1915.

Erhitzungs- Zeit Stunden	Höchste Temp.		Die Dimensionen des Probestückes nach Abkühlung		Die Zusam- men- drück- ung des Prob- stückes Proz.	Die Durch- messer- zu- nahme des Prob- stückes Proz.	Schmelz- punkt ohne Belastung
	Segerkegel	Stunden	Abstand zwischen den Reiß- ritzen	Durch- messer der halben Höhe			
3 St. 50 Min.	16 bis 17	0 St. 40 Min.	56,7	101,5	9,9	4,6	1670°
3 „ 20 „	14	0 „ 50 „	60,0	99,0	3,2	1,0	
4 „ 00 „	14	1 „ 00 „	63,5	100,0	3,75	2,0	
5 „ 30 „	13	1 „ 40 „	60,0	99,0	1,7	—	
7 „ 00 „	13	4 „ 00 „	65,5	99,5	4,6	1,5	
8 „ 10 „	13	5 „ 10 „	62,5	100,0	3,85	0,5	
6 „ 20 „	13	3 „ 20 „	65,3	96,2	2,5	0,75	
27 „ 00 „	über 12	7 „ 00 „	64,2	99,5	3,5	0,5	1650°
3 „ 30 „	über 14	0 „ 20 „	59,0	98,5	1,7	0,5	
4 „ 20 „	15	0 „ 30 „	—	96,0	2,3	1,1	
4 „ 30 „	16	0 „ 30 „	55,0	102,0	6,8	5,15	
4 „ 10 „	16	0 „ 30 „	52,5	100,0	5,4	2,6	
3 „ 50 „	16	0 „ 40 „	46,0	101,0	11,5	4,7	
7 „ 00 „	über 15	3 „ 00 „	66,0	96,7	2,9	0,7	
7 „ 00 „	über 14	2 „ 30 „	65,2	95,2	2,7	0,2	1830°
7 „ 00 „	13	3 „ 00 „	82,5	98,5	3,5	1,5	
7 „ 00 „	unter 11	2 „ 00 „	72,5	98,0	3,6	0,5	
7 „ 00 „	unter 15	2 „ 30 „	81,5	100,5	4,7	0,5	1730°
7 „ 00 „	über 12	4 „ 00 „	92,2	99,0	—	—	
6 „ 20 „	über 8	2 „ 00 „	92,2	99,0	—	—	
6 „ 30 „	über 12	3 „ 00 „	49,1	97,5	—	—	1730°
7 „ 00 „	13	3 „ 00 „	49,1	97,5	—	—	
7 „ 10 „	über 13	4 „ 00 „	48,1	97,5	2,0	—	
7 „ 30 „	15	3 „ 30 „	47,6	97,5	2,2	—	
6 „ 30 „	14	3 „ 00 „	47,6	97,5	—	—	
6 „ 30 „	12	3 „ 30 „	48,8	97,0	1,5	—	1680°
6 „ 30 „	11	3 „ 30 „	49,0	97,0	—	—	
6 „ 30 „	über 12	3 „ 30 „	49,0	97,0	—	—	
7 „ 10 „	unter 13	3 „ 30 „	48,5	97,0	1,0	—	
5 „ 20 „	13	2 „ 30 „	60,5	93,0	4,0	2,2	
5 „ 50 „	über 11	2 „ 00 „	61,5	91,0	0,4	—	
6 „ 20 „	über 13	3 „ 00 „	63,0	95,0	0,8	—	
6 „ 20 „	über 13	2 „ 00 „	64,0	95,0	1,55	0,5	

wurden erst bei Belastungen von 4 kg/qcm und mehr erzielt. Solche Belastungen werden wohl kaum, mit Ausnahme der Winderhitzer, in der Praxis vorkommen; ein Druck von 1 bis 3 kg/qcm wird wohl den praktischen Verhältnissen am meisten entsprechen, und läßt sich derselbe aus der Höhe und Stärke des Mauerwerkes (unter Berücksichtigung der zeitlichen Zusatzbelastung der Beschickungs- und Transportvorrichtungen) für jede einzelne Steinschicht

Tabelle 7.
Verhalten von Steinen unter Belastung bei hohen Temperaturen.

	I. Versuch	II. Versuch	III. Versuch	IV. Versuch	V. Versuch	VI. Versuch	VII. Versuch
Belastung	2,5 kg	2,5 kg	2,5 kg	3,5 kg	3,5 kg	2,5 kg	2,5 kg
Höhe vor dem Versuch	101,4 mm	101,3 mm	101,6 mm	102,9 mm	102,5 mm	100,2 mm	101,6 mm
„ nach dem Versuch	97,5 „	100,5 „	97,2 „	97,2 „	97,2 „	94,2 „	92,6 „
Durchm. vor dem Versuch	80,3 „	80,3 „	80,3 „	80,5 „	80,7 „	80,9 „	81,6 „
„ nach dem Versuch	82,5 „	81,7 „	82,4 „	83,4 „	83,4 „	83,7 „	84,8 „
Zusammendrückung	3,9 Proz.	0,8 Proz.	3,4 Proz.	5,7 Proz.	5,3 Proz.	6,0 Proz.	9,0 Proz.
Diametrale Vergrößerung	1,8 „	1,4 „	2,1 „	2,9 „	2,7 „	2,7 „	2,8 Proz.
Erweichungsbeginn	1310° C	1230° C	1340° C	1300° C	1360° C	1290° C	1290° C
Höchsttemperatur	1370° C	1280° C	1400° C	1490° C	1450° C	1400° C	1380° C

	Chemische Zusammensetzung.	
SiO ₂ =	84,97 Proz.	85,52 Proz.
Al ₂ O ₃ =	13,74 „	13,24 „
Fe ₂ O ₃ =	0,42 „	0,78 „
CaO =	0,27 • „	0,15 „
MgO =	0,09 „	0,09 „
K ₂ O =	0,51 „	0,62 „
	Proz.	Proz.
	Nicht bestimmt	Nicht bestimmt
	86,54 Proz.	85,52 Proz.
	11,69 „	12,79 „
	0,75 „	0,71 „
	0,22 „	0,04 „
	0,10 „	0,22 „
	0,70 „	0,72 „

leicht ermitteln. In der Fig. 11 sind die von *Erdell* bei einer durchschnittlichen Belastungsdauer von 4 bis 5 Stunden erhaltenen Versuchsergebnisse graphisch zusammengetragen.

Wie die Fig. 11 zeigt, erweichen die Schamottesteine infolge ihres hohen Gehaltes an Bindeton am frühesten. Die Magnesitsteine halten sich besser, beginnen jedoch ebenfalls infolge des verhältnismäßig hohen Gehaltes an Bindemitteln (85 Proz. MgO und 15 Proz. SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO) schon früher zu erweichen als Silikasteine, sind aber relativ standfester als die letzteren. Die Kohlenstoffsteine zeigen dagegen keinerlei Veränderung; eine geringe Volumenveränderung tritt bei diesen Steinen nur durch Verbrennen von Kohle und Verdampfen des Bindetons ein.

Das Värtagaswerk in Stockholm befaßt sich schon vor langer Zeit mit dem Studium über das Verhalten feuerfester Steine unter Belastung bei hohen Temperaturen. Einige Resultate dieser Untersuchungen sind in der Tabelle 6 wiedergegeben.

Verfasser hat im Jahre 1916 Erweichungs-

versuche mit halbsaurem rheinischem Steinmaterial (rund 85 Proz. SiO_2 und 12–13 Proz. Al_2O_3) im (modifizierten und mit Belastungseinrichtung versehenen) elektrischen Ofen, wie derselbe auf S. 196–202 beschrieben ist, ausgeführt. Die Resultate der Versuche mit gleichwertigem Material und gleichen Versuchsbedingungen (Druckfläche 50 qcm, Höhe des Probekörpers ca. 100 mm, sein Durchmesser ca. 80 mm, Dauer jedes Versuches 9 bis 10 Stunden, gleichmäßiger Temperaturanstieg usw.) sind in der nebenstehenden Tabelle 7 wiedergegeben.

Man ersieht aus der Tabelle 7, daß eine Erhöhung der Belastung von 2,5 auf 3,5 kg/qcm ohne wesentlichen Einfluß auf das Verhalten der Steine ist, was auch spätere Versuche von *Le Chatelier* und *Bogitch* bestätigen. In ihrem Berichte an die Pariser Akademie der Wissenschaften vom 14. Mai 1917 behaupten die Forscher, daß zum Erzielen gleicher Zusammendrückung der Probekörper, wie bei einer Belastung von 10 kg eine Temperaturerhöhung bei 1 kg Belastung benötigt wurde, die nur 5 Proz. mehr gegenüber den Temperaturen bei stärkeren Belastungen betrug. Demgegenüber möge hier betont werden, daß ein Schamottestein, der bei Belastung von 1 kg/qcm

ein Erweichungsintervall von 1270–1360° C zeigte, bei einer Belastung von 3 kg/qcm ein Erweichungsintervall von 1150–1300° aufwies. Bei oxydischen (Silika-, Magnesit-) Steinen scheint die Erhöhung der Belastung nicht von solcher Bedeutung zu sein. Ein belgischer Stein mit 16 Proz. Al_2O_3 , 3 Proz. $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}$ und 81 Proz. SiO_2 ,

S. K. 30, Porosität 15 Proz. zeigte bei 2 kg/qcm und 1260° C eine geringere Zusammendrückung, die bei gleichbleibender Temperatur nach wenigen Minuten beendet war; ein weiteres Zusammendrücken trat erst bei der Belastung auf 1300° C ein.

Die sämtlichen bei solchen Versuchen aufgenommenen Erweichungskurven zeigen zuerst einen allmählichen Anstieg, der durch die Wärmeausdehnung des Materials hervorgerufen wird; dann kommt ein Moment, in dem die Kurve nicht mehr ansteigt, nämlich, sobald infolge eintretender Erweichung das Material genau in demselben Maße zusammengedrückt wird, wie es sich durch die Wärmeausdehnung vergrößert. Bei weiterer Steigerung der Temperatur übertrifft dann schließlich der Grad des Zusammendrückens die Wärmeausdehnung und die Kurve neigt sich nach unten. Wichtig ist nun vor allem der Umkehrpunkt der Kurve, in welchem die Erweichung bei der angewandten Belastung beginnt; dieser Punkt ist in der Tabelle 7 als Erweichungsbeginn bezeichnet.

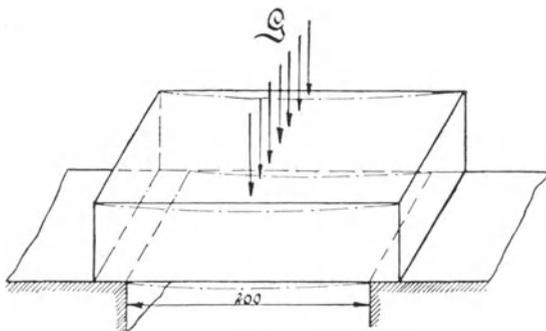


Fig. 12. Biegungsversuche mit Steinen bei 1400° C.

*Hartmann*¹ wendet zum Studium der Druckeinwirkung auf feuerfeste Steine bei hohen Temperaturen ein anderes Verfahren an. Er hat bei 1400° C das Biegemoment verschiedener Steine festgestellt. Die Versuche wurden nach Fig. 12 mit Normalsteinen vorgenommen, welche bei einer doppelseitigen Auflagerung von je 2,5 mm eine freie Druckfläche von 200 mm boten und mit 16 kg belastet wurden. Die von *Hartmann* erhaltenen Resultate sind in Tabelle 8 wiedergegeben.

Tabelle 8.
Biegungsversuche mit verschiedenen Steinen bei hohen
Hitzeegraden.

Nr.	Analyse						Schmelzpunkt	Durchbiegung	Bemerkungen
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alk.			
1	54,52	42,80	2,10	0,18	0,05	0,35	ca. 35 SK.	8 mm	ohne Risse
2	53,10	43,40	2,60	0,12	0,20	0,60	ca. 35 SK.	14,7 „	kleine Risse
3	57,40	39,60	2,20	0,17	0,16	0,48	ca. 34 SK.	7,6 „	ohne Risse
4	63,30	33,60	2,15	0,25	0,10	0,70	33—34 SK.	6,5 „	ohne Risse
5	62,15	34,30	2,40	0,18	0,15	0,85	ca. 33 SK.	8,9 „	stärkerer Einriß
6	59,50	35,90	3,20	0,42	0,34	0,70	ca. 33 SK.	5,5 „	ohne Risse
7	64,00	31,40	3,75	0,30	0,15	0,50	ca. 32 SK.	3 „	ohne Risse
8	67,20	28,50	3,30	0,10	0,25	0,60	31—32 SK.	2,2 „	ohne Risse
9	73,30	22,50	2,90	0,30	0,15	0,85	ca. 31 SK.	1,8 „	ohne Risse
10	72,80	22,30	3,30	0,65	0,35	0,60	30—31 SK.	7,7 „	stärkerer Einriß
11	76,50	19,60	1,70	0,68	0,40	1,10	ca. 30 SK.	2,5 „	ohne Risse
12	75,50	20,50	2,80	0,20	0,10	0,90	29—30 SK.	10 „	zwei Einrisse
13	78,80	16,00	3,50	0,30	0,10	1,30	27—28 SK.	durch- gebrochen	
14	95,30	1,40	1,70	1,30	0,05	0,20	34—35 SK.	keine Durch- biegung	ohne Risse
15	96,00	0,80	1,40	1,60	0,10	0,10	ca. 35 SK.	1,2 mm	ohne Risse

Geller führte im amerikanischen Bureau of Standards (Normenamt) Standfestigkeitsversuche² auf zweierlei Weise aus. Einmal wurden die Steine hochkant in einem Gasofen 72 Stunden lang auf 1450° C erhitzt; zum anderen wurden sie flach auf Stützen gelegt (freitragend über einen Spannraum von 17,5 cm), in der Mitte mit einem 2,25 kg wiegenden Stein belastet und ebenfalls 72 Stunden lang auf 1450° C erhitzt. Die Ergebnisse beider Versuchsverfahren stimmen im allgemeinen überein. Ziegel mit starker Durchbiegung bei der flachen Prüfweise schwinden stark in der Hochkantstellung oder umgekehrt. Abweichende Ergebnisse wurden nur bei Steinen mit sehr hohem Gehalt an freiem Quarz beobachtet. Eine Beziehung zwischen der Herstellungsweise der Steine und ihrem Verhalten bei diesen Versuchen konnte nicht gefunden werden. Ferner standen die Ergebnisse des Belastungsversuches in keiner bestimmten Beziehung zu den Ergebnissen anderer Versuche (Raumbeständigkeit, Porosität, Abschreckung). Die durchgebogenen Steine nähern sich verhältnismäßig schnell dem Sinterungspunkt und neigen

¹ Über Koksofensteine. Kattowitz. Druck von Gebr. Böhm.

² Journ. Americ. Ceram. Soc. 1923, Heft 10.

daher im Betrieb zur Deformation unter Belastung und zum Absplittern bei plötzlichem Temperaturwechsel.

Druckfestigkeitsversuche bei hohen Temperaturen sind nur dann von Wert, wenn man die Gewähr hat, daß der Probstein auch in seinem Inneren die Versuchstemperatur angenommen hat.

Mellor¹ fand, daß der Temperaturunterschied zwischen dem Inneren und Äußeren des Versuchsstückes ($3\frac{1}{2}$ " Länge und 2" Querschnitt) ca. 20° betrug, wenn die Temperatur derart steigt, daß Segerkegel 16 in etwa 4 Stunden schmilzt. Die zweckmäßige Belastung gibt er mit 25 bis 30 Pfund pro Quadratzoll an. Je höher die Steine gebrannt werden, um so besser halten sie (durch Einbuße von Viscosität) die Belastungsprobe in der Hitze aus.

Tabelle 9.
Verhalten der Steine in der Hitze unter Belastung.

Nr.	Bezeichnung des geprüften Materials	Druckfläche in qcm	Belastung in kg p. qcm	Beginn der Erweichung resp. der Zusammen-drückung liegt bei	Der Versuch wurde abgebrochen bei einer Temp. von	Lineare Zusammen-drückung in Proz.	Versuchsdauer in Stunden	Chemische Zusammensetzung des geprüften Materials					
								SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O
1	Su.	32	4	1050	1210	3,8	5	83,41	13,31	1,91	0,28	0,46	1,63
2	Su.	32	5	—	1170	6,0	5	83,41	13,31	1,91	0,28	0,46	1,63
3	Koksofenwandstein . . .	50	3,5	1290	1300	0,75	8	90,75	7,74	0,46	0,15	0,16	0,74
4	St. S.	42	4	1200	1250	1,0	11	79,89	16,01	1,13	0,20	0,51	2,26
5	Halbfeuerfest	25	4	840	950	5,5	3	70,54	12,50	10,80	0,35	1,15	4,60
6	Halbfeuerfest	45	4	810	850	3,3	4	78,36	6,80	6,45	2,44	1,24	4,71
7	N. K.	64	3	1050	1170	8,3	5	78,75	14,0	3,84	0,29	0,52	2,60
8	K. Ro.	60	3	1050	1180	10,0	3	78,75	14,0	3,84	0,29	0,52	2,60
9	DR. K.	70	3	1100	1100	keine	5	81,85	13,86	1,34	0,30	0,43	2,22
Für den Stein Nr. 3 werden angewandt				a) Ton				86,48	11,53	0,68	0,12	0,16	0,93
				b) Tonstein				95,88	3,25	0,28	Sp.	Sp.	0,59
Für den Stein Nr. 6 werden angewandt				a) Schiefer				63,83	21,69	6,65	0,61	1,17	6,05
				b) Sandstein				89,96	6,39	1,25	0,32	0,30	1,78

Den Zusammenhang zwischen der chemischen Zusammensetzung und Erhitzung unter Druck zeigen die folgenden, ebenfalls im Jahr 1916, vom Verfasser, jedoch in einem mit Gas beheizten Versuchsofen (vgl. S. 219) vornehmlich bei niederen Temperaturen ausgeführten Untersuchungen mit sogenannten halbfeuerfesten Steinen, wie dieselben für den Unterbau sowie für die Regeneratorpackung der Koksöfen Verwendung finden. Der Stein unter Nr. 3 stellt einen normalen Koksofenwandstein dar.

Der Parallelismus zwischen dem steigenden Alkali- und Flußmittelgehalt und dem Zusammendrückungsgrad der Probekörper geht deutlich aus der obigen Tabelle 9 hervor.

¹ The Gas World 1918, 8. Juni, S. 387ff.

Inzwischen ist aber eine Reihe wertvoller Arbeiten über den Zusammenhang zwischen der chemischen Zusammensetzung der Steine und ihrem Verhalten in der Hitze (höhere Temperaturen als in der Tab. 9) unter Druck erschienen.

So haben *Rengade* und *Desvignes*¹ diesen Zusammenhang in einem Ofen nach Dr. *Rosenheim* verfolgt, wobei sie nicht das Zusammendrücken des Probekörpers selbst, sondern die Tiefe des Eindruckes des zugespitzten Belastungsgraphitstempels gemessen haben. Ein hoher Tonerdegehalt scheint nach diesen Versuchen keinen Einfluß auf die Widerstandsfähigkeit der Steine bei Erhitzung unter Belastung zu haben. Einen sehr viel stärkeren Einfluß als die Tonerde üben die Alkalien aus. Probeziegel mit Spuren von Alkalien verhielten sich am besten; mit steigendem Alkaligehalt stieg auch die Eindrucktiefe der Stempelspitze.

Den Zusammenhang zwischen dem Erweichungspunkt von Gemischen aus Ton und Schamottekorn und wechselnden Zusätzen von Kieselsäure, Eisenoxyd, Tonerde, Kalk und Magnesia zu diesem Gemisch haben *Steurin*, *Carlsson* und *Kjellgren*² studiert. Als Erweichungspunkt galt dabei die Temperatur, bei welcher der vorher bei Segerkegel 14 gebrannte Probewürfel (von etwa 30 mm Mantellänge) unter 2 kg Belastung für 1 qcm in Zeit von 2 Stunden eine lineare Zusammenpressung von 0,3 Proz. aufwies. Die ausgeführten Untersuchungen zeigen den schon aus der Praxis bekannten gefährlichen Einfluß von Fe_2O_3 , CaO und MgO auf den Erweichungspunkt von Schamottesteinen. Schon kleine Mengen dieser Verunreinigungen setzen die Widerstandsfähigkeit der Steine gegen Druckbeanspruchungen bei höherer Temperatur stark herab. Mit steigendem Tonerdegehalt (von 43,0 bis 68,9 Proz. Al_2O_3 im Gemisch) steigt auch der Erweichungspunkt von Segerkegel 8 bis Segerkegel 12 bis 13; weiterer Zusatz von Tonerde (über 80 Proz. Al_2O_3 im Gemisch) erniedrigt den Erweichungspunkt des Gemisches auf Segerkegel 5 a. Eine Vermehrung des Eisenoxydgehaltes um 0,64 Proz. senkt den Erweichungspunkt um 50°, dann fällt letzterer langsamer und bleibt zwischen 6 und 12 Proz. fast konstant. Erst bei weiterer Steigerung des Eisenoxydgehaltes fällt der Erweichungspunkt schneller (1,53 Proz. Fe_2O_3 im Gemisch — Erweichungspunkt Segerkegel 34, 2,79 Proz. Fe_2O_3 — Segerkegel 33, 5,51 Proz. Fe_2O_3 — Segerkegel 32, 12,32 Proz. Fe_2O_3 — Segerkegel 20, 21,4 Proz. Fe_2O_3 — Segerkegel 13 bis 14). Der bei den übrigen Versuchen festgestellte Unterschied zwischen verschiedenem Verhalten von Zusätzen aus Grob- und Feinkorn trat merkwürdigerweise hier nicht in Erscheinung. Eine Vermehrung des Kalkgehaltes um 0,11 Proz. (von 0,68 bis 0,79 Proz. im Gemisch) senkt den Erweichungspunkt bereits um 25°. Wenn auch bei weiterer Vermehrung des Kalkgehaltes der Abfall des Erweichungspunktes minder schnell verläuft (0,79 Proz. CaO im Gemisch entsprechen einem Erweichungspunkt von Segerkegel 34, 1,02 Proz. CaO — Segerkegel 33, 2,25 Proz. CaO — Seger-

¹ Chal. et Ind. 1922, Heft 22, S. 971; Le Céramique 1922, Februarheft.

² Teknisk Tidskrift 1922, S. 143 bis 146; Berichte d. Deutsch. Keram. Gesellsch. Bd. 3 (1922), S. 53; GWF. 1922, Heft 35, S. 560.

kegel 32, 3,98 Proz. CaO — Segerkegel 31), ist der schädliche Einfluß des Kalkes unverkennbar. Was vom Kalkzusatz gilt, trifft für den Magnesiazusatz in noch höherem Maße zu. Beim Magnesiagehalt von 1 Proz. ist der Erweichungspunkt 1220° , bei 1 Proz. Kalk 1260° . Bei Veränderung des Kieselsäuregehalts ergibt sich eine untere Grenze der Druckfestigkeit bei 60 bis 70 Proz. SiO_2 , die nicht mit der unteren Grenze der Schmelzbarkeit zusammenfällt. Letztere liegt etwa bei 90 Proz. SiO_2 . Mit zunehmenden SiO_2 -Gehalt steigt der Erweichungspunkt schnell und erreicht bei 95 Proz. SiO_2 (dem Kieselsäuregehalt des gewöhnlichen Silikasteins) bereits 1650° . Beim Grobkornmisch liegt offenbar der Hohlräume wegen der Erweichungspunkt beträchtlich niedriger als beim Feinkorn, ein Verhalten, das bei fast allen Versuchen beobachtet wurde. Im allgemeinen tritt die sogar bei reinstem Schamottmaterial festgestellte, verhältnismäßig niedrige Erweichungstemperatur in der Praxis nicht so sehr hervor, wie man nach vorstehendem befürchten könnte. Einerseits sind bei vielen Ofenbauarten die der Wärme ausgesetzten Steine nicht besonders stark belastet, andererseits ist die mittlere Temperatur des feuerfesten Futters aller Außenwände infolge äußerer Kühlung wesentlich niedriger als die Temperatur des Ofenraumes.

*George A. Loomis*¹ hat die Beziehungen zwischen der Druckfestigkeit von Schamottesteinen bei hohen Temperaturen einerseits und ihrer Porosität und Raumgewicht (vor und nach dem Erhitzen unter Druck) andererseits festgestellt. Auf Grund seiner Beobachtungen kommt der Verfasser zu Schlüssen (die jedoch nicht als ausnahmslose Regeln angesehen werden dürfen), deren hauptsächlichste wie folgt wiedergegeben seien:

- a) Schamottesteine, die einen Druck von 3 kg/qcm entsprechend einer Steinsäule von ca. 17 m Höhe bei 1350°C aushalten, zeigen im allgemeinen nur geringe Veränderungen in Wasseraufnahme (Porosität) und Raumgewicht bei Temperaturen bis zu 1425°C .
Die Mehrzahl der Steine, welche die Druckprobe nicht aushalten, zeigten
- b) beträchtliche Veränderungen in Wasseraufnahme und Raumgewicht schon unter 1425°C .
- c) Steine, die unter 1400°C stark wachsen, versagen stets bei der Druckprobe.
- d) Die Veränderungen des Raumgewichtes und der Wasseraufnahme zwischen 1350 und 1425°C können im allgemeinen als Maßstab für die Druckfestigkeit dienen.
- e) Die Mehrzahl der Steine, deren Wasseraufnahme bei 1400°C nicht mehr als 5 Proz. abnimmt und deren Rauminhalt sich um nicht mehr als 3 Proz. (1 Proz. linear) ändert, besteht die Druckprobe.
- f) Fast alle Steine, die bei 1400°C mehr als 3 Proz. wachsen oder schwinden und deren Wasseraufnahme um mehr als 5 Proz. abnimmt, versagen bei der Druckprobe. Durch diese Bestimmung kann die Mehrzahl der Steine, welche die Druckprobe nicht bestehen, ermittelt und ausgeschieden werden.

¹ Stahl u. Eisen 1921, Bd. 1, S. 517: Referat von Dr. *Fuchs* nach Technologic Papers of the Bureau of Standards 1920, 26. April, Nr. 159, S. 1 bis 24.

- g) Zwischen dem Schmelzpunkt der Steine und ihrer Druckfestigkeit bei hohen Temperaturen scheint keine ausgesprochene Beziehung zu bestehen, jedoch versagten alle Steine, deren Schmelzpunkt unter Segerkegel 28 lag, bei der Druckprobe.

Ein bestimmter Zusammenhang zwischen den oben besprochenen Eigenschaften der Schamottesteine und ihrer chemischen Analyse läßt sich aus den Beobachtungen von *G. A. Loomis* nicht mit Sicherheit ausdrücken.

Über die Abhängigkeit der Erweichungstemperatur von Schamottematerialien unter Belastung von der Korngröße der verwendeten Schamotte berichtet *Navratil* in den Berichten d. Deutsch. Keram. Gesellsch. Bd. 4 (April 1924), Heft 5/6, S. 192. Danach ist feinstes Magerungsmittel imstande, die Erweichung um etwa 4 Segerkegel hinauszuschieben im Vergleich zu den groben Körnermischungen.

*Bodin*¹ prüfte in einem besonders umgebauten *Frémont*-Metall-Zugfestigkeitsapparat, dem ein mit Gas- und Druckluft geheizter Spiralfammenofen für die Versuche angepaßt wurde, verschiedene Tonwürfel von je 20 mm Länge. Auch nach seinen Versuchsergebnissen gibt die Druckfestigkeit eines feuerfesten Ziegels bei gewöhnlicher Temperatur keine Anhaltspunkte für seine Druckfestigkeit bei erhöhten Temperaturen. Besonders wichtig erscheint *Bodins* Feststellung, wonach die meisten Schamotteprüfkörperchen bei Temperaturen oberhalb 1200° C unter Belastung weich zu werden beginnen. Der Umstand, daß die meisten feuerfesten Erzeugnisse bei Temperaturen benutzt werden können, die höher liegen als ihr Erweichungspunkt, erklärt sich daraus, daß die Ziegel im praktischen Betriebe nur an der Innenseite des Ofens diese hohen Temperaturen erreichen, aber als verhältnismäßig schlechte Wärmeleiter im Innern weniger heiß sind, so daß, wenn auch die Innenfläche erweicht, der übrige Ziegelteil noch fest genug bleibt, um den ganzen Bau zu tragen.

Mellor fand zwischen der Deformationstemperatur T und dem Gewicht W der Belastung (in Pfund pro Quadratzoll) die Beziehung

$$T = C \cdot e^{-K \cdot W},$$

worin C die Deformationstemperatur ohne Belastung, K eine von der Steinart abhängige Konstante und e ein Exponentialkoeffizient ist. Je kiesel-säurehaltiger der Stein ist, um so höher liegen Deformationstemperatur mit und ohne Belastung zusammen, um so genauer muß die Probe ausgeführt werden. Bei Steinen von annähernd gleicher Kornbeschaffenheit wird die Erweichungstemperatur T etwa nach folgendem Gesetz erniedrigt:

$$T = C - K \cdot P,$$

worin C — die Erweichungstemperatur ohne Belastung, P — Belastung in Pfund pro Quadratzoll und K — eine Konstante, etwa 0,001, ist.

Die Dauer der Erhitzung ist bei den einschlägigen Prüfungen insofern von Einfluß, als eine gewisse Mindestzeit benötigt wird, um einen Ausgleich zwischen der Innen- und Außentemperatur des Ziegels herbeizuführen. *Rees*

¹ Transact. of the Ceramic Society (Engl.) Bd. XXI, Teil I, 1921/22, S. 44 ff.

(Chem. Trade Journ. and Chem. Eng. 1922, 3. März, S. 263) fand nach vierstündiger Erhitzung auf 1000° C einen Temperaturunterschied zwischen dem Inneren und Äußeren des Silikasteines von 20° C und des Schamottesteines von 30—40° C. Bei 1300° C war nach achtstündiger Erhitzung der Temperaturunterschied auf 10 bzw. 15° C heruntergegangen. Es ist anzunehmen, daß bei der gleichen Dauer der Erhitzung jedoch auf 1500° C Temperaturunterschiede wohl kaum eintreten.

*Bleininger*¹ hat bei seinen Versuchen mit Mischungen, die in der Hauptsache aus Pennsylvania-Ton und Sillimanit bestanden, gefunden, daß die Schwindung beim Belastungsversuch geringer wird, wenn die Brenntemperatur steigt. Ferner hat sich ergeben, daß die trocken gepreßten Versuchskörper nicht nur die Brennschwindung vermindern, sondern gleichzeitig, im Gegensatz zu naß gepreßten Formlingen, auch die Widerstandsfähigkeit bei Belastung erhöhen.

Nach *McGee* beträgt die Festigkeit der Silikasteine bei 1350° C noch immer ein Drittel derjenigen im normalen Zustande. Die allmähliche Abnahme der Druckfestigkeit von Silika-, Schamotte- und Magnesitsteinen bei steigenden Temperaturen ist aus folgendem ersichtlich (*Chatelier* und *Bogitch*):

Temperaturen in °C	15	500	1000	1300	1400	1500	1600
Silikastein	170	150	120	75	60	48	30
Schamottestein	190	180	210	90	(12)	(6)	(0,5)
Magnesitstein (<i>Euböa</i>)	420	380	320	270	240	(185)	(8)
Magnesitstein (<i>Steiermark</i> ¹)	145	130	85	66	(5)	(3)	(1)

Man ersieht hieraus, daß Silikasteine in dieser Hinsicht den Schamottesteinen überlegen sind. Die Zahlen in Klammern beziehen sich bereits auf den Zustand der beginnenden Erweichung, worüber ausführlicher noch später eingegangen wird.

Die Druckfestigkeit ist abhängig von der Brenntemperatur der Steine. Nach *L. Chatelier* und auch nach *Bodin* hat Bauxit, der bei 1500° C gebrannt wurde, eine doppelte Belastung gegenüber einem bei 1200—1300° C gebrannten Bauxit ausgehalten. Einen Vergleich der Druckfestigkeit von Silikasteinen verschiedener Güte bei 15° und 1600° C mit gleichzeitiger Angabe des spezifischen Gewichtes zeigen die folgenden, im Laboratorium der Sorbonne durchgeführten Bestimmungen. Für die Bestimmung der mechanischen Festigkeit bei 1600° C wurde jedesmal eine 1-stündige Belastung vorgenommen.

Nr.	Bezeichnung	Spez. Gewicht		Festigkeit in kg/cm	
		absol.	scheinbar	bei 15°	bei 1000°
1	Erstklassiger französischer Stein	2,30	1,92	550	90
2	Guter französischer Stein	2,33	1,88	185	41
3	Ausgezeichneter amerikanischer Stein	2,33	1,66	170	30
4	Guter amerikanischer Stein	2,40	1,77	190	21
5	Guter amerikanischer Stein	2,45	1,73	320	20
6	Schlechter amerikanischer Stein	2,46	1,80	252	4,4
7	Schlechter amerikanischer Stein	2,48	1,78	148	5,0

¹ Journ. of the Americ. Ceramic Society 1920, Nr. 2.

Man ersieht aus der umstehenden Tabelle, daß bei Verwendung guter Steine in den industriellen Ofenanlagen, wo der Druck 2—10 kg/qcm beträgt, hiermit noch immer eine mehrfache Sicherheit gegeben ist.

Hinsichtlich der Erweichung zeigen die verschiedenen Gruppen der feuerfesten Erzeugnisse charakteristische Unterschiede: Schamotteerzeugnisse erweichen, je nach der Art des Bindetones, schon zwischen 1200 und 1400° die Erweichung schreitet aber bei weiterer Temperatursteigerung mehr oder weniger allmählich fort. Im Gegensatz hierzu beginnen Silikasteine erst bei etwa 1600 bis 1650° C zu deformieren, werden aber dann bei geringer Überschreitung dieser Temperatur ziemlich schnell vollkommen zusammengedrückt.

5. Raumbeständigkeit.

Alle Körper besitzen mehr oder weniger die Eigenschaft sich in der Wärme auszudehnen und der Kälte zusammenzuziehen. Für die feuerfesten Stoffe, sowie für diejenigen Industrien, die als Verwender dieser Stoffe auftreten, ist diese Eigenschaft von grundlegender Bedeutung. Man unterscheidet bei der Raumänderung feuerfester Erzeugnisse zwischen zwei verschiedenen Arten. Die eine Art der Raumänderungen (Ausdehnung und Kontraktion) ist von dem Wärmeausdehnungskoeffizienten abhängig und stellt die jedem Stoffe eigene, mit steigender Temperatur entsprechend zunehmende und regelmäßig verlaufende Ausdehnung dar, die bei der Abkühlung wieder im entgegengesetzten Sinne verläuft und auf das ursprüngliche Maß zurückkommt. Man nennt diese Raumänderungen vorübergehende oder temporäre. Die (viel wichtigere) zweite Art der Raumänderung, die man als bleibende oder permanente bezeichnet, ist auf die durch Erhitzen auf hohe Temperaturen in dem feuerfesten Material eintretenden chemischen und physikalischen Veränderungen zurückzuführen; diese Raumänderungen können bei der Abkühlung nicht wieder rückgängig gemacht werden. Da beide Vorgänge der Volumenänderung häufig gleichzeitig und nebeneinander verlaufen, ist die Entscheidung nicht immer einfach, wie groß der eigentliche Wärmeausdehnungskoeffizient ist. Nach den bisherigen Kenntnissen ist der Ausdehnungskoeffizient bei den einzelnen Schamotteerzeugnissen nicht sehr verschieden. Bei Silikasteinen ist er etwas größer. So erreichte z. B. die gesamte lineare Ausdehnung von Silikasteinen Werte, wie dieselben nach einer amerikanischen Quelle angegeben sind.

Gesamte lineare Ausdehnung in Prozenten bei

	300°	600°	900°	1200°
Silikastein I	0,9	1,5	1,9	—
Silikastein II	—	0,7	0,9	1,1

Für praktische Verhältnisse ist es besser, mit den Werten für Gesamtausdehnung zu rechnen. Es ist bei der Ausdehnung noch folgendes zu

berücksichtigen: Einzelne Steine aus großen Lieferungen, besonders größer dimensionierte, zeigen nicht alle den gleichen Koeffizienten; ferner ist die Ausdehnung in den verschiedenen Achsen des Steinkörpers verschieden. Im Mauerwerk verhalten sich die Steine in bezug auf Ausdehnung anders als im einzelnen. Denn die Ausdehnung der Steine wird zum Teil durch die Zwischenräume ausgeglichen, die zwischen den einzelnen Steinen vorhanden sind, zum Teil scheint sie dadurch ausgeglichen zu werden, daß sich die Poren der einzelnen Steine zusammendrücken. Wiederholt hat man die Erfahrung gemacht, daß lange Mauern aus feuerfesten Steinen bei weitem nicht um das Maß wachsen, um das sie bei Zugrundelegung des durch Versuche mit einzelnen Steinen ermittelten Ausdehnungskoeffizienten rechnermäßig wachsen müßten.

Die Raumveränderungen sind bei den beiden Grundstoffen der feuerfesten Industrie grundverschieden. Die schamottehaltigen Steine charakterisieren sich durch „Schwinden“, die quarzhaltigen dagegen durch „Wachsen“. Beide Erscheinungen hängen von den oben besprochenen Grundeigenschaften dieser Materialien ab.

Solche Volumenänderungen sind aus dem Grunde unangenehm, weil beim Schwinden der Steine an den Fugen Zwischenräume entstehen, durch welche Teile des zu bearbeitenden Gutes (Kohlendestillation, Zinkdestillation usw.) aus dem Ofen entweichen oder Rauchgase in die Öfen eindringen und die darin bearbeiteten Produkte verderben (Emailindustrie usw.) oder der abkühlenden Luft Eintritt verschafft wird. Auch leidet darunter die Stabilität des Mauerwerkes.

Die Erscheinungen des Wachsens bewirken, daß Mörtel aus den Fugen herausgequetscht wird, was ebenfalls die Haltbarkeit des Mauerwerkes beeinträchtigt. Durch Wachsen auftretende Spannungen sind zuweilen so groß, daß ganze Wände krummgebogen werden. Ist aber keine Möglichkeit gegeben, im Mauerwerk des industriellen Ofens die Spannkkräfte aufzunehmen oder abzuleiten, so wird dadurch das feuerfeste Material selbst zermürbt und unbrauchbar gemacht. Allerdings ist die Erscheinung des Wachsens bei Silika- und Dinassteinen für manche Ofenpartien (Gewölbe der Glas- und anderen Öfen) zuweilen recht willkommen.

In den meisten Fällen können die beschriebenen Erscheinungen der temporären Raumänderungen der feuerfesten Steine, abgesehen von der richtigen Wahl der Rohstoffe, durch lang andauernden und hohen Brand in den Brennöfen der grobkeramischen Industrie vermieden oder zum mindesten ganz bedeutend reduziert werden.

Es ist schon auf S. 13 erwähnt worden, daß die meisten feuerfesten Tone die unangenehme Eigenschaft besitzen, bei wesentlich niedrigeren Temperaturen, als ihre eigentliche Kegelschmelztemperatur Erweichungserscheinungen aufzuweisen, die in den industriellen Öfen von katastrophaler Wirkung sein können. Durch die Magerungsmittel ist zwar die Möglichkeit gegeben, diese Eigenschaft der Tone gewissermaßen zu mildern. Überwiegt nun in den Schamottesteinen die für die Erhöhung des Erweichungs-

grades unerläßliche Schieferschamotte, so erhält der Stein einen ausgesprochenen basischen Charakter; es ist aber bekannt, daß solche basische Steine¹ im kontinuierlichen Betrieb Maßreduktionen, d. h. Nachschwindungen aufweisen. Dieselben beruhen auf der allmählichen Verdichtung und fortschreitenden Versinterung des Materials und treten vor allem dann auf, wenn dieses während seiner Verwendung wesentlich höheren Temperaturen ausgesetzt wird, als die Brenntemperatur während der Herstellung des Steines betrug. Durch Stampfen hergestellte Steine schwinden nach Versuchen von *Hahn* weniger, als die durch Handstrich, durch Nachpressen und durch Abschneiden von der Ziegelpresse hergestellten.

Sofern außerordentlich plastische (d. h. fette und quarzfreie) Tone und Schiefertone zur Verwendung gelangen, kann nur durch ausreichend hohen Brand bzw. durch entsprechendes Vorbrennen der Magerungsmittel solchen späteren Nachschwindungen des im kontinuierlichen Feuer befindlichen feuerfesten Erzeugnisse entgegengearbeitet werden. Bessere Resultate erhält man aber, solange keine Rohstoffe mit einer in freier Form enthaltenen Kieselsäure zur Verfügung stehen, dadurch, daß man solchen basischen Schamotteversätzen geeignete Quarze bzw. Quarzite zusetzt, um dem Nachschwinden der basischen Bestandteile durch Wachsen der sauren Bestandteile wirksam entgegenzuarbeiten und damit in dem Steine selbst gewissermaßen einen Volumenausgleich zu schaffen (vgl. halbsaure Steine auf S. 8). Rohkaoline, welche neben unzersetztem Feldspat in der Hauptsache Quarztrümmer enthalten, sind ebenfalls als Zusatz zu hochwertigen Edeltonen geeignet, weil die Kieselsäure hier nicht in gebundener Form enthalten ist, weshalb sie dem Schwinden der Steine ebenfalls gewissermaßen entgegenwirken.

Ein ganz entgegengesetztes Verhalten, wie diese basischen und halbsauren ton- und schamottehaltigen Steine, zeigen die sauren Quarzsteine, zu deren Herstellung man in der Hauptsache Findlings- und Felsquarzite verwendet. Die aus diesen Materialien hergestellten Steine „wachsen“ im Feuer. Dieses Wachsen beruht auf der bei hohen Temperaturen allmählich verlaufenden dauernden Umwandlung von Quarz mit dem spez. Gewicht 2,65 in Tridymit mit dem spez. Gewicht von 2,30. Der Grad und die Schnelligkeit der Umwandlung ist je nach dem Rohmaterial, wie oben ausgeführt, verschieden, und sind amorphe Findlingsquarzite in dieser Hinsicht den kristallinen Felsquarziten überlegen. Ist aber der Quarzit im Silikastein (durch lange Einwirkung des Feuers und hohe Temperatur) möglichst vollständig in eine andere Modifikation übergegangen, so läßt die Erscheinung des Wachsens nach und der Stein kann schließlich volumenbeständig werden.

Wie die Erfahrung lehrt, findet eine starke Volumenausdehnung der Quarzite etwa bei 600° C statt, so daß gerade dieses Temperaturintervall mit äußerster Vorsicht durchlaufen werden muß. Ein aus Tridymit bestehender Stein würde von den Temperaturveränderungen viel unabhängiger sein; aber

¹ Auch solche mit Bauxitzusatz.

die anzustrebende vollständige Umwandlung des Quarzes in Tridymit wird bei einem Brand im keramischen Brennofen nie erreicht. Bei jeder raschen Erhitzung ruft die plötzliche Ausdehnung starke Risse und Sprünge im Steine hervor und kann den Bestand des ganzen Mauerwerkes gefährden. Für die Abkühlung gilt genau dasselbe wie für das Anwärmen. Wird die Temperaturstufe unterhalb 600°C zu rasch passiert, so kann der Stein infolge der schnell verlaufenden, mit bedeutenden Raumveränderungen verbundenen umkehrbaren Reaktionen der α - und β -Modifikationen des Quarzes mürbe und rissig werden. Dasselbe gilt auch für eine zeitweilige Außerbetriebnahme von Öfen. Handelt es sich nur um kurze Zeit, so dürfte es sich empfehlen, die Öfen auf Rotglut zu erhalten. Im anderen Falle muß sich die Abkühlung unterhalb der Rotglut über eine lange Zeit erstrecken. Hier gilt also der Grundsatz: „Der Silikaofen muß viel langsamer und vorsichtiger angeheizt und abgekühlt werden, wie der aus Schamotte hergestellte.“

Middleton hat eine ganze Anzahl Silikasteine aus der gleichen Masse, gleicher Form und gleichen Abmessungen hergestellt, in gleicher Weise getrocknet, in drei Gruppen geteilt und in drei verschiedenen Ofenzonen bei verschiedenen Temperaturen gebrannt. Naturgemäß zeigten die Steine bei steigender Temperatur verschiedenes Wachsen und dementsprechende Verminderung des spezifischen Gewichtes, wie es aus der folgenden Tabelle ersichtlich ist:

Gruppe	Temperatur	Länge	Breite	Größe	Spez. Gewicht
1	$1,380^{\circ}\text{C}$	23,06	11,09	8,02	2,43
2	$1,433^{\circ}\text{C}$	23,12	11,35	8,02	2,35
3	$1,530^{\circ}\text{C}$	23,37	11,35	8,02	2,28

Eine $11\frac{1}{2}$ m hohe Koksofenmauer aus den Silikasteinen der Gruppe 1 würde bei hohen Betriebstemperaturen um etwa 15 cm mehr wachsen als eine Mauer aus den Steinen der Gruppe 3. *Middleton* folgert daraus, daß Silikasteine mit einem spezifischen Gewicht von über 2,35 in Öfen mit hohen Betriebstemperaturen nicht verwendet werden dürfen.

Aus einer sehr lesenswerten Arbeit von *H. S. Houldsworth* und *S. W. Cobb* über „Umkehrbare Wärmeausdehnung feuerfester Stoffe“ im Journ. of the Americ. Ceram. Society 1923, S. 645–662, welche in der Keramischen Rundschau 1923, Heft 47–48, ausführlich referiert wurde, entnehme ich die folgende Tabelle über den Ausdehnungskoeffizienten verschiedener amerikanischer feuerfester Rohstoffe und Erzeugnisse im Zusammenhang mit ihrer Porosität, Raumgewicht und spezifischem Gewicht bei verschiedenen Temperaturbereichen und verweise im übrigen auf die sehr empfehlenswerte Originalarbeit. Die Porigkeit ist hier ausgedrückt durch das Gewicht des vom Probekörper aufgesaugten Paraffins geteilt durch Gewichtsverlust der gesättigten Probe, gewogen in Paraffin; das Raumgewicht ist gleich Gewicht der Probe dividiert durch den Gesamtraum der Probe; der Ausdehnungskoeffizient ist mit 10^{-7} zu multiplizieren.

Tabelle 10a.

Ausdehnungskoeffiziente amerikanischer Tone, Quarzite, Silika-
nebst zugehörigen Werten für Porigkeit, Raum- und spezifisches

	Temperatur des Vor- brennens	Porigkeit	Raum- gewicht	Spez. Gewicht	
Kaolin	Kegel 06	47,4	—	—	
	„ 9	34,6	—	—	
	„ 14	23,0	—	—	
	„ 20	0,4	—	—	
Feuerfester Ton von Farnley	„ 06	31,7	—	—	
	„ 9	28,7	—	—	
	„ 14	25,8	—	—	
	„ 20	1,4	—	—	
Bauxitischer Ton von Ayrshire.	„ 06	30,7	—	—	
	„ 9	28,4	—	—	
	„ 14	26,9	—	—	
	„ 20	4,2	—	—	
Magnesitstein	„ 06	33,9	—	—	
	„ 9	33,9	—	—	
	„ 14	27,8	—	—	
Carborundum mit Tonbindung	„ 20	31,9 (blasig)	—	—	
Tonerde	„ 9	72,1	—	—	
Quarzit von Wales mit Bindemittel	un- gebrannt	—	—	2,64	
	Kegel 06	34,4	1,68	2,63	
	„ 9	36,6	1,62	2,58	
	„ 14	39,7	1,43	2,35	
	„ 20	44,7	1,28	2,33	
Silikastein A	—	26,0	1,78	2,40	
Silikastein B	—	26,8	1,76	2,40	
Silikastein C	—	27,9	1,68	2,35	
Silikastein A nach Anwendung im Koksofen, erste, d. h. heißeste Schicht	—	20,6	1,89	2,37	
	2. Schicht	—	29,0	1,67	2,33
	3. Schicht	—	29,6	1,62	2,30
	4. Schicht	—	30,1	1,59	2,28
	Silikastein A nach Anwendung in der Decke eines Stahlofens	—	8,6	2,24	2,45
2. Schicht		—	7,3	2,27	2,45
3. Schicht		—	5,3	2,19	2,32
4. Schicht		—	28,1	1,72	2,39

Tabelle 10 b.

steine, Magnesite usw. in verschiedenen Temperaturbereichen, Gewicht und Vorbrandtemperaturen (Ausdehnungskoeffizient $\times 10^{-7}$).

	Temperaturbereich (°C)	Ungebrannt	Temperatur des Vorbrandes			
			Kegel 06	Kegel 9	Kegel 14	Kegel 20
Kaolin	100—250	—	—	76,4	57,8	—
	15—1000	—	40,2	53,1	47,7	44,1
Feuerfester Ton von Farnley . . .	100—250	—	—	102,3	87,5	—
	15—500	—	48,1	76,9	67,5	—
	500—600	—	133,1	127,5	107,5	—
	600—1000	—	21,7	18,3	25,0	—
	15—1000	—	49,1	58,3	54,0	30,5
Bauxitischer Ton von Ayrshire . .	100—250	—	—	72,6	65,2	—
	15—1000	—	48,0	60,5	56,1	41,8
Carborundum	15—1000	—	—	47,1	47,8	38,6
Magnesitstein	15—1000	—	127,4	127,4	135,1	—
Quarzit von Wales mit Bindemittel	15—1000	136	122	128	155	153
	15—500	163	172	192	279	298
	200—250	—	—	396	1454	171
	500—600	579	417	289	139	44
	600—1000	—4	—4	14	11	7
Silikastein A	15—1000	—	118	—	—	—
	15—250	—	304	—	—	—
	250—500	—	101	—	—	—
	500—600	—	127	—	—	—
	600—1000	—	17	—	—	—
Silikastein B	15—1000	—	131	—	—	—
	15—250	—	344	—	—	—
	250—500	—	108	—	—	—
	500—600	—	111	—	—	—
	600—1000	—	23	—	—	—
Silikastein C	15—1000	—	107	—	—	—
	15—250	—	280	—	—	—
	250—500	—	84	—	—	—
	500—600	—	61	—	—	—
	600—1000	—	31	—	—	—
Silikastein A nach Anwendung im Koksofen, Schicht der Feuerseite	15—1000	—	65	—	—	—
	15—250	—	340	—	—	—
Andere Schicht	15—1000	—	121	—	—	—
	15—250	—	340	—	—	—
Silikastein A nach Anwendung in der Decke eines Stahlofens, erste (heißeste) Schicht	15—1000	—	125	—	—	—
	200—300	—	746	—	—	—
2. Schicht	15—1000	—	98	—	—	—
	15—250	—	231	—	—	—

Fortsetzung der Tabelle 10 b.

	Temperaturbereich (° C)	Ungebrannt	Temperatur des Vorbrandes			
			Kegel 06	Kegel 9	Kegel 14	Kegel 20
3. Schicht	15—1000	—	88	—	—	—
	100—250	—	232	—	—	—
	250—500	—	106	—	—	—
	500—600	—	117	—	—	—
	600—1000	—	13	—	—	—
4. (kälteste) Schicht	15—1000	—	115	—	—	—
	100—250	—	369	—	—	—
	250—550	—	117	—	—	—
	550—600	—	139	—	—	—
	600—1000	—	12	—	—	—

6. Wärmeleitfähigkeit¹.

In der Praxis der Hüttenbetriebe macht sich immermehr das Bedürfnis geltend für die Berechnung des Wärmedurchganges durch feuerfeste Stoffe und Auskleidungen, ferner für die Abschätzung und Wirksamkeit von Gittersteinen für Wärmespeicher, Winderhitzer u. dgl. gewisse zahlenmäßige Unterlagen zu gewinnen, die eine zweckmäßige Auswahl und eine Kontrolle der gelieferten Baustoffe gestatten.

Zu beachten ist, daß die Wärmeleitfähigkeit nur eine von den vielen für die Eignung der einzelnen feuerfesten Baustoffe maßgebenden Eigenschaften ist. Sie darf daher auf keinen Fall zu einer einseitigen Beurteilung des Materials Anlaß geben. Je nach dem Verwendungszweck kann auch eine hohe, oder eine niedrige Wärmeleitfähigkeit erwünscht sein. Hohe Wärmeleitfähigkeit kommt z. B. in Betracht für alle feuerfesten Baustoffe, durch die Wärme übertragen werden soll, also Kammern- und Retortenwandungen, Tiegel- und Muffelwände, ferner für Gittersteine in Winderhitzern und Wärmespeichern u. dgl. Niedrige Wärmeleitfähigkeit ist erwünscht bei feuerfesten Baustoffen, die wärmeisolierend wirken sollen, also für Ofenwände, die den erhitzten Raum von der Außenluft trennen. Im letzteren Falle kann aber auch sehr viel durch die Bauart selbst erreicht werden, z. B. durch Zwischenschaltung von Luftschichten oder körnigen Stoffen mit Luftzwischenräumen usw. Höhere Wärmeleitfähigkeit kann auch für den Bau von Ofenwandungen wesentlich sein, die durch starke Kühlung von der Außenseite her vor dem Abschmelzen im Innern bewahrt werden müssen, wie z. B. die Hochofensteine in Gestell und Rast und gewisse Glasofensteine. In diesen Fällen ist man bei guter Wärmeleitfähigkeit imstande, die Innenwandung bei gleich starker Kühlung der Außenwand niedrigster Temperatur zu halten, als bei geringerer Wärmeleitfähigkeit.

Man hat schon seit längerer Zeit beobachtet, daß die schädlichen Einflüsse der hohen Temperaturen und die Zerstörung der Ofenwände durch die Schmelzprodukte auch von dem Temperaturabfall vom Innern des Ofens nach außen

¹ Über elektrische Leitfähigkeit siehe S. 178.

hin abhängt. Dieser Abfall ist wieder bedingt durch die Wärmeleitfähigkeit der zur Ofenkonstruktion verwendeten Steine, und je größer der Wärmeabfall ist, um so kleiner ist der Teil der Ofenwand, der der gefährlichsten höchsten Temperatur ausgesetzt ist.

Die Wärmemenge, welche von den Wandungen eines Ofens in der Zeiteinheit an die Umgebung abgegeben wird, ist abhängig von den Abmessungen der Wand, dem Temperaturunterschied zwischen der inneren und äußeren Fläche, sowie dem Wärmeleitkoeffizienten des Materials. Sie wird gegeben durch die Gleichung

$$W = k \cdot \frac{F \cdot (T_2 - T_1)}{D}.$$

Hierin bedeuten:

W die sekundlich an die Umgebung abgegebene Wärmemenge in Cal.,

F die Oberfläche in qcm,

T_2, T_1 die Temperatur der inneren und äußeren Wandfläche,

D die Wanddicke in cm,

k den Wärmeleitkoeffizienten, diejenige Zahl, die angibt, welche Wärmemenge in Cal. sekundlich pro qcm durch eine Platte von 1 cm Dicke hindurchgeht, deren Außenflächen einen Temperaturunterschied von 1° aufweisen. Da k bei feuerfestem Material sehr klein ist, ergibt sich ein für die Praxis geeigneterer Wert, wenn man W , die abgegebene Wärmemenge in kg-Calorien (WE) pro Stunde, F , die Oberfläche, in qm und D , die Wanddicke in m mißt.

Die Wärmeleitungszahl K ist dann diejenige Zahl, die angibt, welche Wärmemenge (in WE) stündlich pro qm durch eine Platte von 1 m Dicke hindurchgeht, deren Außenflächen einen Temperaturunterschied von 1° aufweisen. Aus dieser Definition ergibt sich folgende Beziehung:

$$K = 360 \cdot k.$$

Der Leitfähigkeitskoeffizient der feuerfesten Steine wurde zuerst von *Péclet*¹ bestimmt, und zwar zu 0,6 für eine Steinmauer, ausgedrückt durch die Anzahl von großen Calorien, die für Stunde und qm Oberfläche durch eine Dicke von 1 m hindurchgehen: die beiden Oberflächen wurden hierbei auf konstanter Temperatur gehalten. Da aber *Péclet* nur mit Temperaturen von nicht höher als 35° arbeitete, so erhielt er immer zu niedrige Zahlen, denn bei den in der Praxis gebräuchlichen hohen Temperaturen nimmt die Leitfähigkeit mit der Höhe der Temperatur zu. *Euchène*² hat dieses bei seinen Untersuchungen über die Wärmevergänge bei der Destillation der Steinkohle auch bestätigt gefunden; er fand auf Grund von Messungen der Wärmeverluste, die im Mauerwerk der mit Gasfeuerung betriebenen Öfen entstanden, für den Leitfähigkeitskoeffizienten Werte von 1,43 und 1,39 bei Temperaturunterschieden von etwa 700° und 865°. Trotz der außerordentlich großen

¹ Sur la détermination des coefficients de conductibilité. Ann. de Chimie et de Physique Sér. 3, Bd. II, S. 107.

² Congrès International de l'Industrie du Gaz en 1900.

Wichtigkeit, welche die Wärmeleitfähigkeit der Materialien für den Ofenbau, Tiegelbetrieb usw. für die Praxis hat, waren dieses die einzigen Angaben, die in der Literatur über diesen Gegenstand vor dem Bekanntwerden der Arbeiten von *Wologdine* zu finden waren.

Die Arbeiten dieses Forschers, die etwa vor 15 Jahren grundlegend für die Erforschung der wärmeleitenden Eigenschaften der feuerfesten Stoffe waren, sind inzwischen von anderen Forschern, die sich mit dieser Frage intensiv befaßten, unter Anwendung vollkommenerer Verfahren, überholt worden.

Die früher gebräuchliche Art der Prüfung von feuerfesten Steinen und Wärmeleitvermögen wurde fast durchweg an besonders für diese Versuchszwecke hergestellten aus verschiedenen feuerfesten Mischungen geformten und gebrannten Steinen angestellt und konnten die so gewonnenen Versuchsergebnisse keinen bestimmten Anhalt für die Praxis gewähren. Es ist deshalb erklärlich, daß besonders aus den Kreisen der verbrauchenden Industrien der Wunsch geäußert wurde, daß das Prüfungsmaterial direkt aus Lieferungen durch Stichproben zu entnehmen sei. Dieser Wunsch ist wohl sehr berechtigt, da die Wärmeleitfähigkeit feuerfester Stoffe wesentlich von der Vorbehandlung, Brennhitze und Brenndauer abhängt. Man kann jedenfalls nicht die Sicherheit haben, daß ein besonders hergestelltes und gebranntes Probestück dieselbe Leitfähigkeit zeigt, wie die der Lieferung unmittelbar entnommenen Fertigerzeugnisse. Auch das bei Untersuchungen vielfach angewendete Herausschneiden von Probeplättchen aus dem Fertigerzeugnis kann keine für die Praxis absolute sichere Prüfungsergebnisse zeitigen; dazu ist eben nur das Fertigerzeugnis selbst, in der Form und Größe, wie es zur praktischen Anwendung kommt, allein in der Lage.

Tabelle 11.

Wärmeleitfähigkeit verschiedener feuerfester Stoffe
im Zusammenhang mit deren chemischen Zusammensetzung, Porosität und spez.
Gewicht [nach *Goerens*¹].

Bezeichnung	Chemische Zusammensetzung							Spez. Gewicht		Porosität in %	Wärmeleitfähigkeit K im Mittel von 0 bis 1000° C ²
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alkali	C	Scheinbar (also einschl. Poren)	Wirklich (zerkleinertes Steinmaterial)		
„Halbschamotte“ ³	73,11	22,85	1,94	0,20	0,18	1,72	—	1,83	2,59	30	0,90
Schamotte. . . .	67,68	28,18	1,89	0,28	0,12	1,86	—	1,80	2,53	29	0,91
Schieferton	53,91	40,16	1,94	0,15	0,22	1,30	—	1,81	2,62	31	0,99
„Lia“ ³	53,00	45,30	1,20	Sp.	Sp.	0,50	—	1,75	2,88	39	0,76
Silika	96,04	1,82	0,68	1,46	—	—	—	1,87	2,44	23	1,11
Magnesit	2,66	6,47	4,45	—	—	—	—	2,34	3,53	34	3,59
Kohlenstoff	—	—	—	—	—	—	89,0	1,19	1,93	38	1,02

¹ Vgl. hierzu die Fig. 12 und 13 auf Seite 51, worin die Veränderlichkeit der Wärmeleitfähigkeit mit steigender Temperatur gezeigt wird.

² *Clement* und *Egy* (Stahl u. Eisen Bd. II, S. 1895, 1910) fanden Werte für $K = 0,75$ bis 1,32; *Wologdine* (Rev. Mét. Bd. 6, S. 767, 1909) sogar 1,07 bis 1,81.

³ Die Terminologie des Forschers ist hier beibehalten.

Goerens hat unter Anwendung der von Wologdine benutzten Methode, die er jedoch vervollkommen hat, bei Untersuchung verschiedener feuerfester Steine Wärmeleitfähigkeitswerte gefunden, die in der Tab. 11 angegeben sind.

Die Veränderlichkeit der von Goerens gefundenen Werte mit steigenden Temperaturen ist in den Fig. 13 und 14 gezeigt.

Die Goerensschen Versuche zeigen, daß die feuerfesten Baustoffe hinsichtlich Wärmeleitfähigkeit von ihrem spez. Gewichte und der Porosität abhängig sind.

Ferner folgt aus diesen Untersuchungen (Tab. 11 und Fig. 13 und 14), daß mit Ausnahme von Magnesit die Wärmeleitungszahlen mit wachsenden Temperaturen steigen, während diejenigen des Magnesits das entgegengesetzte Verhalten zeigen. Die Versuchsergebnisse lassen den Schluß zu, daß die Wärmeleitungszahlen mit wachsender Porosität abnehmen und daß feuerfeste Stoffe mit hohem spez. Gewicht gute Wärmeleiter sind.

Eine interessante ältere Arbeit von Osann über „Ergebnisse von Versuchen behufs Feststellung des Wärmeleitungsvermögens feuerfester Steine in Winderhitzern“ (Ber. über die XXIX. ord. Hauptvers. des Ver. d. Fabr. feuerf. Prod. Berlin 1909, S. 14), die durch die Arbeiten von Goerens, Heyn u. a. überholt ist, erwähne ich hier nur vollständigshalber.

Heyn fand unter Anwendung eines Verfahrens, welches in dem Bericht über die 34. ordentliche Hauptvers. des Vereins deutscher Fabr. feuerfester Produkte auf S. 131 ff. und eingehender in den Mitteilungen des Königl. Materialprüfungsamtes 1917, Hefte 2 u. 3 begründet und beschrieben ist,

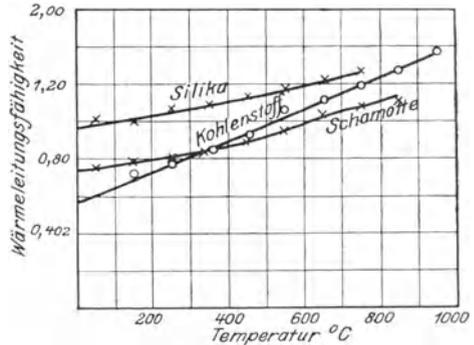


Fig. 13.

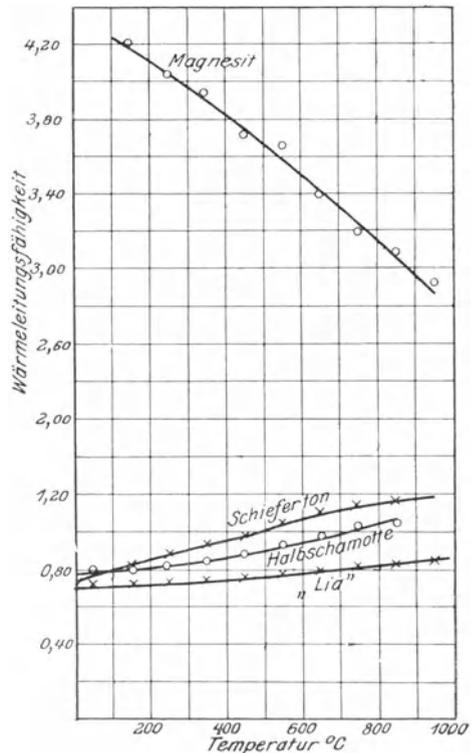


Fig. 14.

Fig. 13 und 14. Veränderlichkeit der Wärmeleitfähigkeitszahlen (nach Goerens) von feuerfesten Normalsteinen mit steigenden Temperaturen.

Werte, die von den *Goerensschen* Werten (Tab. 11 und Fig. 13 und 14) bedeutend abweichen. Die Resultate *Heynscher* Untersuchungen sind in der Tab. 12 kurz zusammengetragen.

In dieser sind die Werte für (innere) Wärmeleitfähigkeit im Zusammenhang mit der Zusammensetzung und dem Raumgewicht gezeigt, welche von *Heyn* gemeinsam mit *Bauer* und *Wetzel*¹ gefunden wurden. Dieselben sind in Grammc calorien, Zentimetern und Sekunden angegeben. Will man, wie es in der Technik manchmal geschieht, die Wärmeleitfähigkeit auf Kilogramm-calorien, Meter und Stunden beziehen, so hat man nur die Werte in der Tabelle, wie es auf S. 49 angegeben wurde, mit 360 zu multiplizieren.

Tabelle 12.

Wärmeleitfähigkeit feuerfester Steine nach *Heyn*, *Bauer* und *Wetzel*.

Material	Zusammensetzung in Prozenten	Raum- gewicht	Wärmeleitfähigkeit bei:					
			200 °	400 °	600 °	800 °	1000 °	1200 °
Schamottestein	ca. 40 Al ₂ O ₃ ; „ 57 SiO ₂	1,88	0,0014	0,0018	0,0022	0,0024	0,0020	0,0027
Schamottestein	30,42 Al ₂ O ₃ ; 63,23 Si ₂ O; 1,98 Fe ₂ O ₃ ; 0,5 CaO; 0,25 MgO; 3,42 K ₂ O; 0,20 Glühverlust	1,83	0,0011	0,0014	0,0010	0,0019	0,0021	—
Schamottestein	24,34 Al ₂ O ₃ ; 71,05 SiO ₂ ; 2,46 Fe ₂ O ₃	1,77	0,0009	0,0011	0,0012	0,0013	—	—
Schamottestein	ca. 25 Al ₂ O ₃ ; 73,7 SiO ₂ ; ca. 1,34 Fe ₂ O ₃	1,90	0,0021	0,0024	0,0027	0,0027	0,0027	0,0027
Dinasstein	1,56 Al ₂ O ₃ ; 46,92 SiO ₂ ; 0,62 Fe ₂ O ₃ ; 0,97 CaO; Spur MgO	2,04	0,0013	0,0016	0,0017	0,0017	0,0018	0,0021
Magnesit	88,85 MgO; 9,21 Fe ₂ O ₃ ; 0,35 CaO; 0,17 Al ₂ O ₃ ; 0,20 SiO ₂	2,35	0,00115	0,0011	0,0012	0,0013	0,0014	0,0014
Kohlenstoffstein	Koks und Teer	1,27	0,0012	—	—	—	—	—

Die Unterschiede in der Wärmeleitfähigkeit der einzelnen Steingattungen und selbst der verschiedenen Steinarten innerhalb derselben Gattung sind beträchtlich. Mit steigender Temperatur nimmt die Wärmeleitfähigkeit zu, doch ist diese Zunahme bei den einzelnen Materialien sehr verschieden. Bemerkenswert ist die dauernde Änderung des Wärmeleitvermögens infolge der Erhitzung während der Versuche, trotzdem die Versuchstemperaturen niedriger lagen, als die Brenntemperatur der untersuchten Fabrikate. Nach mehrmaligen Erhitzen scheint die Wirkung des Nachbrennens sich allmählich einem Endwert zu nähern. Diese Wirkung des Nachbrennens ist bei den verschiedenen Steinsorten nicht die gleiche.

¹ Mitteilungen aus d. Königl. Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde Bd. XXXIII (1914), Heft 2 u. 3, S. 89 bis 198.

Für die Industrie wäre es von besonderer Wichtigkeit, stets den Endwert der Wärmeleitfähigkeit zu kennen, auf den man dauernd bei der Verwendung des Steines im feuerfesten Mauerwerk rechnen kann; zu diesem Zweck müßte man die Steine erst nach längerer Benutzung im Betrieb auf ihre Wärmeleitfähigkeit beurteilen.

Von der inneren Wärmeleitfähigkeit ist noch die äußere zu unterscheiden; letztere bezieht sich auf die durch Leitung und Strahlung auf das umgebende Medium übertragene Wärmemenge.

*Van Rinsum*¹ fand folgende Werte:

Tabelle 13.
Wärmeleitfähigkeit feuerfester Steine nach *van Rinsum*.

Nr.	Bezeichnung	SiO ₂ Proz.	Al ₂ O ₃ Proz.	200°	600°	1000°
1	Silika	96	2	0,48	0,81	1,13
	Silika (aus amorphem Quarzit)	—	—	0,51	0,88	1,24
	Silika	95	1	0,68	0,94	1,20
	Dinas	63	33	0,76	1,02	1,27
	Dinas	66	31	0,72	0,85	0,98
	Schamotte (Retortenmasse)	—	—	0,52	0,68	0,83
	Schamotte	—	—	0,49	0,64	0,80
Magnesit	—	—	—	1,29	1,43	

Es ergibt sich somit teilweise eine befriedigende Übereinstimmung mit den Ergebnissen von *Goerens* und *Heyn*, teilweise weichen jedoch die gefundenen Werte nicht unwesentlich ab. Abweichend von den Beobachtungen von *Goerens* wurde gefunden, daß den untersuchten Magnesitsteinen keine ausnehmend große Wärmeleitzahl zukommt und daß diese auch nicht mit der Temperatur stark abnimmt, sondern anwächst, wie bei allen anderen Stoffen. Die für Magnesit bestimmten Werte sind etwa doppelt so groß als diejenigen von *Heyn*, aber wesentlich kleiner, als diejenigen von *Goerens*.

Die Versuche von *Dougall*, *Hodsmann* und *Cobb* (The Iron and Coal Trades Review 1915 S. 889, im Auszug: Stahl und Eisen 1916 S. 754) bestätigen in bezug auf Schamotte und Silika die von *van Rinsum* gefundenen Werte, sind jedoch für Magnesit wesentlich höher. Die Werte für *K* zeigen bei Schamottesteinen mit den Werten von *Heyn*, bei Silikasteinen mit den Werten von *Goerens* Übereinstimmung.

Die bestehenden Unterschiede lassen sich nicht ohne weiteres erklären. Sicherlich spielt hier das Gefüge der Steine eine Rolle und ist der Unterschied der gefundenen Werte nicht allein auf die Größe der Porenräume und deren Anzahl, sondern auch auf die Beschaffenheit der Porenwände (in ähnlicher Weise, wie z. B. die mechanischen Eigenschaften des Kokeses mehr

¹ Die Wärmeleitfähigkeit von feuerfesten Stoffen bei hohen Temperaturen. Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. Herausgegeben vom Verein deutscher Ingenieure. Heft 228. Berlin 1920. Verl. von J. Springer.

von der Beschaffenheit der Porenwände, als von der Zahl und Größe der Poren abhängen) zurückzuführen. Auch ganz geringe Unterschiede im Raumgewicht ergeben wesentliche Änderungen in der Wärmeleitfähigkeit.

In der Tab. 14 sind ferner weitere von anderen Forschern gefundene Werte zusammengetragen.

Tabelle 14.
Wärmeleitfähigkeit verschiedener Steinsorten¹.

Steinart	Temperaturbereich $t_1 - t_2$	Mittlere Wärmeleitfähigkeit k (<i>W.E.</i> in der Sek. auf eine Fläche von 1 qcm bei 1 cm Dicke)	Forscher	
Silikastein:				
I. 95,9 Proz. SiO ₂	} 0—100° } 0—1000°	} 0,0021 } 0,0031	Berechnet nach Untersuchungen von <i>Boyd Dudley</i> . <i>Goerens</i> und <i>Gilles</i> , „Ferrum“. Oktober und November 1914.	
II. 96,0 „ SiO ₂				} 0—100° } 0—1000°
Schamottestein:				
I. 52,9 Proz. SiO ₂	} 0—100° } 0—1000°	} 0,0016 } 0,0025		Transact. of the American Electro- Chemical Society 1915, S. 336. <i>Goerens</i> und <i>Gilles</i> , „Ferrum“. Oktober und November 1914.
42,7 „ Al ₂ O ₃			} 0—100° } 0—1000°	
II. 53,9 „ SiO ₂	} 0—100° } 0—1000°	} 0,0022 } 0,0027		
40,2 „ Al ₂ O ₃				
Halbsaurer Stein:				
73,9 Proz. SiO ₂	0—100°	0,0020		
22,9 „ Al ₂ O ₃	0—1000°	0,0027		
Carborundstein		0,0231 (?)	<i>Tone</i> , Metallurg. and Chemical Eng. Bd. 11 (1913) S. 484 bis 486; Sili- katzeitschrift 1914, S. 218.	

Eine der Hauptschwierigkeiten bei der Bestimmung des Wärmedurchganges der Steine liegt bekanntlich darin, die wärmeaufnehmende Fläche durchaus gleichmäßig zu erhitzen. *E. Griffiths*² sucht dies dadurch zu erreichen, daß er die wärmeaufnehmende Fläche in ein geschmolzenes Metallbad eintauchen läßt; für niedrige Temperatur hat sich Zinn gut bewährt bei einer Eintauchtiefe des Steines von 1 cm. Bei Untersuchungen oberhalb 450° wurde der Stein gegen eine erhitzte Eisenplatte gepreßt, die einen Teil einer Muffel bildete.

Die Wärmeleitfähigkeit der feuerfesten Quarz- und Schamottesteine steigt im allgemeinen mit der Temperatur; für amerikanische übliche Steinsorten wird die Wärmeleitfähigkeit innerhalb der Temperaturgrenze von 1000 bis 1050° C wie folgt angegeben:

1. $K = 0,0015 + 0,0000010 (t_1 + t_2)$,
2. $K = 0,0019 + 0,0000008 (t_1 + t_2)$,
3. $K = 0,0020 + 0,0000011 (t_1 + t_2)$.

¹ Stahl u. Eisen 1918, S. 1205; eine weitere ausführlichere Zusammenstellung befindet sich in *Singer*, Die Keramik im Dienste der Volkswirtschaft, S. 444.

² The Iron and Coal Trades Review 1916, 17. Nov., S. 607ff.; Stahl u. Eisen 1918, Bd. II, S. 1209.

Für Magnesia material stellte *E. Griffiths* fest, daß die Wärmeleitfähigkeit mit steigender Temperatur stark abnimmt, und gibt folgende Werte an: bei 300° — 0,0187, bei 500° — 0,0140, bei 700° — 0,0107 und bei 900° — 0,0089. Dagegen fand *Boyd Dudley*¹, daß bei (amerikanischem) Magnesit die Wärmeleitfähigkeit zwischen 445 und 830° nahezu konstant war.

*Green*² bestätigt im allgemeinen die Ergebnisse von *Griffiths*. Nach *Greens* Befund ist die Wärmeleitfähigkeitszahl für Carborundum und Graphit 4 bis 5 größer als die der Silikasteine. Bezüglich der Abhängigkeit des Wärmeleitkoeffizienten *K* vom Gefüge (Porenvolumen) wurde festgestellt, daß erst bei 3600° der Einfluß des Porenvolumens ganz in Wegfall kommt und daß eine lineare Beziehung nicht besteht, wenngleich schon bei 1100° ein Teil der Poren den gleichen *K* wie das Material zeigt. Als neuen Faktor zur Beurteilung wird der Begriff der Wärmeverteilungsgeschwindigkeit (Diffusivity) eingeführt, definiert als: Temperaturanstieg in 1 ccm Material durch 1 cal-Sek. 1 cm Weglänge, wenn zwischen den Flächen des Würfels 1° Temperaturunterschied herrscht. Auch „*D*“ ist abhängig von der Temperatur, und steigt ähnlich wie *K* bei Silika- und Schamottesteinen an, während *D* bei Magnesit rasch mit steigender Temperatur abnimmt. Folgende Tabelle gibt einen Auszug aus den Tabellen *Greens*.

Tabelle 15.

Wärmeleitfähigkeit und -Verteilungsgeschwindigkeit feuerfester Steine nach *Green*.

	„ <i>K</i> “ in cm/g-Sec. bei ° C.				„ <i>D</i> “ in cm/g-Sec. bei ° C.			
	500°	700°	900°	1100°	500°	700°	900°	1100°
Silikastein <i>C</i>	—	0,0010	0,0013	0,00165	—	0,0019	0,0023	0,0025
Feuerfester Stein <i>D</i>	0,0010	0,0013	0,0016	0,0025	0,0020	0,0023	0,0026	0,0034
Magnesitstein <i>L</i>	0,0029	0,0028	0,0027	0,0025	0,0038	0,0033	0,0029	0,0024

Die zum Teil, besonders bei den Silikasteinen sich widersprechenden Angaben über Wärmeleitungszahlen hängen in erster Linie von der angewandten Untersuchungsmethode ab. Indessen scheinen die Silikasteine in dieser Hinsicht doch den Schamottesteinen überlegen zu sein. *Brown*³ fand, daß die Leitfähigkeit des Silikasteines (95,5 Proz. SiO₂, 1,9 Proz. Al₂O₃) um 9 Proz. größer war, als diejenige eines Schamottesteines (63,2 Proz. SiO₂, 33 Proz. Al₂O₃). Abgesehen von der Untersuchungsmethode ist bei Silikasteinen noch zu berücksichtigen, daß dieselben nach längerer Betriebsdauer, also mit zunehmender Umwandlung des Quarzes in Tridymit auch ein Steigen der Wärmeleitfähigkeit aufweisen. Die von einigen Forschern für Quarzsteine gefundenen niedrigeren Werte lassen sich dadurch erklären, daß die für Versuchszwecke verwendeten Steine nicht hoch genug gebrannt waren. Auf jeden Fall be-

¹ Stahl u. Eisen 1918, Bd. II, S. 1205.

² Gas-World Bd. 76 (1922), S. 554 bis 558.

³ Transactions of the American Ceramic Society 1914, Bd. 16, S. 382 bis 385.

stätigt die Praxis¹ die bessere Leitfähigkeit der aus Quarz hergestellten Steine gegenüber derjenigen der Schamottesteine.

Die Anwendung der oben angegebenen Zahlenwerte für Wärmeleitfähigkeit möge an folgendem Beispiel (von *Juretzka*) gezeigt werden.

Es sollen die Kilogrammc calorien berechnet werden, welche durch eine Tonmuffel von 1,3 qm Oberfläche und 2 cm Wandstärke bei einer Temperatur der Muffelaußenwand von 1400°, der Innenwand von 1360° C während einer Stunde hindurchgehen.

k = Wärmeleitfähigkeit (1 qcm) 1 Sekunde nach der Tab. 14 durch Interpolation mit 0,003 für $t = 1400^\circ \text{C}$ gesetzt,
 $t_1 = 1400^\circ \text{C}$; $q = 1,3 \text{ qm} = 13\,000 \text{ qcm}$ (Muffeloberfläche),
 $t_2 = 1360^\circ \text{C}$; $d = 2 \text{ cm}$ (Muffelwandstärke),
 $z = 1 \text{ Stunde} = 3600 \text{ Sekunden}$; nach Einsetzung der Werte erhält man

$$x \text{ (kcal.)} = \frac{k (t_1 - t_2) \cdot z \cdot q}{d \cdot 1000},$$

$$x = \frac{0,003 \cdot 40 \cdot 3600 \cdot 13000}{1000 \cdot 2} = 2808 \text{ Cal./St.},$$

welche innerhalb einer Stunde einer Muffelbeschickung unter obigen Verhältnissen zugeführt werden. Aus der Berechnung ist ersichtlich, daß bereits kleine Differenzen in den Wandstärken ganz beträchtliche Änderungen in den transportierten Wärmemengen hervorbringen. Dies ist von besonderer Wichtigkeit bei der Konstruktion von Muffeln und Feuerungsanlagen wegen der Rentabilität des Betriebes solcher Feuerungen.

7. Spezifische Wärme.

Bei der Berechnung des Wirkungsgrades von Öfen spielt die spezifische Wärme der bei ihrem Bau verwendeten Stoffe eine wichtige Rolle, da sie Aufschluß über die Wärmemenge gibt, welche zur Erhitzung des Ofens auf bestimmte Temperaturen erforderlich ist. Die Zahl der praktischen Forschungsergebnisse bezüglich der spezifischen Wärme feuerfester Stoffe ist nicht groß. Gewöhnlich wird als Grundlage für Berechnungen der Näherungswert 0,2 angewendet. Es hat sich jedoch gezeigt, daß mit dem Steigen der Temperatur die spezifische Wärme ebenfalls zunimmt. Wenn die spezifische Wärme immer 0,2 bliebe, so würden rund 73 kg Kohle² mit einem Heizwerte von z. B. 3300 kcal. zur Erhitzung von 1 t feuerfestem Ton auf 1200° C erforderlich sein, aber die Zunahme der spezifischen Wärme bedeutet, daß diese Kohlenmenge nicht genügt. Die durchschnittliche spezifische Wärme feuerfester Steine von 0° bis 1200° C ist nach einem weiter unten angegebenen Werte gleich 0,284, so daß rund 103 kg Kohle zur Erhitzung des Materials auf die angegebene Endtemperatur rund 103 kg Kohle erforderlich wären, also 41 Proz. mehr als die erste Schätzung. Silikaziegel würden nur etwas weniger

¹ Stahl u. Eisen 1920, S. 1326 ff.

² Nach einem Beispiel in der Tonind.-Ztg.

erfordern. Dagegen beträgt die spezifische Wärme von Zirkonerde bei 1200° C nur 0,167, also wenig mehr als die Hälfte der von Steinen aus feuerfestem Ton. 1 t Zirkonerde benötigt zur Erhitzung auf 1200° daher nur rund 61 kg Kohle. Die spezifischen Wärmen der feuerfesten Stoffe sind bei hohen Temperaturen bedeutend größer als bei gewöhnlichen. Das bedeutet, daß eine größere Wärmemenge nötig ist, um ein bestimmtes Gewicht feuerfesten Materials um die gleiche Zahl von Temperaturgraden zu erwärmen. Z. B. ist die durchschnittliche spezifische Wärme von feuerfesten Schamottesteinen zwischen 100° und 300° C 0,22 und zwischen 1200° und 1400° C 0,36. Daher sind im ersteren Falle 22 Wärmeeinheiten zur Erhitzung von 1 t dieses Materials um 200° nötig, im letzteren Falle dagegen 36 Einheiten, obgleich beide Male die Temperaturdifferenz 200° beträgt. Der Brennstoffaufwand bei der höheren Temperatur verhält sich also unter sonst gleichen Verhältnissen zu dem bei der niedrigen Temperatur angenähert wie 3 : 2.

Wilson, Holdcroft und *Mellor*¹ geben für die mittlere spezifische Wärme der feuerfesten Steine in Abhängigkeit von den Temperaturen den Ausdruck: $0,193 + 0,00006 t$ an, wobei t sich auf die betreffenden Temperaturen bezieht.

Bradshaw und *Emery*² halten diesen Wert für Temperaturen oberhalb 1000° C für zu niedrig. Nach ihren Untersuchungen kommt vielmehr der folgende Ausdruck in Betracht:

$$0,193 + 0,000075 t.$$

*Knote*³ fand für einen amerikanischen Ton (Kentucky) bei Temperaturen zu 22 und 150° C den Wert für spezifische Wärme gleich 0,237; nach 16stündiger Erhitzung bis auf 650° C den Wert von 0,204 und nach 24stündiger Erhitzung bis auf 1050° C 0,200. Daraus folgt, daß die spezifische Wärme eines Tones beim Austreiben des Wassers kleiner wird.

Heyn, Bauer und *Wetzel*⁴ haben Schamottesteine mit verschiedenem Tonerdegehalt, Dinassteine, Magnesit- und Kohlenstoffsteine auf ihre spezifische Wärme bei verschiedenen Temperaturen untersucht. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in der Tab. 16 zusammengetragen.

Die Versuche zeigen, daß die spezifische Wärme bei den verschiedenen Schamottesteinen trotz der verschiedenen Zusammensetzung nur geringe Unterschiede zeigt; auch die Zunahme mit steigender Temperatur ist fast die gleiche. Fast ebenso verhält sich der untersuchte Dinasstein. Eine etwas größere spezifische Wärme zeigt bei allen Temperaturen der Magnesitstein und natürlich eine noch größere der Kohlenstoffstein.

¹ Transact. of the Ceramic Society (Engl.) Bd. XII (1913), 2. Teil, S. 279 bis 284; Sprechsaal, Heft 18, 30. April 1914, S. 306; Feuerungstechnik, Jg. 1913/14, Heft 17, S. 301.

² Transact. of the Ceramic Society (Engl.) Bd. XIX (1919/20), Part II, S. 84 bis 92.

³ Transact. of the Americ. Ceramic Society Bd. XIV (1913), S. 394 bis 396.

⁴ Mitteilungen aus d. Königl. Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde Bd. XXXIII (1914), Heft 2 u. 3, S. 89 bis 198.

Tabelle 16.

Spezifische Wärme feuerfester Steine bei verschiedenen Temperaturen nach *Heyn, Bauer und Wetzel*¹.

Material	Zusammensetzung in Proz.	Raumgewicht	Spezifische Wärme bei					
			200°	400°	600°	800°	1000°	1200°
Schamottestein	ca. 40 Al ₂ O ₃ ; ca. 57 SiO ₂	1,88	0,225	0,250	0,272	0,287	0,298	0,305
Schamottestein	30,42 Al ₂ O ₃ ; 62,23 SiO ₂ ; 1,98 Fe ₂ O ₃ ; 0,5 CaO; 0,25 MgO; 3,42 K ₂ O; 0,20 Glühverlust	1,83	0,210	0,254	0,273	0,287	0,295	0,300
Schamottestein	24,34 Al ₂ O ₃ ; 71,05 SiO ₂ ; 2,46 Fe ₂ O ₃	1,77	0,217	0,243	0,263	0,281	0,295	0,304
Schamottestein	ca. 25 Al ₂ O ₃ ; 73,7 SiO ₂ ; ca. 1,34 Fe ₂ O ₃	1,90	0,223	0,262	0,284	0,291	0,292	0,293
Dinasstein	1,56 Al ₂ O ₃ ; 96,92 SiO ₂ ; 0,62 Fe ₂ O ₃ ; 0,97 CaO; Spur MgO	2,04	0,237	0,270	0,282	0,285	0,288	0,291
Magnesitstein	88,85 MgO; 9,31 Fe ₂ O ₃ ; 0,35 CaO; 0,17 Al ₂ O ₃ ; 0,20 SiO ₂	2,35	0,253	0,275	0,291	0,307	0,324	0,340
Kohlenstoffstein	Koks und Teer	1,27	0,312	0,358	0,377	0,395	0,412	—

Auch *Steger*² fand bei der Untersuchung von 20 verschiedenen Schamotte-, Kalk- und Tondinas-, Carborundsteinen u. a., daß merkliche Unterschiede der spezifischen Wärme bei Steinen verschiedener Zusammensetzung nicht vorhanden sind. Durch die Art der Herstellung und Brenntemperatur werden die Werte nicht beeinflusst.

*Osann*³ gibt für feuerfestes Material in Winderhitzerqualität Werte an, wie in Tab. 17 gezeigt. Diese Werte stimmen ziemlich mit den Befunden anderer Forscher überein.

Tabelle 17.

Spezifische Wärme des feuerfesten Materials (Winderhitzerqualität).

Temperatur	Spez. Wärme	Temperatur	Spez. Wärme
100°	0,204	700°	0,253
200°	0,211	800°	0,257
300°	0,223	900°	0,260
400°	0,234	1000°	0,261
500°	0,242	1100°	0,262
600°	0,250	1200°	0,263

¹ Man vergleiche hierzu die Tabelle 12 auf S. 52.

² Silikat-Zeitschrift 1914, S. 203 bis 205.

³ *Osann*, Ergebnisse von Versuchen behufs Feststellung des Wärmeleitungsvermögens feuerfester Steine in Winderhitzern. Bericht über die XXIX. ord. Hauptvers. d. Vereins deutsch. Fabr. feuerf. Prod. Berlin 1909. S. 14.

In der Tab. 18 sind noch die Werte für spezifische Wärme von einigen anderen in der feuerfesten Industrie gebräuchlichen Materialien angegeben.

Tabelle 18.
Spezifische Wärme verschiedener Materialien.

Substanz	Temperatur ° C	Spezifische Wärme	Beobachter
Quarz	100 bis 0	0,187	<i>White</i> ¹
Quarzsand	98 „ 20	0,191	<i>Ulrich</i> ²
Tonerde	48 „ 3	0,200	<i>Russell</i> ³
Eisenoxyd	44 „ 3	0,160	<i>Russell</i> ³
Kalk	150 „ 0	0,113	<i>Laschtschenko</i> ⁴
Zirkonerde	100 „ 0	0,108	<i>Nilson und Pettersson</i> ⁵
Carborundum	—	0,190	<i>Tone</i> ⁶

8. Verhalten gegen Temperaturwechsel.

Feuerfeste Materialien müssen häufig einem schroffen Temperaturwechsel widerstehen, und hierbei zeigen sich wesentliche Unterschiede zwischen den beiden Gruppen der hier besprochenen feuerfesten Produkte. Am empfindlichsten sind bekanntlich in dieser Hinsicht die Silikasteine, die bei schnellem Erhitzen oder Abkühlen die unangenehme Erscheinung des Abspringens der Kanten und Ecken zeigen und leicht springen. Weniger empfindlich sind in dieser Hinsicht die Schamottmassen.

Im allgemeinen kann der Grundsatz gelten, daß die Steine mit sehr dichtem Gefüge, und solche Steine, die aus feingemahlener Masse unter hohem Druck hergestellt sind, bezüglich des Temperaturwechsels sich empfindlicher zeigen, als feuerfeste Steine mit lockeren, porösen Scherben. Häufig besteht der Fehler darin, daß die Widerstandsfähigkeit gegen schroffen Temperaturwechsel durch Zusätze beeinträchtigt wird, die die mechanische Widerstandsfähigkeit der Erzeugnisse steigern sollen, also durch Erhöhung des Flußmittelgehaltes, die zugleich eine Verdichtung des Gefüges bedingt.

Erhitzte Steine aus feinkörniger Masse zeigen beim plötzlichen Abkühlen einzelne, sehr deutliche, tiefgehende Risse. Aber auch bei grobkörnigen Massen finden sich bei genauer Betrachtung in vielen Fällen Risse; dieselben sind sehr fein, treten dagegen in großer Zahl auf. Durch diese Risse kann die Schlacke eindringen, wodurch die Haltbarkeit der Steine sehr beeinträchtigt wird.

Ein Urteil über die Widerstandsfähigkeit der Steine gegen Temperaturschwankungen ermittelt man, indem man die Probesteine mehr oder weniger

¹ *W. P. White*, Amer. Journ. Sci. Ser. IV, Bd. 47 (1919), S. 17.

² *R. Ulrich*, Wollny's Forsch. Bd. 17, S. 1. 1894.

³ *A. S. Russell*, Phys. Ztschr. Bd. 13, S. 59. 1912.

⁴ *P. Laschtschenko*, Journ. Russ. Phys.-chem. Soc. Bd. 42, S. 1604. 1910.

⁵ *L. Nilson und O. Pettersson*, Berl. Ber. Bd. 13, S. 1459. 1880.

⁶ Chem. and Metallurg. Eng. Bd. 11 (1913), S. 484 bis 486; Silikat-Zeitschrift 1914. S. 217.

stark erwärmt und sie dann durch Aufblasen eines kalten Luftstromes oder durch Eintauchen in Wasser schnell zur Abkühlung bringt.

Die Amerikaner *Hartmann* und *Hougen*¹ haben folgende Versuche angestellt. Je 5 bis 10 Ziegel der gleichen Art wurden getrocknet, gewogen und als „Binder“ in der Vorderwand eines ölgefeuerten Ofens verwendet, wo sie eine Stunde lang auf 1350° C erhitzt wurden. Sie wurden dann herausgenommen und das erhitzte Ende 15 Min. lang einem kalten Luftstrahl aus einem Strahlrohr von 2 cm Durchmesser ausgesetzt, das in der Minute 0,75 cbm Wind lieferte. Das Verfahren wurde 10 mal wiederholt und der Gewichtsverlust nach Hundertteilen wurde als Absplitterungsverlust betrachtet. Die geringste Absplitterung (0 bis 12 Proz.) erlitten Carborundumziegel und Schamotteziegel bester Sorte, 43 bis 65 Proz. Bauxitziegel, Zirkonziegel und Schamotteziegel zweiter und dritter Sorte, während Chromziegel, Quarzziegel und Magnesiaziegel schon bei weniger als 10 Behandlungen vollständig zerstört wurden. Alle Ziegel rissen während der Versuche.

Im Normenamt der Vereinigten Staaten (Bureau of Standards) hat *Geller* Ablöschversuche² bei verschiedenen Erhitzungstemperaturen der Steine vorgenommen. Für den Ablöschversuch wurden die Steine zunächst 5 Stunden lang auf 1400° C erhitzt, dann mit dem Kopf in einer Ofentür auf 850°, 1100° und 1350° C erhitzt, 3 Minuten lang zur Hälfte in fließendes Wasser gestellt, 5 Minuten lang an der Luft abgedampft und das Verfahren stündlich wiederholt, bis der Kopf des Steines völlig abgesplittert war. Die Temperatur hatte wenig Einfluß auf den Gewichtsverlust. Gute Beurteilungsmöglichkeit bot dagegen die Anzahl der Abschreckungen. Die Temperatur von 850° C eignete sich für diese Versuche am besten, da bei ihr der Unterschied in der Widerstandsfähigkeit der Steine durch die Anzahl der Abschreckungen, die sie aushielten, am deutlichsten gekennzeichnet war. So hielt der schlechteste Stein bei 850° C eine, der beste 59 Abschreckungen aus, während bei 1350° C der beste nur 8 Abschreckungen aushielt.

Tabelle 19.

Absplitterung verschiedener feuerfester Erzeugnisse (nach *Steger*).

Material	Verlust (Prozent)
Schamottesteine	9—65
Silikasteine	100
Magnesitsteine	100
Carborundumsteine (mit Ton gebunden)	0,56 je nach dem Gehalt an Bindeton
Chromitsteine	100
Zirkonerzsteine	53
Bauxitsteine	43

¹ Transact. of the Amer. Electrochem. Society 1920, S. 349 bis 352; Tonind.-Ztg. 1920, Heft 79, S. 739 bis 740.

² Journ. Americ. Ceram. Soc. 1923, Heft 10. Keramische Rundschau 1923, Heft 57.

Nach *Steger* (in *F. Singer*, „Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft“, S. 275) ist die Empfindlichkeit keramischer Massen gegen plötzlichen Temperaturwechsel ungefähr proportional dem Verlust, den ein Probekörper durch Abspringen einzelner Stücke nach dem Erhitzen auf 1350° C und schnelles Abkühlen an der Luft erleidet. Vorstehende von *Steger* in der Tab. 19 angegebenen Zahlen zeigen eine ziemliche Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Versuche von *Hartmann* und *Hougen*.

9. Widerstand gegen chemische Angriffe (Schlacken, Flugstaub, Salze, Dämpfe, Kohlenstoff).

Es ist durchaus keine Seltenheit, daß ein bei der Prüfung als höchst feuerfest befundenes Material noch deshalb nicht in allen Fällen das bestgeeignete ist, und daß die aus solchem Material aufgebauten Wände auch in nicht besonders heiß betriebenen Öfen unter Umständen ihre Feuerbeständigkeit einbüßen können. In jeder Heizanlage kommen die glühenden Ofenwände, Sohle und Gewölbe, sei es mit der Ofenbeschickung selbst oder mit den aus dieser sich entwickelnden Gasen, Dämpfen und mitgerissenen Staubteilchen in Berührung. In allen diesen Fällen treten chemische Reaktionen zwischen den Bestandteilen der Beschickung und den Ofenwandungen ein, zu welchen sich noch meistens die Wirkung der mit den Heizgasen mitgeführten Flugasche gesellt. Es entstehen infolgedessen an den nach innen gekehrten Oberflächen verhältnismäßig leicht schmelzbare glasige Überzüge, die in der Ofenhitze mehr oder weniger flüssig bleiben und die Ofenausfütterung allmählich auflösen. Dieser Zerstörungsprozeß läßt sich zwar nur selten ganz vermeiden, wohl aber dadurch wesentlich verzögern, daß man für die Ofenausfütterung nur solches feuerfestes Material wählt, welches mit den Bestandteilen der Ofenbeschickung keine leicht schmelzbaren Verbindungen bildet. Deshalb muß vor der Auswahl des feuerfesten Materials die Art der sich bildenden Schlacke festgestellt werden. Dieselbe kann sauer oder basisch sein, je nachdem in derselben Kieselsäure oder Kalk-Magnesia usw. vorhanden ist. Es galt lange Zeit und gilt noch heute die folgende Regel: Treten in einer Feuerungsanlage saure Schlacken auf, so muß an der Stelle, wo die Schlacke auftritt, saures Material verwendet werden; ist die Schlacke basisch, so muß das Mauerwerk, wo die Schlacke auftritt, aus basischen Steinen hergestellt sein.

Indessen scheint es mit dieser Vorschrift ebenso zu gehen, wie mit manchen anderen empirischen Regeln aus der feuerfesten Industrie. *Rieke* betont z. B., daß es nicht immer das Richtige ist, bei der zu erwartenden Einwirkung von basischen Schlacken oder anderen basischen Stoffen sog. basische d. h. tonerdenreiche Schamottesteine zu verwenden. Es hat sich im Gegenteil häufig gezeigt, daß rein saure Steine sich hierbei als dauerhafter erweisen, und zwar dadurch, daß die basischen Stoffe, seien es nun Alkalien, Kalk oder andere, anfänglich mit dem sauren feuerfesten Material in Reaktion treten, daß dann aber die sich bildende Silikatschicht das Material vor weiterem Angriff lange Zeit zu

schützen vermag. Es ist ja eine aus der Silikatchemie bekannte Tatsache, daß der Schmelzpunkt der reinen Silikate meist herabgesetzt, wenn Tonerde aufgenommen wird, und daß die entstehenden Alumosilikate niedriger schmelzen. Die Einwirkung basischer Stoffe führt also besonders schnell eine Zerstörung herbei, wenn das feuerfeste Material neben Kieselsäure noch größere Mengen Tonerde enthält.

Die Widerstandsfähigkeit gegen Schlacken steht in engem Zusammenhang mit der Porosität der Steine, denn Steine mit vielen großen Poren dem Eindringen der Schlacken und Metalle in viel höherem Maße ausgesetzt sind, als dichte Steine. Bei porösen Steinen können die geschmolzenen Schlacken, oder die Asche, oder die Salze ungehinderter in das Innere eines solchen Steines gelangen, die Angriffsfläche wird also bei derartigen Steinen stark vergrößert, während bei einem völlig dichten Stein nur die Oberfläche angegriffen werden kann.

Mit der angreifenden Einwirkung von Alkalien auf Schamotteerzeugnisse befassen sich *D. und W. E. S. Turner*, die auf Grund ihrer eingehenden Arbeit (*Journal of the Glass Technology*, September 1923, S. 207—217; Referat: *T. J. Z.* 1924, Nr. 57, S. 626—627) zu folgenden Schlußfolgerungen kommen: Natrium- und Kaliumcarbonate, -nitrate und Borax greifen schon bei 800° gut gebrannten feuerfesten Ton stark an, trotzdem diese Temperatur unterhalb des Schmelzpunktes der reinen Carbonate und des Boraxes liegt. Sehr stark ist die Angriffswirkung der Nitrate, noch stärker die des Borax. Stets ist die Angriffswirkung des Kalisalzes stärker als die des Natriumsalzes. Natriumsulfat hat bei 800° im Verhältnis zu Carbonat oder Nitrat nur eine verhältnismäßig leichte Angriffswirkung. Auf den bei 1400° gebrannten Ton ist die Angriffswirkung stets geringer als auf denselben bei 1300° gebrannten. Eine schnelle Zunahme der Zersetzung tritt bei Erhöhung der Versuchstemperatur ein. Bei 900° ist die Einwirkung um ein mehrfaches stärker als bei 800°. Am auffallendsten und wichtigsten bei diesen Versuchsergebnissen ist die Tatsache, daß die Alkalisalze schon bei 800° den feuerfesten Ton angreifen, selbst wenn dieser gründlich bei 1400° gebrannt ist, und daß schon bei dieser niedrigen Temperatur Schmelzung in merklichem Grade eintritt. In mehreren Fällen konnte eine Gewichtszunahme der Schamotte durch Absorption des Alkalisalzes oder durch Eintreten einer Reaktion beobachtet werden. Diese Tatsache läßt die Vermutung zu, daß neutrale Salze an sich nur eine geringe Wirkung auf feuerfeste Stoffe ausüben, und daß eine merkliche Wirkung erst dann eintritt, wenn ihre Zersetzung unter Abgabe von Alkalioxyden beginnt. In diesem Falle wäre die Zersetzungstemperatur von größerer Bedeutung als der Schmelzpunkt.

Bezüglich der chemischen Einwirkung auf das feuerfeste Material verweise ich noch auf verschiedene andere Kapitel des vorliegenden Werkes, wo ähnliche Prozesse der Einwirkung der Salze, Schlacken, Metaldämpfe, Kohlenstoff usw. auf das feuerfeste Material eingehend beschrieben sind.

Zusammensetzung, Schmelzpunkt und Verhalten von Kohlenaschen sind außerordentlich verschieden. Selbst aus derselben Grube stammende

Kohlen weisen in dieser Hinsicht große Unterschiede auf. Proben aus vier übereinanderliegenden Flözen einer westfälischen Zeche hatten die in Tabelle 20 angegebene Zusammensetzung¹.

Tabelle 20.
Zusammensetzung der Aschen aus vier Flözen derselben Grube.

Zusammensetzung	Flöz 1 Proz.	Flöz 2 Proz.	Flöz 3 Proz.	Flöz 4 Proz.
Kieselsäure	46,8	38,2	39,1	32,2
Tonerde	30,2	34,1	19,5	17,9
Eisenoxyd	21,3	15,1	21,5	17,4
Kalk	1,7	12,3	10,7	17,8
Magnesia	Spur	1,2	3,5	7,0

Die Zusammensetzung der Asche einiger deutscher Steinkohlen zeigt Tabelle 21, diejenige einiger amerikanischer Kohlen Tabelle 22.

Tabelle 21.
Zusammensetzung der Asche einiger deutscher Steinkohlen.

Herkunft der Kohle	Kieselsäure Proz.	Tonerde Proz.	Eisenoxyd Proz.	Kalk Proz.	Magnesia Proz.
Ruhr	27,4	22,6	46,9	2,7	—
Aachen	1,7	2,1	60,8	19,2	5,0
Oberschlesien	55,4	18,9	16,1	3,2	1,9
Niederschlesien . . .	31,3	8,3	54,5	3,4	1,6
Sachsen	45,3	22,5	25,8	2,8	0,5

Tabelle 22.
Zusammensetzung der Asche einiger amerikanischer Steinkohlen.

Art der Kohle	Herkunft	Aschen-Zusammensetzung										Zusammensetzung der Kohle		Erweichungspunkt ° C
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₂	Schweffel	Asche		
		Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.		
Bituminös	Thomson, Ala.	54,8	27,0	7,0	1,3	4,3	1,7	0,3	3,1	1,4	0,6	17,5	1425	
Halbbituminös	Pocahontas Nr. 3 W.-Va	37,2	25,5	11,8	1,5	12,6	1,9	1,4	0,4	5,6	0,6	5,9	1322	
Bituminös	Mingo, Tenn.	42,2	30,6	19,0	1,2	1,3	1,0	1,3	2,9	0,2	1,4	7,5	1490	
Bituminös	Nr. 5, Ind.	37,1	17,5	35,9	0,7	3,2	0,9	0,4	1,8	2,3	5,8	11,5	1335	
Bituminös	Coal Creek, Tenn.	12,3	12,2	69,7	0,4	3,9	0,7	0,3	0,6	0,2	5,8	8,2	1458	

Einen gewissen Maßstab für die Schmelzbarkeit einer Asche gibt das Verhältnis ihres Gehaltes an Flußmitteln zu ihrem Gehalt an Tonerde und Kieselsäure. Je größer der Wert

$$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2}{\text{F}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO}}$$

¹ Münzinger, Kohlenstaubfeuerungen für ortsfeste Dampfkessel. Verlag Julius Springer. Berlin 1921. S. 67.

ist, um so höher soll der Schmelzpunkt liegen. Eine zuverlässigere Beurteilung soll aber das Verhältnis $\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$ und das Verhältnis des Gehaltes an Tonerde zu den Basen geben.

Die Untersuchung von zwei feuerfesten Steinen aus einem großen, mit rheinischer Braunkohle gefeuerten Kraftwerk ergab folgende Werte:

Tabelle 23.
Untersuchungsergebnisse von zwei Schamottesteinen.

Stein-Analyse	Glüh- verlust Proz.	SiO_2 Proz.	Al_2O_3 Proz.	CaO Proz.	MgO Proz.	Fe_2O_3 Proz.	Sege- kegel S. K.	Porosi- tät Proz.	Lineare Ausdehn. nach sechs Bränden Proz.
Stein I	0,35	58,61	36,67	0,25	0,12	2,00	33	14,8	0,59
„ II	0,28	58,81	36,83	0,20	0,09	2,11	33	12,4	0,66

Diese Steine wurden von den Kohlenrückständen schnell und vollkommen zerstört, und zwar auch an Stellen, wo nur Flugasche an das Steinmaterial herankommen konnte. Die Zusammensetzung der aggressiven Asche zeigt Tabelle 24.

Tabelle 24.
Zusammensetzung der Asche einer rheinischen Braunkohle.

Glühverlust	5,20	Proz.
„ davon CO_2	3,85	„
Kieselsäure	2,78	„
Tonerde	6,47	„
Fe_2O_3	13,00	„
CaO	62,10	„
MgO	5,88	„
Alkalien	1,22	„
Schwefelsäurehydrid	3,42	„
Schwefel	0,22	„

Die Asche enthält außerordentlich wenig SiO_2 und wirkte deshalb so zerstörend, weil zu ihrem hohen Kalkgehalt noch ein starker Gehalt an Fe_2O_3 hinzukommt. Bei der Untersuchung im Laboratorium fraß die Schlacke schon bei SK 14 bis 17 (1410 bis 1480° C) das Steinmaterial auf 20 mm Tiefe glatt weg. Der Stein hatte zwar einen guten Kegelschmelzpunkt, enthielt aber sehr viel Schamotte und ziemlich große, ungleichmäßig verteilte Quarzkörner. Sein Bruch war sehr porös. Die schnelle Zerstörung nimmt daher nicht wunder.

Das Verhalten einiger Steine gegen Schlackenangriffe zeigt ferner die folgende (von Münzinger angegebene) Tab. 25.

Oftmals enthält das Brennmaterial, besonders Steinkohlen, nicht unbedeutliche Mengen von Salzen. Dieses Salz verflüchtigt sich in der Hitze, verdampft zum Teil und wird durch die Kieselsäure der glühenden, feuerfesten Steine bei Gegenwart der nie fehlenden Wasserdämpfe in Natron und Chlorwasserstoff zersetzt; das Natron bildet mit den wichtigsten Bestandteilen der feuerfesten Steine (Kieselsäure und Tonerde) nach Art der Salzglasur

Tabelle 25.
Einwirkung der Schlacken auf einige Schamottesteine.

Nr.	1	2	3	4	5	6	7
Verwendungszweck der Steine	Feuergewölbe			Feuerungswangen und Feuerbrücke		zweiter Zug	
Chemische Zusammensetzung:							
Glühverlust Proz.	0,26	0,48	0,17	0,13	0,20	0,20	0,36
Kieselsäure „	59,83	70,86	71,97	64,44	71,33	76,45	82,56
Tonerde „	36,30	26,43	26,05	32,80	26,53	20,82	14,33
Eisenoxyd „	2,10	1,59	1,45	2,89	1,58	1,69	0,99
Summe Proz.	98,49	99,36	99,64	99,66	99,64	99,16	98,24
Seegerkegel „	34	32–33	31	33	32	31	30
Porosität „	16,0	20,1	12,8	19,6	20,2	17,0	19,9
Schlackenangriff von Schlacke, die bei Seegerkegel 16 aufgebrannt wurde	Schlacke frißt sich unter Zerstörung 10 mm tief ein	—	—	Schlacke mit Stein verschmolzen und bis 5 mm tief eingedrungen	Schlacke mit Stein verschmolzen und bis 5 mm tief eingedrungen	Schlacke drang nur an einigen Stellen ganz wenig in den Stein ein	—
Volumenbeständigkeit:							
Schwindung	I. Brand Proz.	—	1,27	1,88	—	—	—
	II. „ „	—	1,67	2,20	—	—	—
	III. „ „	—	1,71	2,77	—	—	—
	IV. „ „	—	1,72	2,86	—	—	—
Gesamturteil:							
	Hoher Tonerdegehalt, hohe Feuerfestigkeit, geringer Widerstand gegen Schlacke	Mittlerer Tonerdegehalt, befriedigende Feuerfestigkeit, mäßiges Nachschwinden	Mittlerer Tonerdegehalt, mittlere Feuerfestigkeit, beträchtliches Nachschwinden	Hoher Tonerdegehalt, hohe Feuerfestigkeit, befriedigende Widerstandsfähigkeit gegen Schlacke	—	—	—

eine leichtflüssige Schlacke, während die Chlorwasserstoffentwicklung ein schwammartiges Aussehen der Steine zur Folge hat. Letzteres macht sich besonders bei der Verfeuerung von Koks bemerkbar.

*Mellor*¹ hat Untersuchungen über Einwirkung verschiedener Arten von Flugstaub auf feuerfeste Materialien bei 1400° ausgeführt, und zwar

¹ Gas-Journal, London 1918, 19. Nov., Nr. 2897, S. 421 bis 423; Stahl u. Eisen 1919, Nr. 18, S. 479.

mit dem Bestreben, sich möglichst an die Verhältnisse der Praxis anzulehnen. Die angewandten Arten des Flugstaubes nebst Zusammensetzung sind in der Tab. 26 und die Zusammensetzung der Versuchssteine in der Tab. 27 angegeben.

Tabelle 26.
Zusammensetzung der Flugstaube.
(Gesiebt durch ein 60er Sieb, engl. Siebnummer.)
Vgl. Tab. 27 und 28.

Bestandteile	Braune Flugasche von Kesselfeuerungen		Flugstaub vom oberen Retortenlager einer Gasanstalt	Flugstaub vom Schlackenfang eines Stahlschmelzofens	Flugstaub aus dem Cowpersapparat eines Hochofens	Rotfelsenzerz	Puddelschlacke		Kalkstaub	Mischung von Kalk und Kochsalz 1:1	Kochsalz	Natronumfikat	Kochsalz mit Kalifeidpat 1:1	Natrium und Calciumfikat 1:1
	18,33	44,98	20,40	28,76	13,76	6,80	15,60	3,05						
SiO ₂	18,33	44,98	20,40	28,76	13,76	6,80	15,60	3,05						
TiO ₂		0,82	0,67	0,61	0,13									
Al ₂ O ₃	2,92	9,50	10,07	8,32	7,12	1,40	0,68	0,35						
Fe ₂ O ₃	45,34	32,28	55,86	43,60	26,60	89,94	8,76	25,86						
MnO				0,99	2,08			1,40						
MgO	2,26	1,18	0,55	0,83	2,16	Sp.	0,85	0,40						
CaO	12,48	3,54	2,25	10,92	9,10	0,96	1,30	0,26						
K ₂ O	1,40	3,62	2,60	1,74	6,61	0,33								
Na ₂ O	1,30	0,32	0,74	0,32	1,66									
Glühverlust	4,21	3,51	3,84	0,72	8,32									
P ₂ O ₅				3,32	1,26	0,05	6,42	0,87						
SO ₃	11,62		3,31		6,48		0,62							
ZnO					15,49									
FeO							65,32	67,46						

Normale Zusammensetzung als bekannt vorausgesetzt.

In Ermanglung¹ einer quantitativen Ausdrucksweise wurde der Einfluß der verschiedenen Flugstaubarten auf das feuerfeste Material lediglich auf Grund makroskopischer Beobachtung der veränderten Oberfläche des ganzen

Tabelle 27.
Zusammensetzung der Versuchsteine.
(Vgl. Tab. 26 und 28.)

Bestandteile	Schamottesteine		Quarzsteine		
	2—3 mm, dicht gebrannt	3—4 mm, loser Gefüge	Ungleichmäßig grobkörnig, bis zu 6 mm	Fein und gleichmäßig gekörnt	Dichtes Gefüge, 3—4 mm
SiO ₂	62,00	66,81	94,34	93,52	93,66
TiO ₂	1,09	1,52	0,36	0,36	0,26
Al ₂ O ₃	31,72	27,33	1,96	2,87	2,10
Fe ₂ O ₃	3,89	2,19	0,83	0,22	1,30
MgO	0,42	0,35	0,06	0,26	0,06
CaO	0,47	0,22	2,04	2,50	1,44
K ₂ O	0,40	1,06	0,28	0,46	0,60
Na ₂ O	0,21	0,69	0,21		
Glühverlust . . .	—	0,17	0,12	0,26	0,22

¹ Stahl u. Eisen 1919, Nr. 18, S. 479.

und der Schnittfläche des durchsägten Versuchssteines, sowie (vor allem bei den Silikasteinen) auf Grund mikroskopischer Untersuchung von Dünnschliffen durch bloße Angabe des mehr oder weniger tief erfolgten Eindringens und durch den Grad der erfolgten Anfrassung (als lösende Wirkung des angeschmolzenen Flugstaubes) zum Ausdruck gebracht. Eine gedrängte Zusammenfassung dieser qualitativen Ausdrucksweise gibt die Tab. 28.

Tabelle 28.
Einwirkung von Flugstaub auf feuerfestes Material.
(Vgl. Tab. 26 und 27.)

Ed. = Eindringen; Af. = Anfrassung; l. = leicht; m. = mittel; t. = tief; v. = völlig.

Flugstaub	Schamottesteine		Quarzsteine	
1. Mit hohem CaO- und Fe ₂ O ₃ -Gehalt. . .	t. Ed.	m. Af.	—	—
2. Eisenhaltig.	l. „	l. „	—	—
3. „	v. „	l. „	t. Ed.	v. Af.
4. Basisch	t. „	l. „	t. „	m. „
5. Eisenhaltig mit viel Kalk	v. „	m. „	t. „	m. „
6. Roteisenerz (reduz. Flamme).	—	—	t. „	l. „
7. Puddelschlacke	—	—	t. „	l. „
8. „	t. Ed.	v. Af.	t. „	m. „
9. Kalk	l. „	m. „	l. „	m. „
10. Kalk und Kochsalz.	l. „	m. „	l. „	m. „
11. Kochsalz.	t. „	l. „	l. „	m. „
12. Sulfat	l. „	l. „	l. „	m. „
13. Kochsalz und Feldspat	l. „	l. „	l. „	m. „
14. Natronkalkglas	l. „	l. „	l. „	m. „

Bei den Quarzsteinen ist die Tiefe des Eindringens im allgemeinen um so geringer, je feiner die Körnung. Hauptsächlich wird das Bindemittel angegriffen, was besonders bei den Steinen gröberer Körnung zum Ausdruck kam. Ist viel Bindemittel zwischen den Quarzkörnern, so wird es stärker angegriffen als bei dichter Körnung. Bei oxydierender Flamme greift Eisenoxyd Quarzsteine nicht nennenswert an; in reduzierender Flamme hingegen wirken die gebildeten Eisensilikate als stark korrodierende Flußmittel. Im allgemeinen greifen Eisenoxyde Schamottesteine mehr an als Quarzsteine. Wie die mikroskopische Untersuchung ergab, wirkt Flugstaub auf Quarz als „Mineralisator“ und begünstigt die Umwandlung desselben in Tridymit und Cristobalit. Diese Wirkung ist bei größeren Quarzkörnern, bei denen augenscheinlich kein Eindringen und chemische Wirkung des Flugstaubes erfolgte (und auch im Falle von Eisenoxyd in oxydierender Flamme), unter dem Mikroskop deutlich zu verfolgen. Wird durch die Einwirkung des Flugstaubes die Entstehung einer Glasur herbeigeführt (was in der Praxis mitunter mit Absicht geschieht), so wirkt sie schützend gegen den weiteren Angriff bzw. verlangsamt das Fortschreiten desselben, vorausgesetzt, daß die Lage der betr. Oberfläche das Abtropfen der leichtflüssigen Glasur nicht begünstigt, weil dann ein mitunter sehr rasches Abschmelzen und völliges Wegfressen des Steinmaterials die

Folge sein kann. In dieser Hinsicht war die Versuchsanordnung ungünstig, da sie die Versuchssteine einer zu krassen Beanspruchung unterwarf.

Vollständigkeitshalber möge an dieser Stelle auf den interessanten Vortrag von *Hirsch* über „Feststellung des Angriffes verschlackend wirkender Stoffe auf Schamotte“ in dem Bericht über die 32. ordentliche Hauptversammlung des Vereins deutscher Fabriken feuerfester Produkte, Berlin 1912 hingewiesen werden. In dieser Arbeit sind Angriffe von Kupolofenschlacke, Koksasche, Marmor, Zement usw. verfolgt worden.

10. Porosität, Dichte und spez. Gewicht.

Die Kenntnis der Porosität hat insofern einen großen praktischen Wert, als diese mitbestimmend ist für die chemische Widerstandsfähigkeit, da ein dichtes Material chemischen Angriffen durch Gase, Dämpfe, Schlacken u. dgl. einen erheblich größeren Widerstand entgegenzusetzen vermag als ein poröses. Auch ist die Wärmeleitfähigkeit bei porösem Material geringer. Daß ferner ein stark poröses Erzeugnis meist eine geringere Festigkeit aufweist als ein dichteres, liegt in der Natur der Sache. Dagegen sind im allgemeinen dichte Materialien — ebenso wie feinkörnige — erheblich empfindlicher gegen schroffen Temperaturwechsel als poröse und mit groben Körnern durchsetzte Massen. Noch einen weiteren Gesichtspunkt soll man nicht unerwähnt lassen: quarzreiche Massen zeigen infolge der allmählichen Umwandlung des Quarzes in spezifisch leichtere Modifikationen — Cristobalit oder Tridymit — ein dem Grade dieser Umwandlung entsprechendes „Wachsen“ bei hoher Temperatur. Je dichter die Masse nun ist, um so mehr tritt diese Volumzunahme äußerlich in Erscheinung, während bei porösen Massen ein Teil dieser Zunahme durch die vorhandenen Poren aufgenommen wird (vgl. Vortrag von *Rieke* im Gas- und Wasserfachmänner-Verein, Gas- und Wasserfach 1923, Hefte 3—5). Somit kann man aus der Dichte bei Quarzsteinen gewissermaßen den Grad der Umwandlung des Quarzes feststellen und annähernde Schlüsse auf die weiteren Volumänderungen dieser Steine im Betriebe schließen (vgl. Tab. 29).

Tabelle 29.
Dichte von Quarz und seinen Modifikationen¹.

Modifikation	Dichte	Forscher
Quarz.	2,65	
Tridymit	2,270	Künstlicher Tridymit; <i>Fenner</i>
„	2,28	Natürlicher Tridymit; <i>Mallard</i>
„	2,32	<i>Endell</i>
Christobalit	2,333	Künstlicher Christobalit; <i>Fenner</i>
„	2,34	Natürlicher Christobalit; <i>Mallard</i>
„	2,33	<i>Endell</i>
Quarzglas	2,21	<i>Dana, Endell</i>
„	2,194	<i>Schwarz</i>

¹ Stahl u. Eisen 1918, S. 1203.

Die gepreßten Steine weisen naturgemäß im allgemeinen eine höhere Dichte auf. *Nesbitt* und *Bell*¹ haben Parallelversuche mit Steinen, die von Hand geformt und solchen, die gepreßt waren, angestellt. Sie fanden, daß die gepreßten Steine den handgeformten bedeutend überlegen waren; die gepreßten Steine ergaben bei Kugeldruckversuchen einen kleineren Eindruck, zerbrachen bei Fallversuchen bei einer bedeutend größeren Fallhöhe, zeigten bei hoher Temperatur eine geringere Abreibung, nahmen bedeutend weniger Schlacke auf und erwiesen einen etwas kleineren Absplitterungsverlust. Auf die Ausdehnung bei hoher Temperatur schien dagegen die Pressung der Steine keinen Einfluß gehabt zu haben. Bei Steigerung des Pressungsdruckes von 12 auf 175 kg/qcm haben sich die obigen Eigenschaften der Steine nur wenig geändert.

Nach den Versuchen von *Hahn* zeigen die geringste Wasseraufnahme die Steine, die in die Form gestampft sind; dann folgen die nachgepreßten Steine, hierauf die handgestrichenen und endlich die durch Abschneiden von der Ziegelpresse hergestellten Steine.

Die Dichte und Porosität einiger zum Vergleich angezogener feuerfester Massen ist aus der Tab. 30 ersichtlich. Es sei noch bemerkt, daß die Werte für wahre Porosität sich auf das zerkleinerte Steinmaterial beziehen, während der Begriff scheinbare Porosität einschl. Poren zu verstehen ist.

Tabelle 30.
Dichte und Porosität feuerfester Erzeugnisse.

Bezeichnung der feuerfesten Masse	Brenn- temperatur	Dichte		Porosität	
		wahre	scheinbare	wahre	scheinbare
	1	2	3	4	5
Graphit	—	—	—	—	—
Schamottestein	1050	2,61	1,81	30,8	17,08
„	1200	—	—	—	—
„	1300	2,5	1,9	24,1	12,1
Bauxitstein	1300	3,12	1,92	38,4	22,0
„	1050	3,22	1,89	41,5	22,0
Quarzstein	1300	2,62	1,50	42,9	28,63
Magnesitstein	1300	3,39	2,0	41,0	20,64
„	1050	3,07	2,0	35,1	17,61
Glashafenstein	1200	2,65	1,86	29,7	15,95
„	1600	2,50	1,95	21,9	11,20
Carborundumstein	1300	—	—	—	—
Chromitstein	1300	3,38	2,49	26,4	10,60
Chromittonstein	1300	4,09	2,62	35,9	19,60
Kieselgurstein	—	2,48	1,03	58,0	57,0

Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes, die am einfachsten im Pyknometer an fein gepulvertem Material vorgenommen wird, hat einen besonderen Wert bei Silikasteinen: Ein niedriges spez. Gewicht, welches sich dem Werte 2,30 nähert, deutet bei diesen Steinen auf eine schon weit vorgeschrittene Umwandlung des Quarzes hin. Je mehr sich das spez. Gewicht

¹ The Iron Trade Review 1916, 13. Juli, S. 71; Stahl u. Eisen 1917, Heft 1.

demjenigen des Quarzes, welches 2,60 bis 2,65 beträgt, nähert, um so größer wird im allgemeinen das beim Gebrauch zu erwartende „Wachsen“ sein. Umgekehrt deutet (nach *Riecke*) ein hohes spez. Gewicht von 3,5 bis 3,6 bei Magnesitsteinen auf einen hohen Gehalt an krystallisiertem MgO (Periklas) hin, während bei niedrigeren Werten durch spätere allmähliche Verdichtung und Krystallisation der Magnesia ein Nachschwinden und Reißen eintreten kann. Auch die ändern Eigenschaften, wie Wärmeausdehnung und Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel, stehen in engem Zusammenhange mit der Höhe des spez. Gewichtes, doch lassen sich ganz genaue Beziehungen noch nicht angeben.

Von Wert ist die Bestimmung des spez. Gewichtes auch dann, wenn man die Unveränderlichkeit feuerfester Produkte bei längerem oder öfterem Erhitzen auf hohe Temperaturen prüfen will. Beginnende oder fortschreitende Schmelz- oder Umwandlungsvorgänge verändern stets das spez. Gewicht der Masse, so daß die Bestimmung desselben nach jedem weiteren Brande auf das Auftreten oder Ausbleiben derartiger Vorgänge schließen läßt.

11. Gasdurchlässigkeit.

Die Durchlässigkeit feuerfester Steine gegenüber Gasen ist bei ihrer Anwendung für metallurgische Öfen, Muffeln usw. außerordentlich wichtig, da hiervon der Wirkungsgrad der Feuerung beeinflußt wird. Im Hüttenbetrieb wirken auf die feuerfesten Steine zerstörend besonders Fluorwasserstoffsäure und Zinkdämpfe (s. d. auf S. 103) ein. Sehr häufig sind die Gase Träger von flüssigen und festen Stoffen (z. B. im Martinofen Kalkspat), die auf das Steinmaterial zerstörend wirken und Silikasteine schnell zum Abschmelzen bringen. Außerdem bewirkt die Durchlässigkeit nicht allein einen Verlust an Gas für die betreffenden Öfen, sondern auch einen Verlust an Wärme, die mit den durch die Ofenwände hindurchgehenden Gasen entweicht.

Die Gasdurchlässigkeit der feuerfesten Steine ist größer oder geringer, je nachdem die Poren innerhalb des Gesteins ein zusammenhängendes Netz bilden oder einzelne in dem Steine für sich abgeschlossene Räume darstellen. Der Dichtigkeitsgrad oder die Porosität (also die Gesamtmenge der Porenräume) eines Steines gibt also kein unmittelbares Maß für seine Gasdurchlässigkeit; vielmehr ist die Gasdurchlässigkeit von der Gestalt und Größe der Porenkanäle abhängig; daher kommt es, daß z. B. Graphitsteine, die eine ziemlich große Porosität, aber nur sehr kleine Poren besitzen, fast undurchlässig für Gase sind. Es kommt ferner hinzu, daß die Gasdurchlässigkeit nach der Herstellung des Steines in der Richtung seiner 3 Achsen verschieden ist.

Die Gasdurchlässigkeit wird ausgedrückt durch die Luftmenge in Litern, die in einer Stunde durch eine Fläche von 1 qm Größe bei 1 m Steinstärke hindurchgeht.

Die Versuchsergebnisse beweisen, daß die Gasdurchlässigkeit je nach der Höhe der Brenntemperatur, der Korngröße und Pressung der Steine stark wechselt. Man vergleiche hierzu die Zahlentafel 31.

Zahlentafel 31.

Gasdurchlässigkeit feuerfester Steine im Vergleich mit ihren anderen Eigenschaften.

Bezeichnung	Annähernde chemische Zusammensetzung	Brenntemperatur	Leitfähigkeit		Dichte		Porosität in Vol. %		Durchlässigkeit										
			k g. WE für 1 Sek., 1 qcm Querschn., 1 cm Dicke, 1° Diff.	K kg. WE für 1 Std., 1 qm Querschn., 1 m Dicke, 1° Diff.	δ winkl.	δ scheinb.	Porosität in Vol. %	Porosität in Gew. %	v für 1 cm Luft, 1 qcm Querschn., 1 cm Dicke in 1 Sek.	V für 1 l Luft, 1 qm Querschn., 1 m Dicke in 1 Stde.									
Steine aus	in Proz.																		
ff. Ton . .	78 SiO ₂ ; 18 Al ₂ O ₃ ;	1050	0,0037	1,32	2,61	1,81	30,8	17,1	0,0409	14,72									
ff. „ . .	3,3 Fe ₂ O ₃ ; 0,5 CaO										1300	0,0050	1,81	2,50	1,90	24,1	12,1	0,0690	24,84
ff. „ . .	66 SiO ₂ ; 29 Al ₂ O ₃ ;	1050	0,0035	1,25	2,59	1,81	29,4	16,1	0,1050	37,84									
ff. „ . .	4,0 Fe ₂ O ₃ ; 0,5 CaO										1300	0,0042	1,50	2,55	1,78	30,2	16,0	0,2950	106,20
Bauxit . .	28 SiO ₂ ; 66 Al ₂ O ₃ ;	1050	0,0031	1,11	3,22	1,89	41,5	22,0	0,0292	10,50									
„ . .	5 Fe ₂ O ₃										1300	0,0033	1,19	3,12	1,92	38,4	20,0	0,2120	76,39
Quarz . .	94 SiO ₂ ; 1 Al ₂ O ₃ ;	1050	0,0020	0,71	2,75	1,58	42,6	27,0	0,0092	3,32									
„ . .	2 Fe ₂ O ₃ ; 2 CaO										1300	0,0031	1,12	2,62	1,50	42,9	28,6	0,5360	192,90
Magnesia .	1 SiO ₂ ; 0,5 Al ₂ O ₃ +	1050	0,0058	2,08	3,07	2,00	35,1	17,6	0,5170	186,10									
„ . .	Fe ₂ O ₃ , 95 MgO										1300	0,0066	2,35	3,39	2,00	41,0	20,6	0,0097	3,49
Magnesia v. Euböa .	mit mehr Fe ₂ O ₃ wie vorstehend	1300	0,0071	2,54	3,50	2,40	31,5	13,2	0,0150	5,40									
Carborundum	75 SiC; 20 SiO ₂ ; 3 Al ₂ O ₃ ;	1050	0,0033	1,20	3,02	1,96	35,2	17,0	0,0053	1,90									
„	1 Fe ₂ O ₃ ; 1 CaO + MgO										1300	0,0145	5,22	2,83	1,96	30,6	15,6	0,0043	1,55
Graphit . .	48,5 C; 30,5 SiO ₂ ; 18 Al ₂ O ₃ ; 2 Fe ₂ O ₃	1050	0,0059	2,12	—	—	—	—	0,0057	2,07									
„ . .											710	0,0141	5,08	—	—	—	—	—	—
„ . .											1300	0,0185	6,66	2,37	1,70	28,4	16,7	0,0012	0,40
„ . .	englischen Ursprungs	1300	0,0240	8,64	2,42	1,79	26,0	14,5	—	—									
Chromeisenstein (agglomeriert) . .	—	1050	0,0028	1,00	3,38	2,31	31,7	13,7	0,0032	1,15									
„	—	1300	0,0034	1,23	3,38	2,49	26,4	10,6	0,0075	1,70									
Chromeisenstein (nicht agglomer.)	—	1050	0,0025	0,89	4,09	2,62	35,9	13,0	0,0963	34,67									

Die praktische Anwendung der Zahlenwerte für Gasdurchlässigkeit möge an folgendem Beispiel (von *Juretzka*) gezeigt werden.

Es soll die Gasmenge (Liter Gas) berechnet werden, welche in eine unglasierte Muffel (von 1,3 qm Oberfläche) aus Ton (von 2 cm Wandstärke) aus dem Ofen während 2 Stunden hereindringt. Der Gasüberdruck im Ofen ist mit 1,7 mm, in der Muffel mit 1,2 mm Wassersäule gemessen worden.

$$x \text{ l Gas} = \frac{v \cdot q}{1000 \cdot d} \cdot (p_1 - p_2) \cdot z,$$

$v = 0,069$ aus der Tabelle (Gasdurchlässigkeitskoeffizient) bei 1 cm Wassersäuledruckdifferenz und 1 cm Wandstärke,

$q = 1,30 \text{ qm} = 13\,000 \text{ qcm}$ (Muffeloberfläche),

$d = 2 \text{ cm}$ (Muffelwandstärke),

$p_1 - p_2 = 1,7 - 1,2 \text{ mm} = 0,5 \text{ mm} = 0,05 \text{ cm}$ Wassersäule Druckdifferenz,

$z = 2 \text{ Stunden} = 7200 \text{ Sekunden}$,

$$x = \frac{0,069 \cdot 13000}{1000 \cdot 2} \cdot 0,05 \cdot 7200 \text{ (l Gas),}$$

$x = 161,46$ l Gas, welche innerhalb 2 Stunden aus einem Ofen mit 0,5 mm Druckdifferenz gegen Innenraum der Muffel in diese einströmen würde. Bei glasierten Muffeln oder bei alten dichtgebrannten Muffeln ist die Gasdurchlässigkeit geringer.

12. Farbe.

In erster Linie beeinflußt die Färbung der feuerfesten Erzeugnisse der Eisengehalt der hierfür verwandten Rohstoffe; insbesondere spielt hierbei die Höhe des Eisengehaltes verglichen mit dem Tonerdegehalt eine Rolle. Ferner kommen in Betracht die sonstigen Beimengungen der Rohstoffe, wobei der Kalk besondere Beachtung verdient, dann die Zusammensetzung und die Temperatur der Feuergase, sowie die Dichte der gebrannten Tone.

Abgesehen von etwaigen Kohlenstoffablagerungen infolge stark rauchigen Feuers und oberflächlichen Verunreinigungen durch Flugasche, fällt die Ermöglichung der Färbungserscheinungen bei den genannten Umständen lediglich dem Eisengehalt der Rohstoffe zu. Je höher der Eisengehalt im Vergleich zur Tonerde ist, desto kräftiger ist die Färbung. Die Farbe eines Schamottesteines hängt von der Brennfarbe der zu seiner Herstellung verwendeten Rohstoffes ab. Sächsische Steine, für die häufig weißbrennende Kaoline benutzt werden, sehen meist weißlich, westdeutsche Steine meist braungelb aus. Bräunliche Farbe rührt zwar im allgemeinen vom Eisenoxydgehalt des benutzten Tones her, der aber oft so niedrig ist, daß er den Schmelzpunkt nicht wesentlich herabdrückt. Ähnlich verhält sich das Eisen bei der Herstellung von Dinassteinen, wenn ein eisenhaltiger Quarz zur Verarbeitung gelangt, der aber sonst eine genügende Feuerfestigkeit und Feuerbeständigkeit aufweist, um die Herstellung eines noch brauchbaren Steines zu ermöglichen. In Anbetracht der färbenden Eigenschaft des in den Rohstoffen enthaltenen Eisenoxyds werden die verschiedenen eisenhaltigen Rohstoffe bei gleichem Brand verschieden gefärbte Ware ergeben, die sich aber bezüglich der Güte nicht zu unterscheiden braucht.

Was nun die Wirkung der Feuergase anbetrifft, so beobachtet man, daß bei oxydierendem Feuer gebrannte feuerfeste Erzeugnisse alle Farbenabstufungen von schwachrot bis gelblich aufweisen können, bei reduzierendem Feuer tritt im allgemeinen eine schwärzliche Färbung ein. Es können aber auch nach reduzierendem Brand Rotfärbungen beobachtet werden, die auf die Wirkung von Schwefelverbindungen zurückgeführt werden. Andere Farbenstufungen kommen wieder zustande, wenn abwechselnd mit Luftüberschuß und mit reduzierendem Feuer gebrannt wird.

Was nun die Färbung anbetrifft, die auf der Dichte des Erzeugnisses beruhen kann, so ist zu sagen, daß dichte Massen stärker gefärbt erscheinen, als poröse Massen mit gleichem Eisengehalt. Unterstellungen der Praxis, die aus gelber, brauner Brennfarbe des Steines oder aus „Flammenstrichen“, welche meist

aus der Verwendung von uralten Brennöfen herrühren, auf die Maßeinhaltung, Güte des Brandes, der Feuerbeständigkeit oder gar den Wert des Schamottefabrikates schließen sollen, gehören in das Reich der Fabel und Unkenntnis. Die edelsten und pyrotechnisch wertvollsten feuerfesten Rohstoffe sind, wie das chemisch reine Tonerdesilikat $\text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{SiO}_2$, schneeweiß nach dem Brande, und diese Farbe gilt um so eher als Zeichen ihrer sorgfältigen Aufbereitung und Behandlung, in je reinerer Flamme sie gebrannt sind. Flammenstriche deuten auf Flugasche, Unreinheiten der Kohle und Alkaliinfiltration!

In Anbetracht der zahllosen Umstände, die auf die Entwicklung der Farbe der feuerfesten Erzeugnisse von Einfluß sein können, muß daher die Frage: „Läßt die Färbung einen Schluß auf die Güte feuerfester Erzeugnisse und den Brenngrad zu?“ unbedingt verneint¹ werden. Die Erzeugnisse der feuerfesten Industrie können nicht nach der Farbe beurteilt werden.

13. Struktur.

Daß ein feuerfestes Produkt bestimmte äußere Eigenschaften aufweisen muß, daß es gut geformt, möglichst genau dimensioniert, scharf gebrannt und eine durch hellen Klang erkennbare ausreichende Festigkeit haben muß, ist selbstverständlich. Die feuerfesten Steine müssen in der Regel fest, glatt (je glatter die Oberfläche, desto weniger Angriffsfläche bietet sie dem Feuer), gerade, kantig, dicht (nicht saugend) und von geschlossenem Gefüge sein, vornehmlich, wenn sie einen bedeutenden Druck auszuhalten haben. Hierauf kommt es aber nicht allein an; die Hauptsache ist vielmehr, wie sich die feuerfesten Steine an ihrer Verwendungsstelle in hoher Temperatur bei gleichzeitiger Beanspruchung der verschiedensten chemischen und mechanischen Einwirkungen verhalten.

Sehr wichtig ist häufig die Beobachtung der Struktur, und zwar sowohl makroskopisch als auch mikroskopisch. Bei einiger Erfahrung kann man aus dieser Untersuchung manche wichtigen Schlüsse ziehen. Durch Betrachtung der frischen Bruchfläche mit bloßem Auge kann man die ungefähre Menge und Größe der gröberen Bestandteile, seien es nun Schamotte- oder Quarzkörner, schätzen. Man kann ferner erkennen, ob die Schamottekörner dicht oder porös sind, ob sie fest in dem Bindeton eingebettet sind oder leicht aus der Grundmasse herausbrechen und ob und inwieweit einzelne Schiefertonbrocken geschwunden sind und sich von ihrer Umgebung losgelöst haben. Bei größeren Quarzbrocken kann man ferner feststellen, ob sie noch fest oder hart oder durch beginnende Umwandlung zermürbt und locker sind. Auch die Dichtigkeit des Gefüges, die Größe und Menge der vorhandenen Poren kann man so schon einigermaßen beurteilen.

Die feuerfesten Steine bestehen gewissermaßen aus einem Skelett von Körnern (Schamotte, Quarz, Bauxit usw.), die durch das Bindemittel (Ton, Kalk) miteinander verbunden sind. Das Bindemittel bildet also gleichsam die Brücke zwischen den einzelnen Magerungskörnern. Je mehr letztere in

¹ *Leander*, Tonind.-Ztg. 1912, Heft 129, S. 1725.

ihrem Volumen wechseln, desto weniger Bindemittel erfordert der Stein; je scharfkantiger die Körner sind, eine um so größere Fläche bieten sie dem Bindemittel dar und desto fester wird sich der betreffende Stein gestalten. Weil nun die feuerfesten Steine aus verschiedenen Stoffen zusammengesetzt sind, die sich bei der Temperaturerhöhung ungleichmäßig untereinander verhalten — schrumpfen oder ausdehnen, — so müssen notwendigerweise bei höheren Wärmegraden Spannungen zwischen den einzelnen Komponenten auftreten, welche zur Rissebildung führen können. Da hierbei einerseits die Widerstandsfähigkeit der Steine gegen Druck und Abnutzung notleidet und andererseits im Gebrauch durch die Risse Flußmittel in den Stein selbst eindringen und denselben zersetzen werden, gilt es, jene Spannung zu paralysieren, und eine der schwierigsten Aufgaben der Technik der feuerfesten Erzeugnisse ist es daher, eine solche Bindung der einzelnen Magerungskörner herbeizuführen, welche dem Stein sowohl genügend Dichtigkeit und Stärke als auch gleichzeitig hinreichende Unempfindlichkeit gegen Temperaturwechsel verleiht. Es werden also die Bindebrücken zwischen den Magerungskörnchen eine genügende Elastizität aufweisen.

Für die Beurteilung der feuerfesten Steine nach dieser Richtung hin bietet nun die Photographie ein willkommenes Hilfsmittel. *Cronquist*¹ hat die Bruchflächen verschiedener Fabrikate auf photographischem Wege — $3\frac{1}{2}$ fach linear — vergrößert; die Abdrücke sind in der Fig. 15, Photogramme Nr. 1—10 (siehe Tafel III u. IV) wiedergegeben.

Fig. 1 zeigt eine außerordentlich homogene Fläche; die Schamottekörner sind sehr gleichmäßig, die Mischung aber etwas mehlarm. Die Schamottekörner weisen keine scharfen Kanten auf. Die Porosität ist bei geschlossener, rissfreier Struktur sehr gut verteilt. Die Mischung ist einwandfrei, da Ton und Schamotte bestens vereinigt sind. Schmelzp. S.K. 34.

Fig. 2 führt uns ebenfalls einen ziemlich gleichmäßigen Bruch vor. Hier weisen aber die sehr scharfkantigen Schamottekörner wechselnde Größen auf. Der Bindeton ist an den Körnern sehr gut befestigt und der Charakter des ganzen Bruches deutet auf einen sehr starken Stein. Die Porosität ist gleichmäßig, die Struktur aber mehr gespalten. Schmelzp. S.K. 34.

Fig. 3. Ist aus sehr scharfkantigem Schiefertonschamotte angefertigt, hat aber infolge mangelhafter Mischung etwas Parallelstruktur; Körnergröße ungleich. Nach der Photographie zu urteilen, ist der Stein gegen Temperaturwechsel sehr unempfindlich. Schmelzp. S.K. 33.

Fig. 4 veranschaulicht uns die Nachteile, welche die Verwendung solcher Schamotte erbringt, die mehr schwindet als der Bindeton. Um jedes Korn herum befindet sich hier eine Spalte, so daß die Körner teilweise frei liegen (fast wie die Nuß in einer Schale). Nach der großen Schwindung, sowie aus der Abrundung der Körner ist wohl zu schließen, daß die betr. Schamotte nicht genügend scharf gebrannt worden war. Der Stein ist zwar gegen Temperaturwechsel unempfindlich, besitzt aber nicht viel Widerstandsfähigkeit gegen Druck. Schmelzp. S.K. 31.

Fig. 5. Gute Mischung, aber rissiger Bruch. Ursache: Beimischung von Quarzkörnern, die sich beim Brennen ausgedehnt haben. Dank der scharfkantigen Schamottekörner und der guten Bindung ist dieser Stein zwar als fest zu bezeichnen, aber infolge der — durch Pressen hervorgerufenen — Dichtigkeit gegen Temperaturwechsel empfindlich. Schmelzp. S.K. 34.

¹ Vortrag im Technischen Verein Helsingborg im Februar 1903. Nach einer Druckschrift der „Rhenania“ A.-G.

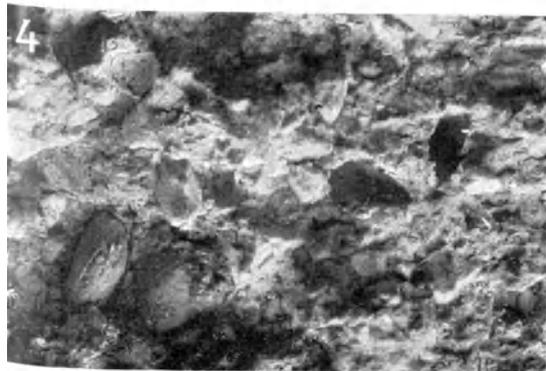
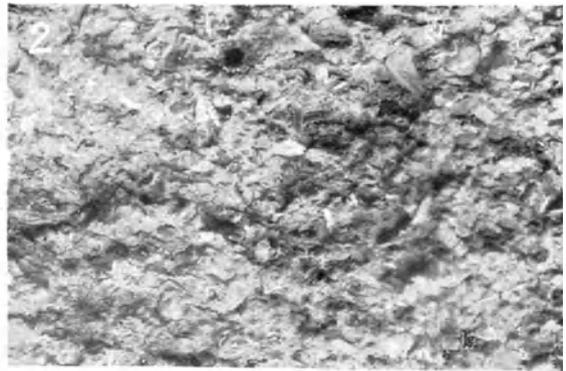
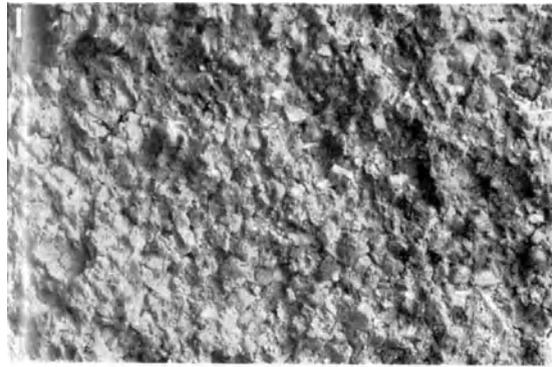


Fig. 15. Strukturphotographien feuerfester Steine.

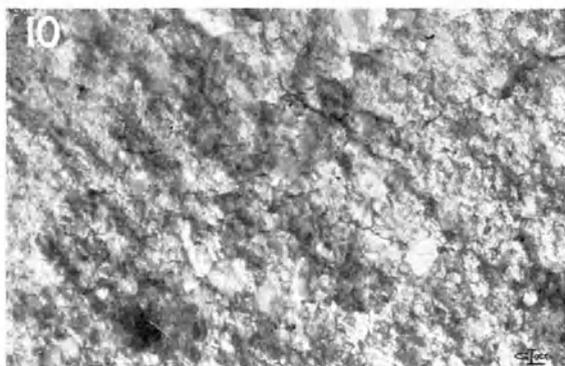
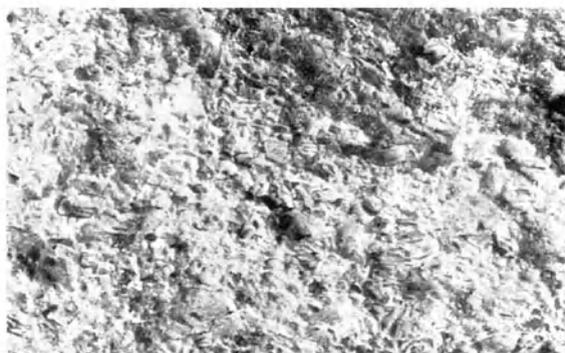
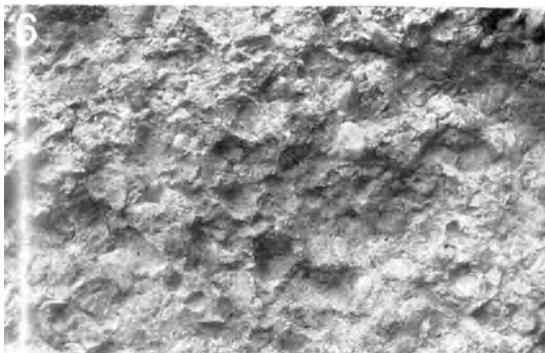


Fig. 15. Strukturphotographien feuerfester Steine.

Fig. 6. Bruch gleichmäßig, aber beinahe klinkerdicht. Wohl mangels genügender Scharfkantigkeit der Schamotte ist der Bindeton an letzterer nicht genügend befestigt. Dieser Stein ist besonders druckfest, aber gegen Temperaturwechsel höchst empfindlich; die Dichtigkeit ist auf Nachpressung zurückzuführen. Schmelzp. S.K. 33 bis 34.

Fig. 7 zeigt die Bruchfläche eines schamottereichen, grobkörnigen Steines, dessen Magerungsmittel eine sehr scharfkantige Struktur erhalten hat. Obgleich die Struktur rissig, ist die Porosität gut verteilt. Der Scherben ist aus einer Muffelplatte genommen, die gegen Temperaturwechsel besonders unempfindlich sein muß. Schmelzp. S.K. 33.

Fig. 8. Poröser Schamottestein, unter Zusatz von Sägemehl hergestellt. Druckfestigkeit gering; spez. Gewicht 1,1. Isolierungsvermögen und Indifferenz gegen Temperaturwechsel bedeutend. Der Stein dient zur Einkleidung von Lufterhitzerröhren. Schmelzp. S.K. 31.

Fig. 9. Englischer Schamottestein mit sehr schöner Porosität. Ton von vorzüglicher Bindekraft. Aschenpartikel und sonstige Unreinigkeiten weisen jedoch darauf hin, daß bei der Fabrikation des Steines nicht die notwendige Sorgfalt obgewaltet hat. Schmelzp. S.K. 30.

Fig. 10. Norwegischer Schamottestein mit bedeutender Quarzbeimischung. In dem Bilde sind die durch Nachpressung vielfach verursachten typischen Risse — quer gegen die Preßrichtung — gut sichtbar.

Die Anwendung der Photographie ist insofern willkommen, als dadurch die Vergrößerung der Bruchfläche und somit eine deutlichere Erkennung der eventuellen Mängel der Gefügebeschaffenheit ermöglicht wird. Eine gute Lupe tut zuweilen ebenfalls gute Dienste.

Das nächstliegende zur Erzielung der Bruchfläche des Steines ist, dem Ziegel ein Stück abzuschlagen. Dieses ist jedoch nur ein Notbehelf, weil beim Abschlagen die Teilung stets in der Richtung erfolgt, in welcher das Gefüge des feuerfesten Ziegels am schwächsten ist. Der Sprung läuft den Luftsprüngen nach, welche selten fehlen.

Ein gutes Hilfsmittel bietet in solchen Fällen die Anwendung der *Geyerschen* Steinsäge. In der Hauptsache besteht diese Maschine aus einer sich schnell drehenden Metallscheibe, welche 1500 Umdrehungen in der Minute macht. An ihrem äußeren Umfange ist die Scheibe mit einer schmirgelartigen Masse überzogen. Das zu schneidende Steinstück wird auf einen Support eingespannt, welcher die Verschiebung gleichlaufend und quer zuläßt. Bei der großen Umdrehungszahl der Schneidescheibe ist es nicht zu verwundern, daß sich dieselbe sehr stark erwärmt, sobald sie ihre Schneidewirkung ausübt. Es ist deshalb eine Kühlvorrichtung angeordnet, bestehend aus einem Wasserstrahl, welcher unmittelbar auf die Schneidekante der Scheibe gerichtet wird und diese ganz bespült. Die Erfahrung hat nun gelehrt, daß es zweckmäßig ist, die Vorwärtsbewegung des zu schneidenden Stückes ganz stetig erfolgen zu lassen. Die Handgeschicklichkeit wurde ausgeschaltet und Vorwärtsbewegung ganz mechanisch eingerichtet. Die Geschwindigkeit, mit welcher der Vorschub des zu schneidenden Stückes erfolgt, richtet sich nach seiner Härte. Es ist deshalb eine Stufenscheibe vorgesehen, durch welche es möglich ist, sechs verschiedene Geschwindigkeiten zu erreichen. Dies hat sich als vollkommen ausreichend erwiesen. Der Kraftbedarf der Maschine ist nicht groß, zwei Pferdestärken genügen vollständig. Die mit Hilfe der *Geyerschen* Vor-

richtung erzielte Schnittfläche kann als eine ideale bezeichnet werden. Bei näherer Betrachtung erhält man ganz wertvolle Fingerzeige. Man sieht jedes einzelne Schamottekorn, kann bei einiger Übung die Art der Schamottekörner, die Korngröße, die Lagerung der Körner gegeneinander leicht beurteilen. Man erkennt den Bindeton, sieht, wie er zur Wirkung gekommen ist, ob er gut oder unvollkommen in der Masse verteilt ist. Man sieht auch, ob die einzelnen Körner völlig oder nur teilweise umhüllt sind. Man kann erkennen ob der eine oder der andere Bestandteil porös oder dicht ist. Man erhält ein gutes Bild über einzelne Fremdkörper, wie z. B. Schwefelkies. Man sieht, wie dieser teilweise geschmolzen, und wie die Nachbarschaft in Mitleidenschaft gezogen worden ist. Kurz und gut, man hat gewissermaßen eine Analyse des Schamottestückes vor sich.

Photographien von Schnittflächen verschiedener solcher Steine von Untersuchungen von *Stoermer* sind im Bericht über die 30. Versammlung des Vereins deutscher Fabriken feuerfester Produkte, Berlin 1910, S. 75—93 mit nötigen Erklärungen dazu wiedergegeben; eine weitere Reihe in derselben Weise erhaltener Photographien ist in dem Bericht über die 34. Versammlung desselben Vereins (Berlin 1914) S. 146—159 enthalten. Ich verweise deshalb die Interessenten auf diese Originalquellen.

In vielen Fällen ist die Beobachtung der Mikrostruktur noch lehrreicher als die Untersuchung mit bloßem Auge. Besonders bei Silikafabrikaten gewährt die Beobachtung eines Dünnschliffes unter dem Mikroskop tieferen Einblick in die zu erwartenden Eigenschaften des Materials. Bei Silikasteinen läßt sich vor allem feststellen, wie weit der als Rohmaterial benutzte Quarzit umgewandelt ist. Je weiter diese Umwandlung fortgeschritten ist, um so sicherer kann man sein, daß das Material während des Gebrauchs nicht mehr in störendem Maße wächst oder mürbe wird. Ein guter und hochgebrannter Silikastein zeigt ein festes Gefüge und eine sehr weitgehende Umwandlung und läßt nur noch wenige Quarzkörner unterscheiden (vgl. S. 17). In ähnlicher Weise zeigt der Dünnschliff durch einen Magnesitstein, ob ein geeignetes und genügend hoch gebranntes Rohmaterial verwendet wurde. In einem guten Magnesitstein ist die Magnesia in krystalliner Form als Periklas zugegen; daneben treten kleine Krystalle von Magnesitferrit ($MgO \cdot Fe_2O_3$) und in geringer Menge eine bräunliche, glasige Masse auf, die die Krystallkörner miteinander verkittet. Sind noch amorphe Partien von Magnesia nachzuweisen, so ist mit einer späteren Nachschwindung zu rechnen. Daß für diese Erzeugnisse auch die geeigneten Rohstoffe nicht nur nach ihrer chemischen Zusammensetzung, sondern auch auf Grund mikroskopischer Prüfung ausgesucht werden können, sei nur nebenbei erwähnt (*Rieke*).

14. Äußere Form und Maßhaltigkeit.

Für die Ausführung feuerfesten Mauerwerks sind stets die für derartige Ausführungen gültigen bautechnischen Grundsätze maßgebend, und es ist in jedem Einzelfall zu entscheiden, ob man zweckmäßig Steine von gewöhn-

lichem Handelsformat oder größere, besonders anzufertigende Formsteine anzuwenden hat. Besonders bei schwierigen Bauausführungen ist es besonders vorteilhaft, besondere auf „Maß gefertigte Formziegel“ zu benutzen, um das Behauen der handelsüblichen Normalsteine von $25 \times 12,5 \times 6,5$ cm zu vermeiden und ein festes Mauerwerk mit möglichst engen Fugen zu erzielen. Formsteinmauerwerk wird allerdings etwas teurer, als solches von Steinen gewöhnlichen Formates, doch ist es, ein gutes Material vorausgesetzt, haltbarer als letzteres. Es macht sich deshalb auch durch die längere Lebensdauer bald bezahlt.

Die Abmessungen der einzelnen Formziegel sind nicht zu groß zu wählen, da große Ziegel gegenüber kleineren verschiedene Übelstände aufweisen: Sie sind nicht so homogen, weil sich größere Mengen der keramischen Massen nicht so leicht durcharbeiten und auch schwieriger gestalten lassen; sie trocknen ungleichmäßiger und enthalten daher oft bei zu schnellem Trocknen im Inneren Trockenrisse, die äußerlich meist nicht sichtbar sind; sie lassen sich infolge ihres großen Gewichtes in ungebranntem Zustande schlecht befördern, hauptsächlich aber brennen sie nicht so gleichmäßig und bis in den Kern hinein durch, wie es bei kleinen Ziegeln der Fall ist. Dazu kommt, daß ein aus kleinen Steinen aufgeführtes Mauerwerk eine größere Elastizität besitzt und den durch die wechselnde Temperatur der Öfen usw. bedingten Volumenveränderungen und Spannungsunterschieden besser widerstehen kann, als ein aus großen Formziegeln hergestelltes Bauwerk, endlich, daß kleine Ziegel im allgemeinen ein billigeres und haltbareres Mauerwerk ergeben, zumal bei eventuell eintretender Nachschwindung der Ziegel.

Gewölbe sind nicht, wie dies noch heute sehr oft geschieht, aus Normalsteinen herzustellen, sondern man muß stets Keilsteine dazu verwenden. Bei Gewölben aus rechtwinkligen Steinen stoßen die einzelnen Normalsteine unten hart aneinander, während nach oben die Mörtelfugen immer größer werden. Unter der Einwirkung der Steine hebt sich, infolge der unvermeidlichen Ausdehnung der Steine, das Gewölbe, die Fugen treten oben auseinander, und die untere Kante der Steine hat die ganze Last zu tragen. Auch verschieben sich dabei die Steine häufig gegeneinander, das Gewölbe wird, wie der Baufachmann sagt, „eckig“ und die Gefahr des Einstürzens ist dann gegeben. Für rundförmige Öfen, wie Schachtöfen, Kuppel- und Ziegelöfen usw. nehme man stets genaue passende Radialsteine, diese sind in allen Fällen aus den oben genannten Gründen den gewöhnlichen Normalformatsteinen vorzuziehen.

Die vorgeschriebenen Maße müssen möglichst genau eingehalten werden; auch dürfen die Steine höchstens nur eine sehr geringe Durchbiegung zeigen. Nur wenn die Steine gerade Flächen haben und maßhaltig sind, ist die Herstellung eines dichten Mauerwerks mit kleinen Fugen möglich, wovon bekanntlich die Haltbarkeit eines Ofens in weitgehendem Maße abhängt.

Die Abmessungen feuerfester Steine lehnen sich hauptsächlich an die Reichsmaßziegel an, die Abmessungen von $200 \times 120 \times 65$ mm besitzen. Eine häufig vorkommende Steingröße entspricht den Abmessungen von

250 × 123 × 70 mm. Daneben findet man auch das kleinere englische Format von 228 × 114 × 60 mm und zahlreiche andere Formate, die etwa Längen bis zu 320 mm, Höhen bis zu 160 mm und Dicken bis zu 80 mm haben. Sofern die feuerfesten Steine zur Aufführung geraden Mauerwerkes dienen, spielt die Abmessung keine wesentliche Rolle, wohl dagegen die Maßeinhaltung.

Risse, welche bei dauernd benutztem, feuerfesten Mauerwerk meist unvermeidlich sind, treten bei kleinen Ziegeln seltener auf und dann meistens nur in den Fugen. Da letztere zahlreich vorhanden sind, so erfolgt hierdurch ein gewisser Ausgleich für die durch die Temperaturveränderungen bedingten Spannungsunterschiede; die Risse sind daher weniger gefährlich und beeinträchtigen die Festigkeit des Mauerwerkes nicht erheblich. Erhält aber ein Mauerwerk von großen Ziegeln Risse, so können dieselben viel eher dort auftreten, wo sie sich sehr unangenehm bemerkbar machen. Von großer Wichtigkeit ist auch, auf die spätere Volumenänderung der Ziegel im Feuer schon beim Vermauern Rücksicht zu nehmen und bei Schamotteziegeln, wenn diese nicht hoch genug gebrannt sind, das spätere Nachschwinden, bei Quarzziegeln dagegen die Ausdehnung in der Hitze zu berücksichtigen. Ein weiteres Haupterfordernis ist, wie schon oben erwähnt, das feuerfeste Mauerwerk stets mit ganz engen Fugen herzustellen, weil die Schlacke und auch die Gase auf die Fugen zuerst ihre Angriffe ausüben und ein Abbröckeln und Anfressen bewirken. Bei Anwendung von Schamotteziegeln ist das Mauern mit engen Fugen unbedingt durchzuführen, dagegen ist es bei Quarzziegeln wegen der später eintretenden Ausdehnung notwendig, die Fugen nicht allzu eng zu machen.

Verwendung.

Wie bereits im Vorwort erwähnt wurde, gibt es wohl kaum Industrien, in welchen feuerfeste Erzeugnisse nicht verwendet werden. Überall, wo eben ein Schornstein raucht, wird mehr oder weniger feuerfestes Material verwandt werden müssen.

In den folgenden Abschnitten werden der Reihe nach die folgenden Anwendungsgebiete feuerfester Stoffe besprochen:

1. Hochöfen mit Winderhitzern;
2. Stahlwerk (Martinöfen u. a.);
3. Eisengießerei (Kupolöfen);
4. Metallhüttenwerke, darunter Aluminium-, Kupfer-, Zinköfen usw.;
5. Koksöfen;
6. Gaswerksöfen (Kammer- und Retortenöfen);
7. Zementwerke;
8. Kalkbrennöfen;
9. keramische Brennöfen;
10. Glashütten (Wannen- oder Hafenöfen);
11. chemische Industrie (Ultramarinfabrikation, Sulfatbrennen usw.);
12. elektrische Schmelzöfen (soweit in andern Abschnitten nicht besprochen);
13. Gasgeneratoren und
14. Dampfkesselfeuerungen (auch Kohlenstaubfeuerung).

Da es unmöglich ist, sämtliche in der Industrie vorkommenden Arten von Öfen und Feuerungen zu berücksichtigen, wird empfohlen, die Schlußfolgerungen sinngemäß auch auf verwandte Gebiete zu übertragen, was einem geschulten Technologen wohl nicht schwer fallen dürfte.

1. Hochofenwerk.

Der Hochofen weist eine Höhe von 20 bis 30 m mit einem Inhalt von 400 bis 800 cbm auf. Er zerfällt (Fig. 16) von der Gicht abwärts in den oberen Schacht, der sich nach unten etwas erweitert bis zum größten Querschnitte, dem „Kohlensack“ in die nach unten stark verjüngte „Rast“ und das zylindrische Gestell. Die Wandstärke des oberen Schachtes beträgt 0,6 bis

0,8 m, des Gestells etwa 1,0 m und des Bodensteins sogar 2,0 m. Zu jedem Hochofen gehören 3 bis 4 abseits stehende Winderhitzer oder Cowperapparate.

Der sich im Hochofen vollziehende Reduktionsprozeß wird als allgemein bekannt vorausgesetzt.

In Hochöfen gelangen nur hochtonerdehaltige Schamottesteine zur Verwendung; Silika- und Dinassteine treten hier fast gar nicht in Erscheinung. Daß der Hochofenmann hohe Tonerdegehalte fordert, hat ja seine Berechtigung darin, daß man den Hersteller zwingen will, nur erstklassige Tone anzuwenden. Ist viel Tonerde vorhanden, so ist man auch meist der Furcht vor zu hohem Flußmittelgehalt enthoben. Über die Höhe des Tonerdegehaltes in den Hochofensteinen bestehen verschiedene Ansichten, die noch nicht

geklärt sind. Aus diesem Grunde hat man sich auch noch nicht über einheitliche Abnahmevorschriften einigen können. Wahrscheinlich wird man bei 34 bis 36 Proz. Al_2O_3 bei Gestell, Rast und Bodenstein und bei 33 bis 35 Proz. Al_2O_3 im Schacht niemals etwas riskieren¹. Auf einem westfälischen Werke hatten die Schachtsteine die folgende Zusammensetzung:

SiO_2	58,7 bis 60,0 Proz.
Fe_2O_3	1,9 bis 2,6 „
Al_2O_3	35,04 „ ;

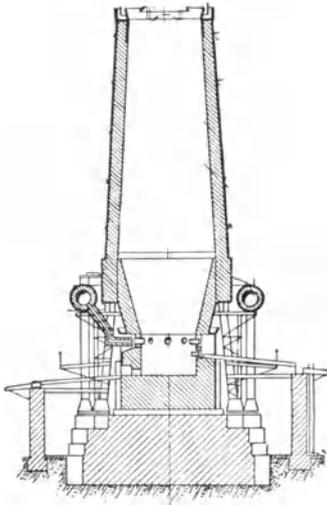


Fig. 16. Schematischer Schnitt durch einen Hochofen.

früher galt 2,5 Proz. Fe_2O_3 als Maximum. Allerdings gibt es noch heute Hochofenleute, die nicht weniger als etwa 42 Proz. (und mehr!) Al_2O_3 gelten lassen wollen. Es ist schon auf S. 8 ausgeführt worden, daß der höchste theoretische Al_2O_3 -Gehalt in den besten Schamottesteinen nur etwa 46 Proz. betragen kann; eine weitere Erhöhung des Tonerdegehaltes ist nur

durch Beimengung von Bauxit zu erreichen. Indessen wird ein solcher Bauxitzusatz verurteilt, einmal weil er dazu führen kann, einen minderwertigen Ton in einem besseren Lichte erscheinen zu lassen, und weil ein erheblicher Bauxitzusatz sehr viel Eisenoxyd, meist auch Titansäure einführt und auch andere üble Eigenschaften (übermäßiges Schwinden, Reißen der Steine usw.) im Gefolge hat. Ein Verlangen nach Tonerdegehalten von über 36 Proz. scheint schon aus dem Grunde nicht gerechtfertigt zu sein, weil sich gerade bei diesem Tonerdegehalt (also 36 Proz.) ein chemischen Einflüssen gegenüber widerstandsfähiges dichteres Gefüge erzielen läßt². Auch wächst die Druckfestigkeit und Volumenbeständigkeit nur bis zu einer gewissen Grenze (etwa 36 Proz.) mit dem Tonerdegehalt. Einige Analysen von Hochofenschamottesteinen folgen hier.

¹ Osann, Lehrbuch der Eisenhüttenkunde Bd. I, S. 231. Verl. Engelmann, Leipzig 1923.

² Osann, a. a. O.

1. Schamottestein aus einer Fabrik in Brieg.

2. Exzelsiorziegel.

Al ₂ O ₃	37,1	Proz.		Al ₂ O ₃	45,72	Proz.
SiO ₂	60,5	„		SiO ₂	51,15	„
MgO	0,21	„	} 2,74 Proz. Gesamt- flußmittel	Fe ₂ O ₃	0,80	„
CaO	0,24	„		CaO	1,77	„
Fe ₂ O ₃	1,51	„		MgO	—	„
K ₂ O	0,78	„		K ₂ O	0,34	„
				Glühverlust . .	0,28	„

3. Analysen einiger englischer Steine.

	a	b	c	d	e
Al ₂ O ₃	30,8	32,3	35,1	40,5	45,7
SiO ₂	63,7	62,7	58,7	54,5	41,2
Fe ₂ O ₃	2,83	2,14	2,80	2,42	0,80
CaO	0,46	0,40	0,27	0,65	1,77
MgO	0,72	0,21	0,80	0,38	—
K ₂ O	1,41	2,11	2,11	1,42	0,34
Glühverlust . .	0,43	0,14	0,40	0,32	0,28

Als Grenze des Flußmittelgehaltes gelten 6 Proz.; manche Werke nennen 4 Proz.

R. Howe teilt im Bull. Americ. Inst. Min. and Metall. Eng. 1919, September, S. 1791—1802, die Zusammensetzung und Eigenschaften von Hochofensteinen mit, die von einem größeren amerikanischen Werke verwendet werden. Einige Beispiele hieraus folgen.

Tabelle 31a.
Eigenschaften einiger amerikanischer Hochofensteine.

Verwendungsstelle		1	2	3	4	5	6
Eigenschaften		Gicht		Schacht		Gestell und Rast	
Chemische Zusammen- setzung	SiO ₂	54,44	57,62	56,07	53,28	53,19	50,20
	Al ₂ O ₃	40,01	37,62	39,00	41,00	40,91	43,14
	Fe ₂ O ₃	2,53	3,69	3,32	3,51	3,34	3,58
	CaO	0,18	0,15	0,12	0,12	0,56	0,25
	MgO	0,53	0,16	0,18	0,28	0,26	0,38
	Alkalien	2,24	0,76	1,30	1,77	1,59	2,37
Druckfestigkeit kg/qcm		355	374	366	362	274	373
Spezifisches Gewicht		2,03	2,12	2,10	2,04	0,21	2,00
Porosität in Proz.		12,93	14,57	13,30	12,71	19,97	12,29
Schmelzpunkt		1736	1596	1649	1649	1639	1655

Auffallend ist bei allen Steinen der hohe Eisenoxydgehalt, der im Bereich der niedrigeren Temperaturen infolge der Zerlegung des CO nachteilhaft wirken kann. Aus dem Porositätsgehalt des Steines Nr. 5 darf man schließen, daß er sich im Gestell leichter als die anderen in der Schlacke auflösen wird.

Im Zusammenhang mit dem Tonerdegehalt steht der Schmelzpunkt der Steine. Aber derselbe spielt speziell im Hochofen tatsächlich keine Rolle.

Wir haben hier mit Lösungsvorgängen zu tun, weil eine Verschlackung des Steines in Frage kommt. Die Angabe des Segerkegelschmelzpunktes berücksichtigt jedoch keineswegs die gleichzeitigen lösenden Einflüsse auf den Stein. In keinem Betriebe ist wohl der feuerfeste Stein gleichzeitig solch vielen zerstörenden Einflüssen ausgesetzt wie im Hochofenbetriebe. Der Stein muß hier der Einwirkung des flüssigen Eisens, der flüssigen Schlacke, dem Abrieb, dem Druck und der Zermalmung, den chemischen Einflüssen usw. widerstehen und temperaturbeständig sein. Sind die Zerstörungen des Steines eingetreten, so ist es nicht immer leicht zu sagen, ob er dem einen oder dem anderen Einfluß zum Opfer gefallen ist oder auch einer Kombination von mehreren.

Man verwendet für den Schacht und Kohlensack möglichst dichte Steine, die dem Angriff der Alkaliverbindungen und dem Eindringen der Gase möglichst gut widerstehen. Hierfür eignen sich Steine mit nicht zu hohem Tonerdegehalt, die sich „steinzeugartig“ dicht brennen. Auf die Dauer hält aber kein Stein, so daß man sich mit Wasserkühlung im Gestell und Schacht abhilft; in der oberen Zerstörungzone des Schachtes hilft aber die Wasserkühlung nicht.

In der Formgegend besteht eine Temperatur von über 2000°C ; diese wird von keinem Schamottestein ertragen. Man ist also auf die Kühlwirkung des Wassers angewiesen und könnte demnach in dieser Zone auch geringwertigere Steine verwenden, wenn man nicht ein Zerbröckeln und auch starke Volumenänderungen der Steine befürchten müßte.

Im Gestell¹ herrscht die Temperatur des flüssigen Eisens und Schlacke, die ebenfalls von minderwertigen Steinen ausgehalten würde. Aber hier kommt die auflösende Wirkung der Schlacke zur Geltung, der kein Schamottestein und kein Quarzstein widersteht. Dieser Wirkung kann man ebenfalls nur durch Kühlwirkung des Wassers entgegentreten, welche die benachbarte (verhältnismäßig dünne) Steinschicht unter den Schmelzpunkt der leichtflüssigen Silikate abkühlt, die bei der Auflösung des Steines in der Schlacke entstehen.

Die Beanspruchung des Bodensteines ist rein mechanischer Natur. Die Temperatur des Roheisens wird auch von chemisch geringwertigeren Steinen ertragen. Es kommt hier lediglich auf Fugensicherheit an, und diese läßt sich am besten erzielen, wenn man auf genaue Form, große Formate und Volumbeständigkeit hält. Als Bodensteine finden zuweilen auch „deutsche Dinassteine“, sowie belgische Puddingsteine Verwendung.

Der Bodenstein ist nicht der fressenden Wirkung der Schlacke ausgesetzt und müßte demnach eigentlich gar keine Abnutzung erfahren. Es ist aber leider anders. Man unterscheidet fressende Eisengattungen, die den Bodenstein zerstören und an seine Stelle einen großen Eisenbehälter setzen und aufbauende oder anlegende Roheisengattungen, die den Bodenstein mit Ansätzen belegen. Vielfach hat man auch abwechselndes Fressen und Anlegen. Die

¹ Osann, a. a. O.

Zerstörungen durch fressendes Eisen lassen sich durch Erscheinungen des Auftriebes erklären; näheres darüber im Vortrag von *Osann*, Bericht über die 23. Versammlung des Vereins der Fabriken feuerfester Produkte S. 70—71. Das Anlegen eines Gestellbodens geschieht dagegen nicht von unten herauf, sondern durch herniedergerutschte kohlenstoffarme Eisenstücke, die infolge ihres höheren spezif. Gewichtes zu Boden sinken und hier eine Abkühlung hervorrufend, erstarren. Kohlenstoffsteine lassen infolge der kohlendenden Wirkung der Steine auf niedergehende Ansätze ein Anlegen des Bodens nicht zu.

Die Meinungen darüber, welche Bodensteine die besten sind, sind sehr geteilt. Die Mehrzahl der Hochofenleute verlangt einen sog. hochbasischen d. h. tonerereichen Stein, einige Kohlenstoffsteine, wieder andere schwören auf einen sauren Bodenstein; es scheint, daß es auf die chemische Zusammensetzung gar nicht besonders ankommt. Angegriffen wird jeder Bodenstein, nicht nur durch die vorübergehende Berührung mit der Schlacke, sondern auch durch das flüssige Eisen, das, wie bekannt, Silicium und Kohlenstoff aus dem Bodenstein aufnehmen kann (vgl. *Geiger*, Stahl und Eisen 1912, Heft 4).

Vor allem müssen die Steine gegen Loslösung durch den Auftrieb der flüssigen Eisen- und Schlackenmasse geschützt werden, und das sucht der eine durch das Format der Steine zu erreichen, der andere dadurch, daß er eine Ausmauerung wählt, die gleich nach dem Anblasen des Ofens zu einer festen Masse zusammenbackt.

Die Steine der Rast fallen unmittelbar der Zerstörung anheim, wenn sie auch aus bestem Material bestehen. Erfahrungsgemäß¹⁾ bildet sich hier aber von selbst eine sichere, harte widerstandsfähige und unverbrennliche Schutzschicht, die aus Erz-, Koks- und vor allem Kohlenstaub besteht, der sich aus höheren Zonen des Hochofens aus den Gasen ausscheidet. Diese Schicht mit einem C-Gehalt von 23 bis 46 Proz. lagert sich an Stelle des wegschmelzenden Steines ein. Sie wird durch den Druck der niedergleitenden Massen verdichtet, nimmt unter dem Einfluß hoher Temperatur steinartige Beschaffenheit an und schützt die verbleibende dünne Steinschicht. Diese Schutzschicht gab Veranlassung, in Hochöfen Kohlenstoffsteine zu verwenden.

Bei dem Studium von Schachtausfressungen darf man sich nicht durch das aufgespeicherte Kohlenstoffpulver dazu verführen lassen, an die erwähnten Kohlenstoffausscheidungen im feuerfesten Material zu glauben. Dieser feine Kohlenstaub findet sich infolge der Kohlenoxydzerlegung durch Eisenerze überall in Rast und Schacht, wo er einen Ruhepunkt antrifft; sogar im Gestell soll er als eine sehr dichte feuerfeste Masse vorgekommen sein, indem er sich zwischen den auskragenden Kühlkästen im oberen Gestell angesetzt hatte. Das wären also natürliche Kohlenstoffsteine.

Die Hochofenschächte erleiden zuweilen in ihrem unteren Teile Ausfressungen, welche derartig sind, daß sie schließlich zum Ausblasen des Ofens führen müssen. Diese Anfressungen treten etwa in der halben Ofenhöhe ein.

¹⁾ *Osann*, a. a. O. S. 225.

Im Gegensatz dazu steht die obere Zerstörungszone, die bekanntlich mit der Kohlenausscheidung aus dem Kohlenoxyd zusammenhängt und in den Partien des Ofens auftreten, die einen Temperaturbereich von ca. 400° C entsprechen, während die oben erwähnte Zerstörung in Temperaturzonen von etwa 1000° C stattfindet. Die Ursache solcher Zerstörungen führt *Osann*¹ auf Alkalien zurück. Das Vorkommen von grünlich-grauen, schmutzigen Salzflüssen im Gestell und auch in der angebohrten Rast, sogar im Kohlensack, ist zur Genüge bekannt; außerdem ist bekannt, daß mehr oder minder große Mengen von Alkaliverbindungen durch Möller und Koks eingeführt werden und sich auch in der Schlacke und dem Gichtstaub nachweisen lassen. Diese Alkalien sind es auch, die den Hochofenschacht zerstören, denn es steht fest, daß die zerstörten Steine eine außerordentlich große Anreicherung an Alkalien zeigen. *Osann* hat zur Erklärung dieser Tatsache Laboratoriumsversuche angestellt, in denen der Hochofenprozeß nachgebildet wurde und findet, daß die Zerstörung in erster Linie durch Chlornatrium, und erst in letzter Linie durch Chlorkali und Cyankali eintritt. Er zieht aus seinen Versuchen folgende Schlußfolgerungen: Steigen Dämpfe von Alkaliverbindungen im Hochofen auf, so ist der Gichtstaub ihren verschlackenden Einflüssen sehr zugänglich. Es kommt dann zu einer Verflüssigung an der Ofenwand. Da nun gerade die Zerstörungszone des Hochofens mit derjenigen der Gichtstaubansammlungen zusammenfällt, so wird dies noch einleuchtender. Es ist ja bekannt, daß sich am Übergang vom Schacht zur Rast ein toter Winkel befindet, der bei Holzkohlenhochöfen den Namen „Kohlensack“ aufkommen ließ. Es ist naturgemäß, daß dieser tote Winkel große Gichtstaubansammlungen bedingt; denn beim Niedersinken eines Gemisches von Stücken und Pulver rollen die Stücke voraus, so daß schließlich nur noch der Staub übrig bleibt. Nun stellt Gichtstaub eine außerordentlich voluminöse Sache dar. Ein Liter wiegt nur 1,0 kg bis 1,1 kg, also nur wenig mehr als Wasser. Dagegen ist das spez. Gewicht eines Brauneisensteins von etwa gleichem Eisengehalte 3,4 bis 3,9. Die Folge ist, daß er sich wie ein Schwamm vollsaugt und in seinen Poren überall Angriffspunkte zur Bildung von Alkalisilikaten darbietet.

Auch Manganerze zerstören zuweilen den Schacht. Bei einem ausgeblasenen Hochofen konnte man eine senkrechte Rinne im Schacht verfolgen, die vom Manganerz herrührte, das die Arbeiter gegen die Vorschrift meist an einer Stelle des Umfanges aufgegeben hatten. Im oberen Teil des Hochofens geht das Mangan in eine sauerstoffärmere Stufe über ($\text{MnO}_2 + \text{CO} = \text{MnO} + \text{CO}_2$), wodurch eine nicht unerhebliche Erwärmung, also Oberfeuer, eintritt. Die Erfahrungen in Roheisenmischern bestätigen das Angreifen des feuerfesten Mauerwerks durch Manganoxydul.

Bei feuerfestem Mauerwerk wirken die aus dem Schwefelkies herrührenden Eisenoxydpartikelchen wie das Eisenerz. Diese noch unaufgeklärte Reaktion ist nun an eine Temperatur von 300 bis 400° gebunden, was experimentell festgestellt ist. Sie soll auch bei höherer Temperatur stattfinden, aber schwach.

¹ *Osann*, Gichtstaub als Ursache der Schachtzerstörung im Hochofen. Bericht über d. XXVI. Vers. d. Vereins d. Fabr. feuerf. Prod. Berlin 1906. S. 33.

Kommt deshalb eine Schachtzerstörung weit unterhalb der Gicht, etwa in der Mitte des Maßes zwischen Gestellsohle bis Krone des Schachtes vor, so muß diese andere Ursachen haben.

Bekannt ist die Zerstörung durch Ausscheidung von Kohlenstoff in gewissen Zonen des Schachtes. Das Kohlenoxyd zersetzt sich bei Anwesenheit von Eisenoxyd, das ja die Steine von den Mahlgängen her immer enthalten, in Kohlensäure und Kohlenstoff. Letzterer füllt die Steine aus, die schließlich im Gefüge so locker werden, daß man sie in der Hand zerbröckeln kann. Diese Zerstörungen durch gas- oder dampfförmige Stoffe setzen voraus, daß die Gase und Dämpfe in den Stein eindringen können, es wird also ein erstes Erfordernis bei Herstellung der Steine sein, ihnen ein Gefüge zu geben, das nach Möglichkeit dies Eindringen verhindert; dies Ziel erreicht man am sichersten durch Verwendung von Rohstoffen, die sich leicht dicht brennen. Diese Eigenschaft haben aber in erster Linie die Rohstoffe mit nicht zu geringem Flußmittelgehalt. Gewiß wird durch höheren Flußmittelgehalt der Schmelzpunkt herabgedrückt, aber es ist weniger schlimm, wenn die Steine einen oder auch zwei Kegel niedriger stehen, als daß sie die Fähigkeit haben, sich aus dem Ofeninhalt mit Flußmitteln anzureichern oder sich mit Kohlenstoff vollzusetzen (*Fuchs*).

Eine eigentümliche Zerstörung feuerfester Steine ist von *Pattinson*¹ beschrieben. Nachdem dieselben eine Hochofenkampagne von nur 5 Jahren durchgemacht hatten, stellte sich eine bedeutende Kohlenabsonderung ein. Die Steine, welche indes bereits von vornherein die beträchtliche Menge von teils mehr als 8 Proz. Flußmittel und darunter 3 bis 4 Proz. Eisenoxyd enthielten und als porös angegeben wurden, waren so mürbe geworden, daß sie zwischen den Fingern, die dabei wie durch Lampenruß geschwärzt wurden, zu einem feinen Pulver zerrieben werden konnten.

Die Ausscheidung von Kohle oder Graphit ist eine bekannte Tatsache, welche bei der Umsetzung reduzierender Feuergase mit festen Körpern und erhitztem Material stattfindet und um so mehr, je kohlenhaltiger dieses ist. Der Vorgang beruht auf der Zerlegung des Kohlenoxydes nach der Gleichung: $2\text{CO} = \text{C} + \text{CO}_2$; er ist an die Anwesenheit des Eisenoxyds gebunden, aber wunderbarerweise ist die Menge desselben ganz gleichgültig.

Enthält das Material Schwefelkies, so entsteht zunächst aus dem zweifachen Schwefeleisen einfaches und alsdann bei fortgesetzter Erhitzung durch Einwirkung der Gase metallisches Eisen, welches sich ferner mit Kohlenoxydgas in Kohle und Kohlensäure zersetzt. In beiden Fällen entsteht also metallisches Eisen, welches die Eigenschaft hat, Kohlenstoff aufzunehmen und als Graphit abzuscheiden. Die Kohle lagert sich dann schließlich auf dem Eisen ab und kann so allmählich einen derben Absatz bilden, der zersprengend wirkt und endlich die völlige Zerstörung des feuerfesten Materials herbeiführt.

Nesbitt und *Bell* berichten (*Iron Trade Revue* Vol. 72, Heft 22, 1923, S. 1603; Referat in *Feuerungstechnik* Jg. 13, Heft 3, S. 28) über die Ursachen

¹ Nach einer Druckschrift der „Rhenania“.

und Wirkungen des Zerfalls der Hochofensteine. Ein solch zerfallenes Material hat eine graue bis schwärzliche Farbe, enthält schwarze Einschlüsse weicher Kohle, wie in Fig. 17 ersichtlich, und zerkrümelt leicht unter den Fingern. Der Zerfall der Auskleidung geht nicht auf der ganzen Ofenlänge in gleicher Tiefe vor sich, sondern die Zone des Zerfalls wird um so tiefer, je mehr sie sich dem Herd nähert. Überdies kann es vorkommen, daß bei einem Hochofen der Zerfall der Auskleidung nur in bestimmter Höhe auftritt, tiefer wieder verschwindet und möglicherweise an der entgegengesetzten Seite des Ofens neuerdings auftritt. Neben der Möglichkeit des stellenweisen Auftretens ist auch noch der Fall möglich, daß neben gesunden Steinen zerfallene liegen.



Fig. 17. Stein im Betrieb zerfallen. Der Einfluß des Eisengehaltes auf die Zerstörung ist aus den Kohlenstoffniederschlägen rings um jede eisenhaltige Stelle ersichtlich.

Der in zerfallenen Steinen gefundene Kohlenstoff ist rußförmig und an zahlreichen Stellen des Steines verteilt, deren Anhäufung zwischen solchen kaum sichtbarer Größe und solchen von 40 mm und mehr Durchmesser schwankt. Mitunter ist der Kohlenstoff hart, teilweise auch graphitförmig im Charakter und geht strahlenförmig von einem kleinen und dunklen Punkt in der Mitte aus. Werden diese Kohlenstoffstellen ausgenommen und mit einem Magnet untersucht, so zeigen sie sich schwach magnetisch, ein Zeichen der Gegenwart von Eisen. Auskleidungen in Ofen für die Herstellung von Ferrolegierungen haben eine kürzere Lebensdauer und zeigen einen stärkeren Zerfall als solche in Öfen zur Roheisenerzeugung. Der höhere Koksverbrauch der ersteren hat eine höhere Temperatur und eine größere Gasmenge zur Folge. Die Gase selbst sind in ihrer Zusammensetzung verschieden. Die Gichtgase eines Ferromanganofens haben um 50 Proz. mehr Kohlenoxyd als jene eines Roheisenofens. Am stärksten scheint der Zerfall in einem Abstand von der Gicht vor sich zu gehen, der zwischen 12 bis 15 m liegt. Wenn an irgendeiner Stelle die Auskleidung so dünn geworden ist, daß der Stahlmantel

nicht ausreichend geschützt erscheint, so wird der Ofen abgeblasen. Fig. 18 zeigt das Innere eines abgeblasenen Ofens, dessen Auskleidung zerfallen ist.

Wie nachstehende Zusammenstellung (S. 88) zeigt, unterliegen die Steine einer Veränderung ihrer chemischen Zusammensetzung im Laufe der Jahre.



Fig. 18. Blick in einen abgeblasenen Hochofen, dessen Auskleidung zerfallen ist.

Trotzdem die Zusammensetzungen dieser Steine sich wesentlich geändert haben und sie Kohlenstoff aufgenommen haben, war keiner von ihnen zerfallen. Hingegen zeigt die Analyse anderer Steine, die aus der Mitte oder aus kühleren Teilen der Ausfütterung entnommen werden, wenig Änderungen in der chemischen Zusammensetzung, mit Ausnahme der Aufnahme von Kohlenstoff, doch zerfielen diese Steine. Sowohl die Temperaturhöhe als auch der Gehalt der Gase an Kohlenoxyd haben einen wesentlichen Einfluß auf den Zerfall der Steine. Bei Laboratoriumsversuchen zeigte es sich, daß, beginnend

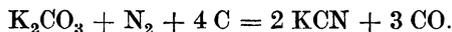
Analyse der Steine nach fünfjährigem Betrieb.

Analyse vor Inbetriebnahme	Analyse nach fünfjähriger Verwendung			
	Stein Nr. 1	Abstand der Verwendungsstelle von der Gicht		
		16,5 m	19,5 m	22,5 m
	2	3	4	
SiO ₂	57,64	44,74	44,70	41,40
Fe ₂ O ₃	0,71	2,88	3,14	3,75
Al ₂ O ₃	41,17	34,25	36,35	34,23
CaO	0,32	1,46	2,50	0,70
MgO	0,24	0,20	0,31	0,18
TiO ₂	—	2,11	2,11	1,98
K ₂ O	0,62	4,91	7,97	6,90
Na ₂ O	0,10	7,82	1,83	6,16
C	—	0,25	0,85	4,58

mit einem Gehalt der Steine an Eisenerz von 0,25 Proz. ein Zerfallen der Steine eintritt, und mit wachsendem Eisenerz- (oder Eisenoxyd- oder Pyrit-) Gehalt so weit steigert, daß schließlich die Steine vollständig zerfallen. Steine, die kein Eisenerz enthalten, sind dem Zerfall nicht ausgesetzt. Von Einfluß auf die Stärke des Zerfalls ist auch der Umstand, ob das Eisenoxyd im Stein gröber oder feiner verteilt ist. Je gröber verteilt das Eisenoxyd ist, desto rascher tritt ein Zerfall ein. Ferner zeigte sich, daß ungebrannte oder stark gebrannte Steine, bei gleichem Eisenoxydgehalt, weniger dem Zerfall ausgesetzt sind als wenig gebrannte Steine. Hart gebrannte Steine sind aber aus anderen Ursachen empfindlicher, namentlich gegen Temperaturwechsel. Will man einem Zerfallen der Steine wirklich vorbeugen, so dürfen sie keinerlei Eisenverbindungen enthalten. Da das aber praktisch nicht durchführbar ist, muß man die Eisenverbindungen, so gut es geht, aus dem Rohmaterial auszuschneiden suchen.

Die Ursache der Kohlenstoffablagerung, wodurch die Steine auf der Bruchfläche schwarz erscheinen, läßt sich nicht genau feststellen. *Osann*¹ und *Lürmann*² führen die Kohlenstoffabscheidungen auf die Wechselwirkungen zwischen CO und CO₂ bzw. zwischen diesen beiden Gasen und dem metallischen Eisen zurück, während *Kinder*³ die fördernde Wirkung von Cyankali betont. Er erklärt die sich dabei abspielenden Vorgänge folgendermaßen:

Durch die Erze, namentlich die feldspatführenden, wie z. B. die schwedischen Erze, besonders aber auch durch den Koks gelangen nicht unbedeutliche Mengen von Alkalien in den Ofen. Im Koks sind die Alkalien meist als kohlenensaures Natron bzw. Kalium schon vorhanden. Kohlen-saure Alkalien werden nun durch glühenden Koks bei dem vorhandenen Stickstoff in die Cyanverbindung umgesetzt nach Gleichung:

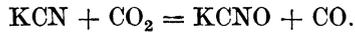


¹ Stahl u. Eisen 1907, 6. Nov., S. 1626.

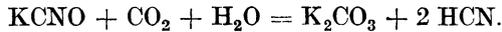
² Stahl u. Eisen 1898, 15. Febr., S. 168.

³ Stahl u. Eisen 1912, Heft 6.

Das gebildete Cyankalium wird nun weiter durch Kohlensäure in cyansaures Kalium übergeführt nach der Gleichung:



Das cyansaure Kalium zerfällt aber bei Gegenwart von Kohlensäure und Wasserdampf in kohlen-saures Kalium und Cyanwasserstoff nach Gleichung:



Der gebildete Cyanwasserstoff wird durch glühendes Eisen, das auch in den Steinen vorhanden sein kann, in seine Bestandteile Kohlenstoff, Wasserstoff und Stickstoff glatt zerlegt. Das nach der letzten Gleichung wieder gebildete kohlen-saure Alkali kann von neuem die Bildung von Cyanwasserstoff und die damit Hand in Hand gehende Kohlenstoffabscheidung bewirken, die erst dann wieder gehoben wird, wenn der Eintritt des Wassers in den Ofen beseitigt ist.

Wie verderblich auch diese Kohlenstoffsteinlagerungen werden können, so tragen doch nach den Beobachtungen und Untersuchungen von *Limbor* die Alkaliverbindungen noch weit erheblicher zur Zerstörung der feuerfesten Steine in den Hochöfen bei, als die Kohle zu tun vermag. Die im Gestell sich bildenden Kaliverbindungen werden in der dort herrschenden hohen Temperatur verflüchtigt und zum Teil mit den Gichtgasen fortgeführt, während der größere Teil sich an die inneren Ofenwände setzt, in die Steine eindringt und sie abschmilzt. Ein sonst guter Schachtstein wird daher um so widerstandsfähiger sein, je weniger das Alkali in seine Poren einzudringen in-stande ist, was dann wieder den Wert einer größeren Dichtigkeit der Steine dartut.

In oberschlesischen Öfen wird noch die Einwirkung der Zinkdämpfe bemerkbar, die in alle Risse und Fugen des feuerfesten Mauerwerks eindringen. Trotz des zerstörenden Einflusses in Rast und Schacht ist die durchschnittliche Lebensdauer der oberschlesischen Hochöfen nicht schlecht.

Der Cowperapparat bildet einen integrierenden Bestandteil des Hochofens. In diesem Apparat werden die Gichtgase verbrannt, wodurch das Gitterwerk erhitzt wird. Diese Hitze dient dann zum Vorwärmen des Hochofenwindes. Im großen ganzen sind also die Vorgänge im Cowper (Winderhitzer) ähnlich denjenigen in den Regeneratoren der industriellen Ofenanlagen.

Stoermer hat eine Reihe von Cowpersteinen des Handels auf ihre Eigenschaften hin untersucht¹. Es hat sich dabei ergeben, daß die Steine sehr verschiedenartig waren. Die zahlenmäßig ausgedrückten Eigenschaften dieser Steine zeigten zum Teil einen sehr großen Spielraum in den Grenzwerten. Der Kieselsäuregehalt schwankte von 55 bis 84 Proz., der Tonerdegehalt von 13 bis zu fast 40 Proz. Hiernach werden also sowohl saure, als auch hoch-basische Steine als Cowpersteine verkauft. Auch die Feuerfestigkeit schwankte

¹ *Stoermer*, Vergleichende Untersuchungen von Cowpersteinen des Handels. Bericht über die XXXIV. ord. Hauptvers. d. Vereins deutsch. Fabr. feuerf. Prod. Berlin 1914. S. 146.

entsprechend der chemischen Zusammensetzung zwischen S. K. 28 bis 33. In der Porosität wurden Werte von 8 bis 17 Proz. gefunden; in den Raumveränderungen ergaben sich dagegen keine bedeutenden Unterschiede. Die Druckfestigkeit schwankte zwischen 82 und 325 kg pro qcm.

Die Ansprüche¹, die die Verbraucher an Cowpersteine stellen, sind meist höher, als dies eigentlich notwendig wäre. Die für den Unterbau der Cowper bestimmten Steine sollen danach wegen der angeblich hohen Druckbelastung, der sie ausgesetzt sind, vor allem eine hohe Druckfestigkeit von mindestens 180 kg/qcm besitzen. Der Mindesttonerdegehalt soll für diese Steine 28 Proz. betragen und die Feuerfestigkeit dem Segerkegel 30 entsprechen. Für die mittleren Mantel- und Gittersteine sollen Schamottesteine ohne Quarzzusatz mit 32 bis 34 Proz. Tonerdegehalt und einer Feuerfestigkeit von Segerkegel 31 zur Verwendung kommen. Die Brennschacht-, Kuppel-, oberen Mantel- und oberen Gittersteine sind hoher Temperatur ausgesetzt und sollen daher aus guter Schamottemasse mit 35 bis 38 Proz. Al_2O_3 -Gehalt und einer Feuerfestigkeit von Segerkegel 33 erzeugt werden. Die Körnung dieser Steine ist fein zu halten, etwa 3 mm. Die Steine müssen scharf gebrannt sein und nicht nachschwinden. Cowperzellensteine müssen sorgfältigst genaue Abmessungen und genaue parallele ebene Auflageflächen haben.

Die oben kurz wiedergegebenen Anforderungen stellen keineswegs Normen dar, sondern stammen mehr aus den Einkaufsbedingungen der einzelnen Hüttenwerke.

Entsprechend den Ergebnissen der oben erwähnten *Stoermerschen* Untersuchungen ist aber die verlangte hohe Druckfestigkeit von 180 kg/qcm (trotzdem dieselbe jederzeit erfüllt werden kann) für die Cowperunterbausteine übertrieben, weil die tatsächliche Druckbeanspruchung pro qcm Grundfläche bei 30 m Höhe eine verhältnismäßig nur sehr geringe (7 bis 10 kg/qcm) ist. Ferner erscheinen der angeforderte Tonerdegehalt und die hohe Feuerfestigkeit, wenigstens für die unteren und mittleren Schichten unnötig. Es genügen für den Unterbau schwach feuerfeste, gut gebrannte Steine, deren chemische Zusammensetzung ziemlich gleichgültig ist, wenn bei der Herstellung berücksichtigt wird, einigermaßen gegen Temperaturwechsel widerstandsfähige Steine zu erhalten. Dieses Ziel erreicht man durch Verarbeitung nicht zu kieselsäurereicher Masse-mischungen.

Beim Cowper treten folgende Zerstörungen ein:

1. Verschlackung in der obersten Zone des Fachwerks.
2. Zerstörung des Fachwerkes durch Druck.

Der Verschlackung widersteht kein Stein; alle 4 bis 5 Jahre muß man die oberen 3 m des Fachwerkes auswechseln. Hier ist gute Gichtgasreinigung von Einfluß.

Der Druck beträgt im Fachwerke höchstens 10 kg/qcm. Dehnen sich aber die Steine aus, so entstehen infolge der Spannung in denselben, die infolge der darüber liegenden Steinsäule keinen Ausweg hat, Kräfte, die gewiß höhere

¹ Tonindustriezeitung 1913, Nr. 116; 1914 Nr. 18.

Werte erreichen. Aus diesem Grunde kommen Quarzsteine für Cowper nicht in Betracht.

Neuerdings wendet man mit Rücksicht auf die Volumenveränderungen halbsaure Steine an. *Jung* hat gute Erfahrungen mit Steinen gemacht, die einen Tonerdegehalt von 18 bis 22 Proz. aufwiesen. Nur für den Brennschacht, die Kuppel und die obersten 3 m Fachwerke werden tonerdereichere Steine verwendet werden müssen.

Ein gepreßter Cowperstein ergab¹ bei der Untersuchung: 37,4 Proz. Al_2O_3 -Gehalt, 1,79 Raumgewicht, 2,54 spez. Gewicht, S. K.-Schmelzpunkt 32 bis 33; seine Ausdehnung betrug 16 mm auf 1 m Länge beim Erwärmen auf 1200°.

Der Gichtstaub enthält bekanntlich Flußmittel. Auch gewaschenes Gichtgas enthält noch immer etwas Staub, aus dem sich in der Flamme des Brennschachtes die Flußmittel leicht verflüchtigen und an den Cowpersteinen absetzen. Aus den vielen Tausenden von Kubikmetern Gas, die täglich im Cowper verbrannt werden, können sich ganz ansehnliche Mengen Flußmittel abscheiden, womit also bei der Wahl der Steine zu rechnen ist.

Der folgende Fingerzeig von *Osann* wird eventuell von Nutzen sein. Heute werden viele Cowper mit weitgehend gereinigten Gasen geheizt. Diese Gase strömen mit einer Temperatur von nur etwa 30° ein und sollen sich an den rotglühenden Mauerflächen entzünden. Es geschieht dieses auch, aber die Zündung wird verschleppt. Tritt sie schließlich ein, so sind inzwischen Gas und Luft hoch erhitzt und es entsteht in der Kuppel eine außerordentlich hohe Temperatur, der die obersten Lagen des Gitterwerkes leicht zum Opfer fallen. Dieses erweckt leicht den Anschein einer schlechten Steinbeschaffenheit, die aber nicht vorzuliegen braucht.

Zur Isolierung der Heißwindleitungen und der Düsenstöcke finden poröse feuerfeste Steine ausgedehnte Verwendung (Koksmehl oder Sägespäne in der Rohmasse, Brennen mit oxydierender Flamme). Neben der schlechteren Wärmeleitfähigkeit zeigen poröse Steine ein geringeres spez. Gewicht (0,7 bis 1,5). Ihre Festigkeit beträgt noch immerhin 40 bis 60 kg/qcm.

2. Stahlwerk.

Im Puddelofen werden die Feuer- und Fuchsbrücken, sowie die danebenliegenden Partien mit halbsauren Schamottesteinen, der sog. „Schweißofenqualität“ (15 bis 20 Proz. Al_2O_3 -Gehalt) bekleidet; da die Temperaturen hier nicht allzu hoch sind, reicht die Feuerfestigkeit dieser Steine vollständig aus.

Für die Schweißöfen kommen die gleichen Steinqualitäten in Frage; nur die Herdsole wird gewöhnlich mit tonhaltigem Sand ausgestampft.

Für die Auskleidung saurer Konverter (Bessemerverfahren) kommt „Ganister“ als Stampfmasse oder als Steine in Betracht; auch der belgische „Puddingstein“, ein Konglomerat von feuersteinartigen Kieselsteinen, sowie Gemische von bildsamen feuerfesten Tonen mit deutschen kieseligen Gesteinen

¹ Stahl u. Eisen 1914, S. 63.

wie Hornstein, Quarzit finden hierfür Anwendung. Der Konverterboden unterliegt der Zerstörung in stärkerem Maße, als das übrige Futter. Während das Konverterfutter 500 bis 1000 Hitzen aushält, beträgt die Lebensdauer des Bodens nur etwa 20 Hitzen.

In den basischen Prozeß (Thomasverfahren) haben sich dagegen quarz- oder schamottehaltige Massen im Konverter nicht eingebürgert, weil sie sich gegen die phosphorreiche basische Thomasschlacke als nicht widerstandsfähig erwiesen haben. Die basischen Konverter werden vielmehr mit Dolomit und Magnesit ausgekleidet und halten etwa 300 bis 400 (der Boden 50 bis 70) Hitzen aus. Nur der Mündungsgang des Konverters wird aus Schamottesteinen hergestellt.

Auch die Roheisenmischer werden mit Magnesit ausgekleidet; nur das Gewölbe und die Teile, die mit dem flüssigen Eisen nicht in Berührung kommen, werden aus guten Schamottesteinen ausgeführt.

Bezüglich der Stahlwerkskuppelöfen gilt im allgemeinen das über die Kuppelöfen im Abschnitt „Gießerei“ (S. 97—99) Gesagte.

Beim Siemens-Martinofen sind die Anforderungen an die Güte der feuerfesten Baustoffe infolge der sehr hohen Temperatur (1800 bis 2000° C) besonders hoch; die zerstörende Wirkung dieser hohen Temperaturen wird noch durch Schlacke und deren Spritzer vermehrt. Der Herd wird, je nachdem der Prozeß basisch oder sauer ist, aus Teerdolomitmasse oder aus einer Masse aus feinem Seesand, gebrannten Quarzkörnern und Tonmehl hergestellt.

Da der Herd nicht allein das Bad und die Schlacke zu tragen hat, sondern beim Beschicken auch erheblichen mechanischen Beanspruchung ausgesetzt ist, so wird vom Herdmaterial eine große mechanische Festigkeit verlangt. Schlechte Haltbarkeit des Herdes ist nicht nur auf unzumutbare Behandlung, besonders während des Beschickens, zurückzuführen, sondern auch auf Aufnahme von Eisen durch den auch bei hohen Temperaturen sonst harten und zähen Magnesit.

Für das Gewölbe¹ werden meistens Silikasteine angewendet. Ihre höhere Wärmeleitfähigkeit hat zur Folge, daß die Wärme ziemlich rasch abgeleitet wird; auf diese Weise wird einer allzu starken Erhitzung vorgebeugt. Andererseits bewirkt eine hohe Wärmeleitfähigkeit auch große Wärmeverluste. Deshalb muß man eigentlich von einem guten Material für diesen Zweck eine geringere Wärmeleitfähigkeit, aber zugleich eine so hohe Feuerfestigkeit verlangen, daß eine Isolierschicht auf dem Gewölbe angebracht werden kann.

Für die Seitenwände werden ebenfalls Silikasteine verwendet, wobei oft eine neutrale Schicht zwischen dem basischen Herd- und dem Silikamaterial eingelegt wird. An einigen Stellen sollen sich Chromitsteine angeblich gut bewährt haben, Magnesitsteine dagegen nicht. Übrigens springen beide letztere Steinarten beim Erhitzen leicht ab.

Die Köpfe werden aus Silika hergestellt; ebenso die Scheidewand zwischen Gas- und Luftzug. Hier wird manchenorts eine Kühlung durch Wasser an-

¹ Stahl u. Eisen 1924, S. 1255.

gewendet, wodurch die Haltbarkeit allerdings etwas erhöht wird. Für die hohe Beanspruchung der Köpfe hat bisher kein im Gebrauch befindliches feuerfestes Material genügt. Chrom- und Magnesitsteine haben bei hohen Temperaturen keine genügende Festigkeit, Carborundumsteine zersetzen sich unter dem oxydierenden Einfluß der Gase; Spinell ($MgAl_2O_4$) und Sillimanit (Al_2SiO_5) sollen dagegen in einigen Fällen Erfolge aufgewiesen haben. Für die Unterteile der Köpfe, die der direkten Flamme sowie dem Schlackenangriff ausgesetzt sind, hat sich bis jetzt am besten Magnesit bewährt.

Für die senkrechten Züge und Schlackentaschen, die hohen Temperaturen, Angriffen des mitgerissenen, hauptsächlich basischen Staubes und reduzierender Wirkung der heißen Gase standzuhalten haben, verwendet man Silikamaterial. Für die Kammern soll ein Material verwendet, das Kohlenstoff und Schlacke nicht aufnimmt und durch Verschlacken mit Flugstaub keinerlei glasige Oberfläche bildet, weil dadurch die Wärmeübertragungsfähigkeit beeinträchtigt wird. Weiterhin sollen die Steine einen möglichst geringen Fe_2O_3 -Gehalt besitzen, da sonst durch die Einwirkung des heißen Generatorgases eine Zerstörung der Steine eintritt. Diesen Bedingungen entsprechende Schamottesteine sind für die Kammern der Siemens-Martinöfen die geeignetsten. Bei der Erzeugung von weichem Flußeisen sind die Verbrennungsgase während des letzten Teiles der Schmelzung mit Eisenoxydteilchen schwer beladen. Größere Mengen von Eisenoxyd (und z. T. auch Schwefel) gelangen auch in die Kammern und lagern sich dort ab. Oft werden solche Ablagerungen fälschlicherweise für Kohlenstoffablagerungen gehalten. Durch Versuche konnte festgestellt werden, daß etwa 0,25 Proz. von jeder Schmelzung als Staub in die Kammern gelangt.

In dem Gitterwerk des Regeneratorpaares des (sauren) Martinofens reagiert das von den Abgasen mitgenommene Eisenoxyd verschieden. In der Gaskammer des Regenerators wird es reduziert und bildet mit der SiO_2 des Ziegels Fe_3SiO_4 , das in die Poren des letzteren eindringt und sein Gewicht um über 20 Proz. erhöht; in der Luftkammer kann dagegen das Eisen nicht reduziert werden und wird deshalb nur teilweise von den Gittersteinen aufgenommen, im übrigen jedoch auf den Stein abgelagert, wodurch die Querschnitte verengt werden.

Die hochbeanspruchten Partien der Martinöfen werden hauptsächlich aus Silikamaterial aufgebaut, wenn auch bei basischem Betrieb der Herd aus basischem Futter entsprechend der basischen Schlacke besteht.

Lange¹ bringt in der Tab. 32 eine Reihe von Analysen von Silikasteinen, die sich ohne Ausnahme im Martinofenbetrieb bewährt haben. Es beträgt bei diesen Steinsorten, unter denen sich Steine vieler bekannten Fabriken befinden, der Gehalt an

SiO_2	95,1 bis 98,0	Proz.
Al_2O_3	0,56	„ 2,75 „
Fe_2O_3	0,35	„ 1,23 „
CaO	0,21	„ 2,10 „

¹ Stahl u. Eisen 1912, Heft 42.

Tabelle 32.
Analysen von Silikasteinen für Martinöfen.

Nr.	SiO ₂ Proz.	Al ₂ O ₃ Proz.	Fe ₂ O ₃ Proz.	CaO Proz.	Seger-Kegel
1	95,67	1,56	1,02	1,75	35 bis 36
2	96,50	1,98	0,42	1,02	35 „ 36
3	96,00	1,96	0,86	1,12	35
4	96,20	1,89	0,79	1,01	35
5	97,36	0,89	0,44	1,21	35 „ 36
6	97,05	1,32	0,38	1,21	35 „ 36
7	97,10	1,40	0,36	1,24	35 „ 36
8	98,00	0,56	1,23	0,21	35 „ 36
9	96,45	1,98	0,45	1,14	35
10	96,60	1,80	0,35	1,80	35
11	96,10	2,00	0,50	1,50	35
12	96,25	1,80	0,55	1,35	35
13	95,80	2,00	0,60	1,54	35
14	95,50	2,40	0,65	1,45	34 „ 35
15	95,50	2,45	0,55	1,35	34 „ 35
16	95,60	2,23	0,63	1,50	34 „ 35
17	95,30	2,75	0,65	1,25	34 „ 35
18	95,92	1,78	0,81	1,40	34 „ 35
19	95,20	2,49	0,81	1,40	34 „ 35
20	95,30	2,40	0,90	1,80	34 „ 35
21	96,15	2,45	0,60	0,68	34 „ 35
22	96,10	2,42	0,61	0,70	34 „ 35
23	95,80	2,45	0,70	1,08	34 „ 35
24	95,10	2,00	0,70	2,10	34 „ 35

Der Schmelzpunkt liegt zwischen Segerkegel 34 und 36, entsprechend 1750° und 1790° C. Der Gehalt an Kalk beträgt:

über	2,00	Proz.	bei 1	Stein
von	1,51	bis	2,00	„ „ 4 Steinen
„	1,01	„	1,50	„ „ 16 „
„	0,51	„	1,00	„ „ 2 „
unter	0,50	„	„	1 Stein
24 Steine.				

Ein Kalkgehalt von 1,00 bis 1,50 Proz. erscheint nach *Lange* zweckmäßig. Die höchste Feuerbeständigkeit, nämlich ganz nahe an Segerkegel 36, hatte Stein Nr. 8. Bei diesem Steine beträgt der Gesamtgehalt an Flußmitteln nur insgesamt 2,00 Proz., ist also sehr niedrig. Der Stein hatte geringe Neigung zum Abspringen. Ähnlich verhielt sich Stein Nr. 5 mit insgesamt 2,54 Proz. Flußmitteln. Empfehlenswert erscheint ein Stein mit 3 bis 4 Proz. Flußmitteln bei 96 bis 97 Proz. Kieselsäure. Auf keinen Fall darf (ebenfalls nach *Lange*) der Gehalt an Kieselsäure unter 95 Proz. sinken. Obgleich man von einem Silikastein auch verlangen kann und muß, daß er sich gut hauen läßt, so empfiehlt sich doch zur Herstellung eines tadellosen Mauerwerks an vielen Stellen die Anwendung von Fassungsteinen. Die Martinwerke machen heutigentags die ausgiebigste Anwendung von solchen. Daß ein Martinwerk

fünzig und mehr verschiedene Sorten Fassonsteine, zum Teil solche in ganz erheblich großen Abmessungen, deren Herstellung in früheren Jahren große Schwierigkeiten gemacht haben würde, für den Bau der Öfen benötigt, ist nichts Besonderes mehr. Die Haltbarkeit des Ofenmauerwerks wird durch Formsteine sehr erhöht. Als Mörtel benutzte man früher vielfach Mischungen von hochfeuerfestem feinem Sande mit Ton. Heute geben viele Werke ungemischten, in der Natur vorkommenden Mörtelmaterialien den Vorzug, so z. B. gewaschenem und gemahlenem steinfreiem Kaolinsand (Analyse: 86,93 Proz. Kieselsäure, 9,06 Proz. Tonerde, 1,14 Proz. Eisenoxyd und 0,13 Proz. Kalk) aus der Gegend von Daaden im Siegerland oder geeignetem, nur gemahlenem Findlingsquarzit. Diese natürlichen Mörtel, die keinen weiteren Zusatz erhalten, sondern nur mit Wasser angerührt werden, sind besser als die gemischten.

Durch die dauernde Berührung des Stahlbades mit dem feuerfesten Material lösen sich kleine Teilchen ab und gelangen schließlich auch in den Block. Die Wechselwirkung zwischen manganhaltigem Stahl und feuerfestem Material sieht man an der Aushöhlung der Gußrinne und dem Gießpfannenausguß, der nach dem Guß oft bis auf das Doppelte erweitert wird. Dies kann nicht nur auf die Reibung zurückgeführt werden, da basisches Material unter gleichen Bedingungen praktisch nicht angegriffen wird; es muß bei dem sauren Material eine wirkliche Verschlackung eintreten, die sich durch eine bräunliche Oberflächenschicht erkennbar macht. Diese Schicht entsteht entweder durch Reduktion der in dem Stein enthaltenen Kieselsäure durch das Mangan des Stahls oder durch die verschlackende Wirkung von im Stahl enthaltenen Mangansilikateinschlüssen.

C. Graham untersuchte Silikasteine, die aus der Mitte des Gewölbes eines basischen 45-Tonnen-Martinofens herausgenommen wurden, welcher 135 Chargen ausgehalten hat. In den herausgenommenen Silikastein konnte man deutlich vier Zonen unterscheiden: 1. eine große, 45 mm starke, am meisten von Hitze und Zerfressung beanspruchte Zone — das ist die nach dem Ofeninneren gewandte Steinseite; 2. eine schwarze von 80 mm; 3. eine gelbe von 20 mm und 4. eine rote, 3 mm dünne, an der Außenseite des Ofens gelegene Schicht, die von der Luft dauernd gekühlt und durch die Hitze am wenigsten verändert wurde. Die Analyse der einzelnen Zonen im Vergleich mit dem Stein selbst ergab folgendes:

	Zonen				Stein
	1	2	3	4	
SiO ₂	88,60	85,50	91,40	93,70	95,10
Ac ₂ O ₃	1,00	1,50	1,80	1,10	1,10
Fe ₂ O ₃	5,52	5,94	1,52	1,14	1,00
MnO:	0,37	0,27	Sp.	Sp.	Sp.
CaO	4,04	4,06	4,10	3,19	2,50
Scheinbares spezifisches Gewicht:	2,14	2,14	1,80	1,78	1,65
Wahres spezifisches Gewicht . .	2,42	2,44	2,41	2,41	2,37
Porosität in Proz.	11,60	12,30	25,30	26,10	30,45

Die sämtlichen Zonen des untersuchten Silikasteines zeigen eine Zunahme des Eisen- und Kalkgehaltes gegenüber dem frischen Stein und eine Abnahme der Porosität. Die schwarze Zone (2) mit dem niedrigsten Gehalt an SiO_2 und dem höchsten an Fe_2O_3 und CaO hat sich als die dichteste, haltbarste und feuerfesteste erwiesen.

Zu ähnlichen Ergebnissen gelangt auch *Bigot*, der solche aus dem Martinofen herausgenommene Silikasteine allerdings nur in zwei Zonen zerlegte: die graue innere und gelbe äußere. In der grauen Zone fand *Bigot* nur 85 Proz. SiO_2 ; nichtsdestoweniger erwies sich diese Zone haltbarer als die nicht angegriffene. Man hätte daraus ruhig die Schlußfolgerung ziehen können, daß das Verlangen der Verbraucher nach Steinen mit nicht mehr als 4 Proz. Flußmittel grundlos erscheint.

J. Whitley und *A. Hallimond* haben bei der Untersuchung der stalaktitähnlichen Schmelzflüsse des feuerfesten Materials aus den Köpfen und dem Gewölbe der sauren Martinöfen gefunden, daß diese Schmelzflüsse eine entektische Schmelze aus Kieselsäure, Magnesit und eine besondere Eisenverbindung Fe_2SiO_4 in verschiedenem Verhältnis darstellen. Je höher die Temperatur an der Aufnahmestelle dieser Schmelztropfen im Martinofen war, um so mehr SiO_2 wiesen sie auf.

Der dem Siemens-Martinofen ähnliche Tiegelofen wird aus Silikasteinen, dessen Sohle auch aus Dinassteinen gebaut. Den Hauptbestandteil dieses Ofens in feuerfester Hinsicht bilden die Tiegel, die aus Ton oder Graphit hergestellt werden. Ich verweise auf die Seiten 113—115, wo einige Formen und Arten der Tiegel (Schamotte-, Quarz-, Graphit-, Magnesia- usw. Tiegel) beschrieben sind.

Beim Elektrostahlofen verwendet man die gleichen feuerfesten Baustoffe, wie beim Martinofen. Für saure Öfen verwendet man als Bodenmasse¹ eine innige Mischung von 80 Proz. alten Silikasteinen, 6 Proz. feuerfesten Ton und 14 Proz. Teer als Bindemittel, darüber Wände und Gewölbe aus Silikasteinen. Beim basischen Ofen trägt ein Unterbau aus Magnesitsteinen den Dolomitstampfherd (evtl. mit Zusatz von basischer Schlacke oder Eisenoxyd als Flußmittel) und die Wände und das Gewölbe aus Silikasteinen. Bei Elektrostahlöfen halten die Dolomit- und Magnesitherde in der oxydreichen Atmosphäre ganz gut, dagegen widerstehen sie reduzierenden Vorgängen bei der Raffination des Stahles weniger gut (vgl. St. u. E. 1924, S. 1256, Schlußsatz im Referat von *O. Lange* über eine amerikanische Arbeit).

Pfannen und Stopfen werden aus hohtonerdehaltiger Schamottemasse (35 Proz. Al_2O_3) hergestellt.

In den Walzwerksöfen (Tieföfen, Stoßöfen, Wärmöfen), sowie in Glüh- und Härteöfen genügen meistens halbsaure Steine, die allgemein unter dem Namen „Schweißofenqualität“ bekannt sind.

Man rechnet in der Stahlindustrie z. B. beim basischen Martinofen mit einem Verbrauch von 30 kg, also 3 Proz. feuerfesten Baustoff auf 1 Tonne

¹ *Diepschlag* und *Feist* in *Singer*, Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft. S. 622.

Stahl, wobei aber nur die Steine für den eigentlichen Schmelzherd und die Regeneratorkammern berücksichtigt sind. Das Gewölbe hält durchschnittlich 300 bis 350 Schmelzungen aus.

3. Eisengießerei.

Die Auskleidung des Kupolofenschachtes kann durch Ausstampfen mit feuerfester Masse oder durch Aufführung eines Mauerwerkes erfolgen. Zur Bereitung der Stampfmasse verwendet man feuerfeste Tone, Schamotte und scharfen Sand in verschiedenen Mischungsverhältnissen. Gut bewährt hat sich ein Gemenge von Kaolin und grobkörnigem, völlig kalk- und tonfreiem Flußsand.

Gestampftes Futter ist zwar bei der Herstellung beträchtlich billiger als solches aus bestgeeigneten Schamottesteinen, wird aber auf die Dauer teurer, da es wesentlich weniger haltbar ist. Der nur von einer Seite wirkende Trocknungsvorgang im Kupolofen vermag niemals den von allen Seiten auf den verhältnismäßig kleinen Stein einwirkenden Ofenbrand zu ersetzen, wie er den Schamottesteinen zuteil wird.

Braun schreibt in der Tonindustrie-Zeitung 1920, Nr. 101 über den zum Stampfen verwendeten Vulkan-Kaolinsand folgendes: „Man horche einmal in der Eisenindustrie herum, wieviel Kupolöfen, die sich dem Ausstampfen zugewandt haben, reumütig zu der Ausmauerung zurückgekehrt sind. Es soll nicht in Abrede gestellt werden, daß durch Ausstampfen unter gewissen Voraussetzungen etwas Gutes erreicht werden kann, doch nur, wenn gewissenhafte Arbeiter zur Verfügung stehen. Der erfahrene Eisenhüttenmann weiß jedoch gute Kupolofensteine gegenüber Ausstampfungen mit Sand zu schätzen.“

Für den Herd und die Schmelzzone haben sich Quarzschamottesteine vorzüglich bewährt. In der Schmelzzone, weniger aber im Herde, leisten auch manche Talkschiefer ausgezeichnete Dienste. Im obersten Teil des Schachtes verwendet man am besten Formstücke aus Gußeisen, sog. „gußeiserne Steine“. Für den Schacht oberhalb der Gichtöffnung genügen feuerfeste Steine zweiter Güte. Radialsteine sind gewöhnlichen prismatischen sowie keilförmigen Steinen vorzuziehen, weil sie nicht so leicht abschmelzen. Sobald das Mauerwerk etwas abschmilzt, zermürbt der Mörtel, rieselt aus und das Feuer hat in den leeren Fugen neue Angriffsflächen, die den Stein rasch zugrunde gehen lassen. Radialsteine bieten den Keilsteinen gegenüber den großen Vorteil, daß sie weniger Fugen erfordern.

Die Stärke des Mauerwerkes¹ kann bei kleinen Öfen von 500 mm lichtem Durchmesser mit 100 mm und bei großen Öfen von 1000 mm lichtem Durchmesser aufwärts bis zu 250 mm bemessen werden, doch empfiehlt es sich, auch bei kleinen Öfen nicht unter 150 mm Wandstärke zu gehen. Wandstärken über 250 mm sind für Öfen bis 1500 mm lichtem Durchmesser nicht empfehlenswert, da sie die Wärmeverluste durch Strahlung nicht nennenswert

¹ *Irresberger*, Kupolofenbetrieb. Verl. Jul. Springer, Berlin 1922.

zu vermindern vermögen und infolge größerer Wärmespeicherung rascheres Abschmelzen der Steine bewirken. Nur bei ganz großen Stahlwerkskupolöfen mit Durchmesser bis zu 3000 mm geht man bis zu 320 mm Wandstärke.

In den Eisengießereien ist bezüglich der Kupolofenausmauerung die häufig vorkommende Erscheinung charakteristisch, daß eine Kupolofensteinmarke, die sich in einer Gießerei vorzüglich bewährt, für den gleichen Zweck anderen Orts weniger zufriedenstellende Resultate zeitigt. Offenbar spielt dabei die Beschaffenheit des zur Verwendung gelangenden Schmelzmittels eine gewisse Rolle. Auch ist die mehr oder weniger sorgfältige Ausmauerung des Schachtes ein auf die Haltbarkeit einwirkender Faktor. Vielfach wird auch der frisch aufgemauerte Ofen zu schnell angewärmt, die Mörtelfeuchtigkeit kann nicht allmählich entweichen, sondern lockert gewaltsam das Gefüge des Mauerwerks und das Eisen dringt in die entstandenen Risse.

Kupolofensteine unterliegen einer verhältnismäßig schnellen Zerstörung. Die Schachtauskleidung erfährt starken Verschleiß durch die niedergehenden Massen, und dieser vereinigt sich mit dem Angriffe der fressenden basischen Schlacke in der Schmelzhitze des Roheisens. In Eisengießereien wird der Kupolofen jeden Abend kalt gelegt und muß nun einen jähen Temperaturwechsel erfahren, so daß Silikasteine aus diesem Grunde ausscheiden müssen. Stahlwerkskupolöfen gehen dagegen ununterbrochen, solange es der Zustand der Ausmauerung erlaubt.

Neben der geeigneten Massezusammensetzung ist für die Lebensdauer der Kupolofensteine ihre Ausführung und ihr dichtes Gefüge mitbestimmend, da nur ein durch dichtes Gefüge mechanisch fester Stein den Einwirkungen der Schlacke größtmöglichen Widerstand entgegensetzt. Die Steine sind daher mit möglichst glatten Außenflächen herzustellen, was sich am besten erzielen läßt, wenn dieselben aus Holzformen geschlagen werden und zum leichten Lösen der Steine aus der Form Öl, nicht Schamottmehl oder Sand, verwandt werden. Einen besonders mechanisch festen Stein erhält man durch maschinelle Pressung. Man Sorge dafür, daß im Mauerwerk möglichst wenig Fugen entstehen, die stets den sich während des Schmelzprozesses bildenden Schlacken den leichtesten Angriffspunkt bieten. Man hat auch bei der Untersuchung von Kupolofenmauerwerk festgestellt, daß der Ausgangspunkt der Zerstörung des Futters stets in den Fugen zu finden ist.

Für die Kupolofenausmauerung werden vielfach Steine mit 15 bis 20 Proz., ja sogar 12 Proz. Al_2O_3 benutzt. Neuerdings scheint die Vorliebe für „deutsche Dinassteine“ mit noch weniger Tonerde immer mehr zuzunehmen. Letztere darf man jedoch nicht verwenden, wenn die Beschickung Flußspatzusatz enthält; in diesem Falle werden Steine mit etwa 35 Proz. Al_2O_3 gewählt. Auch sollen in einigen Fällen die sog. „Devassteine“ der *Deutschen Evaporatorgesellschaft* bei Kupolöfen Verwendung gefunden haben. Das sind Steine von der Zusammensetzung der Silikasteine, jedoch nicht gebrannt, sondern gepreßt. Sie werden ungebrannt vermauert. Über ihr Verhalten im Betrieb ist mir noch nichts bekannt.

An Stelle des Klebsandes zum Ausstampfen der Kupolöfen verwendet man neuerdings auch luftgetrocknete (also ebenfalls nicht gebrannte) Steine aus Klebsand, die dann im Kupolofen zu einer fugenlosen Masse zusammensintern¹.

Bei der Verwendung hochfeuerfester Steine hat man kennzeichnenderweise keine besseren Ergebnisse erzielt, auch nicht bei Stahlwerkskupolöfen, bei denen der ununterbrochene Betrieb die Einflüsse der schroffen Abkühlung ausschaltet; in Stahlwerkskupolöfen wird übrigens die Haltbarkeit des feuerfesten Materials durch starkes Berieseln des Blechmantels erhöht.

In amerikanischen Gießereien pflegt man die erste Schmelze in einem neu ausgemauerten Ofen unter Zusatz von Steinsalz (30 bis 40 kg) auszuführen, um eine Glasur zu erzielen; eine ähnliche Wirkung übt auch der Zusatz von Flußspat aus.

Bezüglich des Zusammenhanges zwischen der Zusammensetzung und Haltbarkeit der Schamottesteine für Kupolofenzwecke bestehen noch verschiedene Ansichten. Tab. 33 bringt eine Reihe von Analysen solcher Steine nebst Angaben über die Haltbarkeit derselben.

Tabelle 33.
Schamottesteine für Kupolöfen².

Nr.	Ursprung der Steine	SiO ₂ Proz.	Al ₂ O ₃ Proz.	Fe ₂ O ₃ Proz.	CaO Proz.	MgO Proz.	Haltbarkeit
1	Saarau	62,5	35,2	1,6	0,5	—	1 Jahr
2	Krefeld	55 bis 65	35 bis 45	1 bis 1,5	ca. 1	—	1 bis 1½ Jahre
	? Halbschamotte.	83,5	13,7	2,1	0,5	—	} 6 bis 8 Monate
	? Schamotte. . . .	62,3	34,5	1,9	0,3	—	
3	Oberschlesien . . .	68,5	29,9	0,4	0,5	—	In d. Schmelzzone 4 bis 5 Arbeitstage; im Schacht 2 Mon.
4	Pfalz.	75,0	21,5	1,3	0,4	0,45	2 Jahre
5	Mittelrhein	88	10,9	—	—	—	¾ Jahre
6	Pfalz.	87	42	—	—	—	1¼ bis 1½ Jahre
7	Sachsen	71,3	26,6	—	2,0	—	?
8	Sachsen-Altenburg.	84,5	14,4	—	0,7	—	1 Jahr
9	Oberschlesien . . .	68,0	29,0	2,8	—	0,1	9 Monate
10	Norddeutschland .	83,0	14,65	1,4	0,1	0,7	1¾ Jahre
	„	63,0	33,4	2,1	0,7	0,6	

Die bei der Anwendung dieser Steine in Frage gekommenen Kupolofenschlacken, die als besondere Angriffsmittel wirken, sowie die Herkunft des Kokes sind zum Vergleiche in derselben Reihenfolge in der Tab. 34 angegeben.

Wie aus der Tab. 33 hervorgeht, werden für Kupolöfen in der Hauptsache Quarzschamottesteine verwendet.

¹ Gieß.-Ztg. 1913, S. 493.

² Geiger, Handbuch der Eisen- und Stahlgießerei. Verl. Jul. Springer, Berlin 1911. S. 415.

Tabelle 34.
Schlackenanalysen von Kupolöfen.

Nr.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	MnO	S	Kalkzuschlag in Proz. des Eisens	Ursprung des bei der Schmelzung verwendeten Koks
	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.	Proz.		
1	53,0	7,0	9,0	13,0	—	9,0	—	3	Westfalen
2	41,3	1,2	7,4	3,3	1,5	3,8	0,19	3 bis 5	„
3	54,0	15,0	16,5	7,7	—	2,5	0,15	3	Oberschlesien
4	57,0	10,0	18,0	9,0	—	4,0	0,12	3 bis 4	Westfalen
5	55,0	16,0	3,2	23,0	1,5	1,0	0,4	4	„
6	41,7	21,5	4,5	26,7	1,9	2,7	0,3	4	„
7	57,5	13,2	4,4	21,4	1,0	1,2	—	2	„
8	46,0	7,7	17,0	23,0	0,8	1,5	—	2,5	?
9	45,0	6,3	24,7	4,9	—	5,7	—	2 bis 3	?
10	51,0	10,0	15,0	18,7	0,7	3,6	—	3	Westfalen

4. Metallhüttenwerke.

Bei der Wahl feuerfester Materialien für metallurgische Öfen sind mehr oder weniger die meisten auf Seite 19 („Eigenschaften“) aufgezählten Eigenschaften zu berücksichtigen. Insbesondere sind neben der Feuerfestigkeit die Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen Einflüssen und die Empfindlichkeit gegenüber starkem Temperaturwechsel zu berücksichtigen. Die gefährlichsten Feinde der Metallschmelzöfen sind jedoch die Metalloxyde, denn sie haben im allgemeinen basischen Charakter und infolgedessen die Fähigkeit, mit Kieselsäure der Steine mehr oder weniger leicht schmelzende Silikate zu bilden. Aus diesem Grunde wird an den Berührungspunkten mit geschmolzenen Metalloxyden in solchen Öfen kieselsäureärmeres, also basisches Material verwandt, während in Ofengewölben mit Vorliebe Dinas oder Silika infolge der etwas treibenden Eigenschaften angewandt wird. Für die Seitenwände der Feuerungen und für die Innenteile kommt meistens Schamotte in Frage. Auch für die den höchsten Temperaturen ausgesetzten Kanäle kann saures Material nicht verwandt werden, weil der mitgerissene Flugstaub stets Metalloxyde enthält, also basischen Charakter besitzt, und daher zu einer raschen Zerstörung des Mauerwerks führen würde.

Die wichtigsten Ofentypen der Metallurgie sind: 1. Schachtofen, 2. Flammöfen, 3. Muffelöfen. Die letzten unterscheiden sich von den zwei ersteren dadurch, daß hier eine direkte Berührung des Schmelzgutes mit der Beschickung nicht stattfindet.

Die Beschreibung der Eigenschaften der feuerfesten Baustoffe für alle metallurgischen Öfen würde infolge Mannigfaltigkeit derselben zu weit führen und ist wohl kaum nötig, da die Wechselwirkung zwischen den chemisch-metallurgischen Prozessen und den Ofenbau-Stoffen im großen und ganzen den gleichen Charakter aufweist. Es sollen deshalb hier einige Beispiele aus der Technologie des Bleies, Antimons, Zinns, Kupfers usw. gebracht

werden. Nur beim Zinkdestillationsofen wollen wir etwas länger verbleiben, weil die Beanspruchung des feuerfesten Materials in demselben am besten erforscht ist. Die Betrachtungen über das Verhalten der feuerfesten Baustoffe des Zinkofens kann dann sinngemäß auch auf andere ähnliche Einflüsse auf die feuerfesten Materialien anderer metallurgischer Öfen übertragen werden.

a) Bleischachtofen. Dieser¹ besteht aus einem Tiegel zur Ansammlung der geschmolzenen Produkte und einem Schacht. Die Wahl des für den Tiegel erforderlichen feuerfesten Materials ergibt sich von selbst aus der Beanspruchung. Da eine Oxydbildung im Tiegel beinahe ausgeschlossen ist, und die geschmolzenen Metalle als solche verhältnismäßig harmlos sind (dasselbe gilt von der Schlacke), außerdem der Tiegel mit flüssigen Massen gefüllt bleibt, so wird dieser Teil lediglich thermisch beansprucht. Ein hochfeuerfester Stein ist hier also ausreichend. Bedeutend weniger wird der an die Kühlkästen sich anschließende Teil des Schachtes thermisch beansprucht; dagegen tritt hier eine nicht unbeträchtliche Beanspruchung durch das ständige Hinabgleiten der Beschickung ein. Ein Schamottestein von mäßiger Feuerfestigkeit, aber guten mechanischen Eigenschaften ist hier am Platze und kann im oberen Teil des Schachtes sogar durch einen hart gebrannten Klinker ersetzt werden. Für Zinnschachtöfen gilt im wesentlichen das über Bleiöfen Gesagte.

b) Kupfersteinschachtofen. Dieser unterscheidet sich von dem eben beschriebenen nur wenig. Infolge der stark korrodierenden Wirkung der im Kupferstein enthaltenen Sulfide des Eisens und Kupfers ist hier zur Ausmauerung des Tiegels ein hochwertiger Schamottestein zu verwenden. Besonderes Augenmerk ist auf die Partie zu richten, wo die Kühlkästen aufsitzen. Für den Schacht verwendet man etwas bessere Schamottequalität als beim Bleiöfen, weil hier Erscheinungen des Oberfeuers nicht ausgeschlossen sind. Für die Herstellung von Nickelstein verwendet man Kupfersteinschachtöfen.

Die Forderung, hohen Temperaturen zu widerstehen, wird im allgemeinen nur bei Flammöfen für feine Erze aufgestellt. Die in den Röst-, Konverter- und Raffinerieöfen auftretenden Temperaturen sind nicht so hoch; daher ist hier die Frage der Feuerfestigkeit von geringerer Bedeutung. Viel wichtiger ist die Widerstandsfähigkeit gegen die beim Schmelzprozeß entstehenden stark basischen Schlacken, wofür Chromit- und Magnesitsteine als geeignet erscheinen. Die oberen Partien der Öfen erhalten (beim Auftreten hoher Temperaturen) Silika, vorausgesetzt, daß an diesen Stellen Staubgase nicht auftreten. Neben der Widerstandsfähigkeit gegen plötzliche Temperaturwechsel ist die Fähigkeit, dem Eindringen von Kupferschlacke und -Metall zu widerstehen, sehr wichtig, und zwar wegen der Vermeidung von Verlust an kostbaren Metallen, Kupfer, Silber, Gold. Nach amerikanischen Erfahrungen sollen maschinengepreßte Steine für Kupferschmelzöfen besonders empfehlenswert sein.

¹ Unter teilweiser Benutzung der Ausführungen von *Tafel* in *Singer*, Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft. Verl. Vieweg, Braunschweig 1923. S. 599 ff.

c) Messingschmelzöfen. Über Messingschmelzöfen siehe Abschnitt „Elektrische Schmelzöfen“ auf S. 176.

d) Schachtofen zum Rösten von Antimon. Da Schmelzprozesse hier nicht stattfinden, und die Temperatur nicht allzu hoch steigt, genügt ein guter Schamottestein von normaler Qualität, was im allgemeinen auch von den übrigen Röstöfen gilt.

e) Flammofen zum Raffinieren von Blei. Der Raffinierprozeß besteht in der Entfernung des Arsens, Antimons usw. aus dem Blei. Diese Bestandteile bilden mit Bleioxyd dünnflüssige, auf der Oberfläche des Bades schwimmende Schlacken. Diese besitzen für alles kieselsäurehaltige Material eine starke Lösungsfähigkeit, so daß an den Berührungsstellen mit den Schlacken hochbasisches (Tonerde oder Magnesit) Material anzuwenden ist.

f) Zinnflamöfen. Die Reduktion des Zinnoxyds erfolgt bei sehr hoher Temperatur. Das Zinn ist sehr dünnflüssig. Die chemische Beanspruchung ist verhältnismäßig gering, so daß es hier in erster Linie auf die Feuerfestigkeit ankommt. Neben hochwertigem Schamottematerial hat sich hier das Ausstampfen mit Magnesit bewährt.

g) Mit den Anforderungen an feuerfeste Materialien in der Aluminiumindustrie befaßt sich *R. J. Anderson* im Journ. of the Americ. Ceram. Soc. 1923, S. 1090ff. Hierbei ist zu unterscheiden zwischen der Erzeugung von Aluminium durch Reduktion und dem Schmelzen von Aluminium (oder seinen Legierungen); im letzteren Falle (Schmelzen) besteht ein Unterschied in der Wahl feuerfesten Materials, je nach dem der Ofen selbst oder der mit dem Schmelzgut in Berührung befindliche Herd in Frage kommt.

Bei der Erzeugung von Aluminium durch elektrolytische Reduktion erhält der Ofen ein feuerfestes Futter mit niedrigem elektrischen und Wärmeleitvermögen. Auf das Futter kommt dann eine eingestampfte Schicht von Petroleumkoks oder einer anderen nach Möglichkeit billigeren Kohlenstoffart.

Für das Umschmelzen des durch Reduktion gewonnenen Aluminiums in Flamm- oder anderen Öfen sowie beim Schmelzen des Metalls vor dem Verarbeiten auf Walzen, Ziehen usw. wird der Herd mit feuerfesten Steinen ausgemauert, die so beschaffen sein müssen, daß die Aufnahme von Silicium und Eisen aus denselben durch das flüssige Aluminium möglichst vermieden wird, da eine Raffination des Metalls, wie sie mit den meisten anderen Metallen vorgenommen wird, ausgeschlossen ist. Beim Schmelzen von Aluminium für das Ziehen von Drähten zu elektrischen Zwecken muß man außerdem Verunreinigungen vermeiden, die die elektrische Leitfähigkeit des Metalls evtl. herabsetzen würden. Ferner müssen die feuerfesten Steine 1. Temperaturen bis 850° bis 900° C widerstehen, 2. die angreifende Wirkung des geschmolzenen Aluminiums aushalten, 3. Temperaturveränderungen vertragen, ohne rissig zu werden oder abzublättern, und 4. genügend mechanische Festigkeit besitzen, um widerstandsfähig gegen Stöße zu sein, die eintreten, wenn kalte Barren des Metalls auf die Steine geworfen werden.

Beim Schmelzen von Aluminiumlegierungen (Duralumin, Aluminium-Kupfer, Zink- und Manganlegierungen) vor ihrer Verarbeitung zu Blechen usw. werden an das feuerfeste Material die gleichen Ansprüche gestellt. Von den verschiedensten Ofensystemen sind in der Gießereipraxis die Eisentiegelöfen am verbreitetsten. Hier ist der Mantel mit feuerfestem Material ausgefüttert, und die Legierung wird in einem Gefäß aus Gußeisen (graues Gußeisen oder ein Gemisch aus 40 Proz. Halbstaht oder 60 Proz. Gußeisen) geschmolzen. Töpfe dieser Art vertragen jedoch kein Strecken oder Glühen und werden hierbei rissig. Sie halten durchschnittlich nur etwa 40 Schmelzen aus. Auch geben sie leicht Anlaß zu Verunreinigung der Aluminiumlegierungen mit Eisen. Von flüssigen Aluminium-Zinklegierungen werden diese gußeisernen Töpfe leicht zerfressen; auch zum Schmelzen von Duraluminium sind sie ungeeignet. In dem maschinellen Gießen von flüssigen Aluminiumlegierungen in der Formmaschine mittels Druckluft und beim Gießen von Dauerformen tritt bei Anwendung von Gußeisen ebenfalls eine Auflösung von Eisen in der Legierung ein, die z. B. in einer Aluminiumlegierung mit 8 bis 10 Proz. Kupfer bis zu 3 Proz. betragen kann. In Schacht- und Tiegelöfen benutzt man Schmelzgefäße aus einer Graphit- und Tonmischung, die aber hier nicht so haltbar erscheint als beim Schmelzen von Messing und Bronze.

Trotz der niedrigen Temperaturen (800 bis 850° C) sind die Anforderungen an das Ofenfutter beim Schmelzen von Aluminium und seinen Legierungen sehr hoch, denn wegen örtlicher Brennwirkung die Lebensdauer der Ofenfutter in Schmelzöfen nur kurz ist. Bekanntlich oxydiert sich das Aluminium bei zunehmender Temperatur leicht und rasch, und es tritt dann, besonders bei Bohrspänen und Staub, eine thermitartige Reaktion ein, die auf die feuerfesten Teile und Auskleidungen sehr zerstörend wirkt. Außerdem werden beim Schmelzen auch Flüsse verschiedener Art angewandt, von denen gewisse ebenfalls das feuerfeste Material stark angreifen. (Vgl. auch Abschnitt: Chemische Industrie, S. 175.)

Über das Verhalten von Aluminium, Carborundum, Magnesit, Sillimanit, Spinell u. a. Material als feuerfestes Ofenfutter beim Aluminiumschmelzen liegen noch keine Ergebnisse vor.

h) Muffelöfen werden für Destillations- oder Sublimationsprozesse angewandt, wie z. B. in der Industrie des Quecksilbers, Arsens usw. Eine besondere Verbreitung finden die Muffeln in der Industrie der Zinkdestillation. Infolge der großen wirtschaftlichen Bedeutung der Industrie der Zinkreduktionsgefäße, sowie aus Gründen, die oben auf S. 101 angegeben worden sind, mögen die feuerfesten Materialien der Zinkdestillation ausführlicher beschrieben werden.

Zinkdestillieröfen.

Die in den Zinkhütten zum Destillieren der durch Rösten oder Glühen vorbereiteten zinkoxydhaltigen Erze dienenden Destilliergefäße werden entweder in der Gestalt von Muffeln oder in Form von Retorten oder Röhren

verwendet. Die Muffeln sind in diesem Falle längliche, vorne offene Gefäße mit rundbogenförmigem, rechteckigem Querschnitt und werden hauptsächlich in den schlesischen Zinkhütten verwendet. Die Größe der Muffeln ist verschieden, sie beträgt je nach der Bauart des zur Verwendung gelangenden Zinkofens 1 bis 2,15 m Länge, 0,60 bis 0,65 m Höhe und 0,15 bis 0,20 m Breite. Die Scherbendicke wird häufig nicht in allen Teilen der Muffelwand gleichmäßig gehalten, sondern der Scherben wird am hinteren Teile des Bodens und in der Kappe stärker gearbeitet, als im vorderen Bodenteil und bei den übrigen Muffelwänden. Die Scherbenstärke des vorderen und hinteren Bodens beträgt etwa 2 und 3 cm und die der Kappe etwa 6,5 cm.

Die Nachteile, die starke und vor allen Dingen verschieden starke Muffelwände nachsichziehen, bestehen in der Minderung der Wärmeleitfähigkeit und in der Begünstigung auftretender Spannungen und Risse. Infolgedessen ist man immer mehr bestrebt, die Muffeln mit möglichst dünner und gleichmäßiger Wandung herzustellen, wodurch außerdem der Vorteil erlangt wird, daß sich die Muffeln durch Maschinenarbeit gestalten lassen, während bei verschiedenen Scherbendicken einer und derselben Muffel nur Handarbeit anwendbar ist.

Zinkdestilliergefäße mit gleichmäßiger Wandstärke sind zum Beispiel die röhrenförmigen Muffeln. Sie werden hauptsächlich in den belgischen Zinkhütten verwendet und werden mit kreisrunden oder elliptischem Querschnitt hergestellt. Ihre Länge beträgt etwa 1 bis 1,5 m, ihr Durchmesser 15 bis 25 cm und ihre Scherbenstärke 20—40 mm. Man zieht Röhren mit elliptischem Querschnitt solchen mit kreisrundem Querschnitt vor, da die elliptischen Röhren einer Durchbiegung größeren Widerstand entgegensetzen und aus diesem Grunde auch in größeren Längen hergestellt werden können.

Die Anforderungen, denen ein brauchbares Reduktionsgefäß (Muffeln, Retorten) in Zinkhüttenbetrieben entsprechen soll, sind nach *Proske* folgende:

a) Hohe Feuerbeständigkeit, um Temperaturen bis 1600° C (infolge des Auftretens von Stichflammen) zu widerstehen; in elektrischen Schmelzöfen muß man aber mit der Möglichkeit des Eintretens von örtlichen Überhitzungen rechnen, so daß ein höherer Schmelzpunkt des Materials erwünscht wäre.

b) Widerstand gegen die Schlacken, sowie die Flußmittel der Beschickung, insbesondere gegen PbO, FeO, MnO, CaO, sowie schmelzbare Schwefelverbindungen.

c) Gutes Wärmeleitungsvermögen, da die Beheizung der Wände der Reduktionsgefäße von der Außenseite aus erfolgt und die Wärme auf die Beschickung durch die Wände der Gefäße übertragen wird.

d) Hohe mechanische Festigkeit, um dem Gezähe Widerstand zu leisten.

e) Dichtheit des Scherbens, sowie seine Rissfreiheit, um die Durchlässigkeit bzw. die Aufnahme für Zinkdämpfe in denselben auf das Minimum herabzusetzen.

f) Hohe Elastizität, um die durch erhebliche Temperaturschwankungen bedingte wiederholte Zusammenziehung und Ausdehnung auszuhalten.

g) Widerstand gegen Flugasche der Feuerung an den Außenwänden der Reduktionsgefäße.

Die im Hüttenbetrieb gebrauchten Muffelmassen entsprechen jedoch diesen Anforderungen nur in geringem Maße. Vor allem haben sie nur eine kurze Lebensdauer (durchschnittlich 20 bis 30 Tage), und es treten in ihnen mehr oder weniger große Zinkverluste auf.

Die Ursachen dieser verhältnismäßig schnellen Zerstörung der Zinkreduktionsgefäße sind darauf zurückzuführen, daß sich bei den hohen Temperaturen, besonders gegen Ende des Destillationsprozesses flüssige Schlacken (meistens Doppelsilikate) bilden, die in selbst feinste Risse eindringen und korrodierend auf die Wandungen der Gefäße einwirken. Sie füllen je nach dem Flüssigkeitsgrad die kleinen und kleinsten Risse aus, dringen dann weiter in die umliegende Muffelmasse ein und verbinden sich mit dieser zu einem steinzeugartigen Gebilde, das einen anderen Ausdehnungskoeffizienten wie die umliegende poröse Gefäßmasse besitzt. Durch die täglichen Abkühlungen beim Beschicken treten daher Spannungen in der Muffelwand auf, die allmählich die ganze Retorte zerstören. Teils sind auch Schwindrisse der Muffelkomponenten (Ton) die Ursache der Risse. Andererseits verhält sich die Muffelmasse den Schlacken gegenüber wie ein Schwamm. Die sich bildenden Schlacken dringen durch Capillarität in das Innere des Scherbens ein und üben dort eine zerstörende Wirkung aus. Dichte Scherben sind daher erste Bedingung langer Haltbarkeit der Zinkreduktionsgefäße. Hydraulisch gepreßte Muffeln halten länger, auch ist die Wärmeleitfähigkeit der in solcher Weise hergestellten Muffeln (proportional annähernd der Dichte der Scherben) höher. Andere Ursachen der Zerstörung der Muffeln können sein: 1. die Einwirkung von Flugasche auf die Außenwandung, die jedoch hier weniger zu befürchten ist, da dieselbe infolge des Gaswirbels und der feinen Beschaffenheit der alkalihaltigen Flugaschenteilchen fast vollständig wieder abgeführt werden und somit eine Wirkung auf die Muffelwandung bedeutend herabgesetzt wird; 2. Ansammlungen größerer Mengen von metallischem Eisen mit einem höheren Gehalt an Mangan und Schwefel am Boden der Retorte, die ein Durchfressen der Wandung zur Folge haben können, wenn infolge Löcherbildung Schlacke (besonders Mn- und schwefelhaltige) auf die in der unteren Etage liegenden Muffeln heraustropft und diese förmlich zersägt; 3. ein Durchbiegen der Retorte bei der Erhitzung infolge ihres Eigengewichts und Beschädigungen mechanischer Art beim Abstoßen der sich ansetzenden Schlacken, beim Abnehmen der Vorlagen usw. In dem Bestreben, eine größere Haltbarkeit der Muffeln zu erreichen, hat man versucht, die übliche Muffelmasse durch andere widerstandsfähigere Stoffe zu ersetzen, wie Graphit, Magnesia, Carborundum¹, Siloxikon oder Alundum oder, wegen des hohen Preises dieser Materialien, die Retorten nur mit einem Überzug dieser Stoffe zu versehen, um hierdurch die Muffelmasse von einer direkten Einwirkung der Schlacken zu schützen, haben jedoch nirgends zu einer ausgedehnten Einführung in die Praxis geführt.

¹ *Endell* behauptet, daß Carborundum infolge seiner hohen Wärmeleitfähigkeit sowie Standfestigkeit unter Belastung bei hohen Temperaturen in Amerika trotz des hohen Preises vielfach, wie z. B. in der New-Jersey-Zink-Company mit Erfolg für Zinkretorten benutzt wird. *Brennst.-Wärmew.* 1923, S. 103.

Es ist eine durch Analysen belegte Tatsache, daß innen und außen richtig glasierte Muffeln nach gleichen Ofenkampagnen einen bedeutend geringeren Zinkgehalt aufweisen und weit dichter sind als unglasierte Muffeln. Andererseits¹ wird dem Glasieren der Destilliergefäße kein Vorteil beigemessen. Der auch vielfach behauptete Schutz der Glasur gegen das Ausbrennen des Kokes aus dem Scherben wird als fragwürdig bezeichnet. In vielen Hütten wird das Innere der Muffeln nicht glasiert, weil sich schon nach der ersten Beschickung eine feine Schlackenschicht aus der Beschickung bildet. Der Behauptung, daß die Glasur ein Entweichen der Zinkdämpfe durch die Gefäßwände verhindert, widerspricht ferner die Beobachtung der Scherbenfärbung von glasierten Muffeln. Als Ursache dieser Färbungen ist Zink nachgewiesen, daß in Dampfform durch die im Feuer weich werdende Glasur hindurchdringt.

Über das Maß der Einwanderung von Zink in die Muffeln geben die folgenden drei Tabellen (35, 36 und 37) Aufschluß.

Scherben gebrauchter Muffeln von oberschlesischen Zinkhütten zeigen nach *Jensch* folgende Zusammensetzung:

Tabelle 35.

Aufnahme von Zink durch die Muffelscherben.

	I	II	II I	IV	V
SiO ₂	50,20	48,64	46,50	52,14	49,75
Al ₂ O ₃	30,80	33,58	36,84	28,56	31,82
CaO	0,48	0,35	0,60	0,40	0,52
MgO	0,56	0,39	0,41	0,35	0,38
Alkalien	0,21	0,30	0,25	—	0,80
Fe ₂ O ₃	0,61	0,73	1,21	0,75	0,96
ZnO	17,04	16,38	14,11	18,21	16,63
CdO	0,005	0,071	0,08	0,01	0,13

Nach *Degenhardt* hatten Scherben belgischer Röhren (blaue I und weiße II) folgende Gehalte:

Tabelle 36.

Aufnahme von Zink durch die Retortenscherben.

	I	II
SiO ₂	41,13	50,10
Al ₂ O ₃	33,48	38,28
CaO	0,92	1,13
MgO	0,47	0,73
Fe ₂ O ₃	2,84	3,42
MnO ₂	0,37	0,41
ZnO	21,47	6,10

¹ *Bischof*, Die feuerfesten Tone. 4. Aufl. Verl. J. A. Barth, Leipzig 1923. S. 213.

Mühlhaeuser¹ fand in gebrauchten Muffeln folgendes:

Tabelle 37.
Analysen gebrauchter Muffeln.

	I. Rheinische Muffel	II. Retorte von Illinois	III. Retorte von Kansas
SiO ₂	68,84	44,68	52,06
Al ₂ O ₃	20,38	32,52	28,34
CaO	0,60	0,10	0,06
MgO	0,12	0,00	0,42
Fe ₂ O ₃	2,52	3,60	2,40
K ₂ O	—	0,11	—
Na ₂ O	—	0,20	—
ZnO	6,42	19,10	16,88

Auch über den Zusatz von Koks zu der Muffelmasse sind die Meinungen der Fachleute verschieden. Nach *Proske* hat sich ein Zusatz von 5 bis 15 Proz. Koks zur Muffelmasse als brauchbares Schutzmittel gegen den Angriff der Schlacken bewährt, auch deshalb, weil dieser die Feuerfestigkeit der Muffel erhöht und die Aufnahmefähigkeit der Masse an ZnO herabsetzt. Es möge hier auf einige interessante infolge des Kokszusatzes eintretende Schichtenbildungen beiläufig hingewiesen werden. Die getemperten Muffeln zeigen, daß der C-Gehalt an der äußeren Seite stärker als innen ausbrennt. Auch später im Zinkofen brennt Kohlenstoff fast nur noch von der äußeren Seite fort. Man unterscheidet deutlich zwei Zonen, eine äußere, hellgraue, C-arme (mit 0,1 bis 0,5 Proz. C), und eine innere, schwärzliche, C-haltige Schicht (mit 4 bis 7 Proz. C). Der Übergang zwischen diesen beiden Schichten ist unmittelbar und zeigt auch mechanisch verschiedene Eigenschaften, durch Schlag mit einem Hammer spaltet die äußere Schicht leicht ab. Die kokshaltige Schicht bleibt sehr dicht und durchlässig, während die äußere poröser ist. Eine Muffel ist also ein Gebilde aus zwei verschiedenen Schichten, gewissermaßen ein Überzug einer C-haltigen Tongrundmasse mit einer solchen C-ärmeren. Infolge der verschiedenen Zusammensetzung und Ausdehnungskoeffizienten dieser beiden Schichten sind in der äußeren Schicht viele Risse zu bemerken (sog. Mantelrisse), etwa 3 bis 4, auch 8 bis 10 mm stark, die sich bald mit Glasurmasse füllen, zu Zerstörungen der Muffeln aber nicht führen. Auch die Spinellbildung, von der in den folgenden Zeilen die Rede sein wird, ist dort am größten, da hier die Porosität und Ansammlungsmöglichkeit der Zinkdämpfe am größten ist. Je nach Art der in dem Erz vorhandenen Gangart hat man auch die Muffelmasse dementsprechend zusammengesetzt; bei saurem Charakter der Beschickung gibt man der Retorte einen größeren Kieselsäuregehalt, bei basischem einen höheren Tonerdegehalt. Allgemein ist die Ansicht vorherrschend, daß besonders ein hochtonerdehaltiger Scherben der Einwirkung der Schlacke am besten widersteht.

¹ Ztschr. f. angew. Ch. 1902, S. 1242.

Die eigenartige Blaufärbung¹, welche Muffeln von langer Haltbarkeit durch die ganze Masse hindurch zeigen, gab wohl zuerst Veranlassung zu eingehenden chemischen und mikroskopischen Untersuchungen der Scherben derselben. Dieselben klärten darüber auf, welche Wandlungen das Tonmaterial im Betriebe erfährt. *Steger* berichtet eingehend über seine Befunde an Muffeln der Paulshütte in Oberschlesien. In keinem Falle war die Tonmasse unberührt geblieben; mit fortschreitender Dauer im Ofen nimmt die Umwandlung derselben einen immer höheren Grad an, bis schließlich aus dem Tone ganz neue Körper geworden sind, die auch interessante Schlüsse auf die Bildung krystallinischer Mineralien in vulkanischen Gesteinen in großer Hitze bei Gegenwart von Metalldämpfen ziehen lassen. In den tiefblauen Scherben war die Tonsubstanz ganz verschwunden, an ihrer Stelle hatten sich Zinkspinell (ZnAl_2O_4) und Tridymit (SiO_2) gebildet. Ersterer in großen, intensiv blau gefärbten Oktaedern, letzterer in größeren Individuen, aber selten deutlich krystallisiert. Daneben fanden sich noch zahlreiche Absonderungen von gelb bis braun gefärbten Gläsern, welche als Entglasungsprodukte säulenförmige Krystalle enthielten (künstlichen Willemit). Andere Teile der Muffeln, besonders die auf den Ofenbänken ruhenden Böden derselben waren hell- bis dunkelbraun gefärbt. Diese zeigten sich unter dem Mikroskop ganz durchsetzt zu stängligen, zu Gruppen angehäuften Krystallen von gelblicher Färbung (künstlicher Willemit). Daneben fanden sich farbloser Zinkspinell und Tridymit, aber nicht so reichlich wie in den blauen Scherben. Die in den braunen Scherben noch reichlich vorhandene unzersetzte Substanz berechtigt zu der Annahme, daß dieselben nicht genügender Hitze ausgesetzt waren, um das zuerst gebildete Zinksilikat mit dem Tonerdesilikat in Zinkaluminat und Kieselsäure umzusetzen. Auch in den hellgefärbten Scherben der Gefäße von kürzerer Dauer war noch unzersetzte Tonsubstanz neben eingestreuten Schamotte- und Quarzkörnern vorhanden. Die bereits gebildeten Zinkspinellkrystalle sind noch klein und wasserhell bis meergrün, sie sind, wie auch Tridymit, noch verhältnismäßig spärlich da, meist gruppenförmig die Spaltenräume ausfüllend. An einzelnen Stellen fanden sich auch Krystallnadeln von Zinksilikat (Willemit). Die völlige Umwandlung der Tonsubstanz durch den Hüttenprozeß hat jedoch die Feuerbeständigkeit der Masse keineswegs herabgedrückt, im Gegenteil ihre Haltbarkeit erst begründet und ihre Aufnahmefähigkeit für Zinkdämpfe wesentlich vermindert. So würden die Gefäße noch lange dienen können, wenn nicht die mit der Beschickung eingebrachten Schlackenbildner am Stoffe nagten und sie dadurch mit der Zeit so dünnwandig machten, daß ihre Auswechslung notwendig wird.

Bezüglich der Spinellbildung fand *Proske*, daß in der Längsrichtung in den nächsten 5 cm des Muffelmundes (der kältesten Stelle der Muffel), keine Spinellbildung auftritt; erst weiter dem Ofeninnern zu wird sie stärker, um am Ende der Muffel wieder spinellärmer zu werden. Die Erklärung dieser Tatsache ist nach *Juretzka* ziemlich einfach. Die Muffel bleibt vorn immer

¹ *Liebig*, Zink und Cadmium. Verl. Otto Spamer, Leipzig 1913. S. 324.

kalt und porös, ohne jemals dicht zu werden. Im vorderen Teil der Muffel findet immer eine Wechselwirkung zwischen den Zink- und den Ofengasen statt und damit eine ZnO-Abscheidung. Gesamtanalysen verschiedener Teile von Zinkmuffeln, die man hat häufig ausführen lassen, um festzustellen, wieviel Zink mit der ausgewechselten Muffel auf die Halde geht, ergaben, daß der Muffelmund bis etwa 5 bis 10 cm je nach der betreffenden Ofen- oder besser Brennerkonstruktion, etwa 10 bis 12 Proz. Zink enthielt, während die Muffel weiter hinten höchstens 0,7 bis 0,5 bis 0,3 Proz. Zink im Mittel enthielt. Auch dürfte die Temperatur für die Spinellbildung im vorderen Teil zu gering sein, desgleichen wird hier auch keine Reduktionstemperatur für Spinell erreicht. An den Teilen, an denen die Bildungstemperatur (aber noch nicht die Reduktionstemperatur) für Spinellbildung erreicht wird, findet eine immer kräftigere Blaufärbung statt, da in den angrenzenden Teilen immer neue ZnO-Teilchen im Scherben selbst geliefert werden, weiter hinten aber der Scherben infolge der höheren Temperatur längst dicht und undurchlässig geworden ist und damit auch die Bedingungen für die Spinellbildung ungünstigere geworden sind, ferner würden die gebildeten feinen Spinellansätze zum Teil wieder reduziert werden usw.

Umfassende Studien darüber, welche Bestandteile der im Boden der Muffel festgesetzten auf die Masse derselben mehr oder weniger stark eingewirkten Schlackenansätze den schädigenden Einfluß ausgeübt und wie die Schlacke auf den Scherben eingewirkt hatte, hat *Proske*¹ durchgeführt. Die Hauptbestandteile dieser Schlacken bilden SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , CaO und oft auch MnO , in geringeren Mengen kommen PbO , ZnO , MgO , CuO und Alkalien vor. Die Verhältnisse der vier Hauptbestandteile sind sehr verschieden und vor allem durch die Zusammensetzung der Beschickung bedingt. Der durchschnittliche Kieselsäuregehalt beträgt 50 Proz., variiert aber auch zwischen 40 und 70 Proz.

Bei Annahme des Al_2O_3 als Base neben den anderen Basen und SiO_2 als Säure ergibt sich ihr Sauerstoffverhältnis wie 1 : 4 bis 1 : 1, also eine Silizierungsstufe von Tetrasilikat bis Singulosilikat. Die Schlacken nähern sich häufig in ihrem Silizierungsgrad denjenigen des Muffelscherbens, was natürlich ist, da sie sich allmählich dazu sättigen. Es findet also ein Ausgleich zwischen Muffel und Beschickung statt. Die Verhältnisse an den verschiedenen Teilen der Muffel sind verschieden, desgleichen zu den einzelnen Zeiten des Reduktionsprozesses. Vorn am Munde ist die Muffel kälter, im Innern der Schmelzsäule infolge des Temperaturgefälles kälter als an der Muffelwandung usw. Dementsprechend entstehen auch die den verschiedenen Temperaturen entsprechenden Schlacken von verschiedenartigen Konsistenzen. Der Tonerdegehalt der Schlacken schwankt zwischen 12 bis 33 Proz. Al_2O_3 . Mit dem Al_2O_3 -Gehalt wächst die Zähflüssigkeit der Schlacke. Letztere dringt dann weniger leicht in die Poren des Scherbens und zerstört ihn nicht so leicht,

¹ *Proske*, Über die Einwirkung von Schlacken und Dämpfen auf die Muffelmassen des Zinkhüttenbetriebes und über die Aufnahmefähigkeit des Tones an ZnO. Metall u. Erz 1914, S. 333 bis 339, 377 bis 385, 412 bis 418, 553 bis 562.

hat aber den Nachteil, daß sie Erzpartikelchen umklammert und der Reduktion entzieht. Ein höherer Tonerdegehalt in der Muffel würde daher vorteilhaft sein. — Diese Schicht zähflüssiger Schlacke an der Muffelwand, gebildet durch Sättigung der Schlacke mit dem Muffelmaterial, bietet willkommenen Widerstand gegen Wirkung leichter, flüssiger Mittel der Beschickung. Wird diese zähflüssige Bodenschicht aber durchbrochen und schüttet die obere Muffel die Schlacke auf die Außenfläche der darunterliegenden Muffel, so wird diese in der kürzesten Zeit zerstört, weil dieser obengenannte Schutz hier fehlt. Um die rasche Bildung einer derartigen zähen Schicht zu unterstützen, wird in der Praxis der Boden häufig mit Lösche beschüttet, was alles die gleichen Bedingungen gibt wie die obengenannte Schicht. Die Dicke dieser Schicht ist gering, kann aber ziemlich groß werden, 3 bis 4 cm (bei schlechten Muffelräumen und drückt dann das Ladegewicht herunter). Von wesentlicher Bedeutung ist auch der Eisen-(FeO-)Gehalt in den Schlacken. Große FeO-Gehalte sind daher auf alle Fälle in der Beschickung zu vermeiden. — Als noch stärkere Base tritt Calciumoxyd auf, dessen Silikate bei Eintritt von FeO weit leichter schmelzen. — MnO-Gehalte treten seltener auf. Ein größerer PbO-Gehalt ist dann recht schädlich, wenn derartige SiO₂-Mengen vorhanden sind, daß sich Bisilikate bilden können. 3 bis 5 Proz. Pb schaden jedoch wenig, wenn man derart viel SiO₂ hat, daß sich 3- bis 4fache Silikate bilden können, übrigens wird auch der größte Teil des Pb reduziert und damit unschädlich. — Alkalien sind in der Beschickung weniger vorhanden, ihr Einfluß auf die Muffelwand ist gering. Der in den Rückständen vorhandene Schwefel ist ausschließlich Sulfidschwefel und größtenteils an Ca gebunden, untergeordnet an Mn und Fe, in letzterem Falle bei größeren FeS-Mengen gibt er zu bösen Korrosionen der Muffel Veranlassung. Der S-Gehalt der Ansätze der Muffeln besteht jedoch größtenteils aus dem ungefährlichen CaS. Zur Feststellung des schädlichen Einflusses der Schlacken auf die Muffelmasse bei verschiedenen Temperaturen wurden die Schmelzpunkte von Schlacken bestimmt. Dieselben liegen zwischen 1300 bis 1450° C, die Zähflüssigkeit und damit der Beginn erhöhter Aktivität wird bei 1090 bis 1270° C bereits erreicht. Danach wirken die Schlacken erst gegen das Ende der Destillationsperiode, wo höhere Temperaturen erreicht werden, besonders schädlich auf die Muffelscherben ein.

Die Analysen der Muffelmassen ergaben, daß oberschlesische Zinkmuffeln bedeutend basischer sind als diejenigen aus dem Rheinland und aus Norddeutschland. Alle Massen hatten einen gewöhnlich 10 Proz. betragenden Koks Zusatz, der teilweise durch den langen Gebrauch der Muffeln herausgebrannt war. Die Scherben, die längere Zeit im Betrieb waren, also nur noch wenig Kohle enthielten, wiesen einen höheren ZnO-Gehalt auf. Höher kohlenstoffhaltige Scherben ließen nur geringe Mengen ZnO erkennen. Es ist daraus zu schließen, daß die Aufnahmefähigkeit des Retortenmaterials an ZnO nur sehr gering ist und erst dann höher wird, wenn fast der ganze Koks herausgebrannt ist. Man kann sich den Vorgang der Aufnahme von ZnO durch die Retorten dadurch erklären, daß man annimmt, daß durch die Wandung von

innen nach außen Zinkdämpfe, infolge des Überdruckes im Ofen aber auch die Heizgase, wesentlich Kohlensäure, nach innen dringen. Es bildet sich dann ZnO , das sich mit Al_2O_3 und SiO_2 zu Aluminaten bzw. Silikaten bindet. Besitzt nun der Scherben einen Koksgehalt, so wird ZnO gar nicht in den Scherben eindringen können. Die Kohlensäure der Heizgase wird bei der Berührung mit dem Koks zu Kohlenoxyd reduziert, das seinerseits auf das ZnO einwirkt. Etwa gebildetes Zinksilikat zersetzt sich ebenfalls, nur Zinkaluminat bleibt bei den in Betracht kommenden Temperaturen beständig und findet sich in bereits gebrauchten Muffeln in hell- bis blaugefärbten Oktaedern. Die mikroskopische Untersuchung der Muffelmassen bestätigte im allgemeinen die Untersuchungen früherer Forscher. Bei lange im Betrieb gewesenen Muffeln zeigte das Material starke Veränderungen: Fast die ganze SiO_2 war in Tridymit übergegangen, bei größeren Kieselsäurepartikeln erscheint nur noch der Kern als Quarz. Die ganze Masse war von Haarrissen und größeren Sprüngen durchzogen. Die Tonerde der Tonsubstanz bei einem stark blaugefärbten Scherben löste sich bei 300- bis 400facher Vergrößerung zu optisch insotropen, scharfbegrenzten blauen Krystallen von Zinkspinell auf. Alle Scherben zeigen sehr viele Risse, Schwindrisse vom Tempern herührend, nur die Muffeln, die noch stark kokshaltig waren, wiesen weniger Risse auf. Zinksilikat wurde weniger gefunden, da dieses schon bei niedriger Temperatur, etwa 930° , durch Kohlenoxyd reduziert wird.

In der Zinkhütten-Praxis war bis vor einigen Jahren die Ansicht vertreten, daß Zinksilikate nur durch festen Kohlenstoff reduziert werden. Die genauere Beobachtung bei häufigeren Verhüttungen von Kieselzinkerzen ließen bald Zweifel an der Richtigkeit dieser Annahme entstehen, die jedoch noch nicht genügend geklärt sind. Es ist Tatsache, daß gewisse einfache Zinksilikate verhältnismäßig leicht durch CO reduziert werden. Voraussetzung ist, daß das CO gut an das Korn herantreten kann und dieses nicht übermäßig groß ist, daß es also bei fortschreitender Reduktion derart zerfällt, daß die CO -Gase stets ausreichende Angriffsfläche haben. Ob auch höhere Silikate reduziert werden, dürfte fraglich sein.

Die Aufnahmefähigkeit des Tones an ZnO ist vom Druck abhängig wobei hier in erster Linie Aluminate entstehen, dagegen an Kieselsäure sich nur ein kleiner Teil des ZnO bindet. Auch die Dauer der Einwirkung spielt dabei eine große Rolle. Mit steigender Temperatur nimmt die Aufnahme von ZnO durch den Scherben ebenfalls zu.

Saure (Silika, Dinas) Versätze finden in der Zinkindustrie keine Verwendung. *Proske* schlägt allerdings vor, möglichst halbsaure Muffeln zu verwenden, da die Absorption infolge des geringen Al_2O_3 -Gehaltes geringer wäre. Demgegenüber muß bemerkt werden, daß auch hochtonerdehaltige Muffeln wenig Zink bis zum Schlusse ihrer mehrwöchentlichen Hüttenreise aufnehmen, wenn sie gut glasiert, gut gepreßt, richtig gattiert sind und rasch dichtbrennen, also den größten Anforderungen einer guten Zinkmuffel entsprechen. Halbsaure Muffeln sollten sich nach einer anderen Beobachtung als unangenehm im Betriebe erwiesen haben, da sie angeblich leicht zerspringen.

Mit der Durchlässigkeit von Zinkmuffeln für Dämpfe und Gase hat sich *Mühlhaeuser*¹ eingehend beschäftigt. Die Ergebnisse seiner interessanten Untersuchungen sind folgende:

1. Die Durchlässigkeit eines in den Zinkofen neu eingesetzten Gefäßes ist durch die Porosität des Scherbens und durch die in demselben befindlichen Risse kleineren und größeren Umfangs bedingt, welche letztere schon bei der Herstellung des Gefäßes bzw. beim Trocknen und später beim Tempern namentlich aber im Zinkofen, entstehen, im allgemeinen aber schwer zu entdecken sind und daher gewöhnlich als nicht vorhanden betrachtet werden.

2. Die Durchlässigkeit nimmt vom Tage des Einsatzes bzw. der erstmaligen Benutzung des Gefäßes an gerechnet zunächst etwa 2 Wochen beständig und stetig ab, bis sie schließlich einen fast konstanten Wert annimmt, der bei jedem im Ofen vorhandenen Gefäß verschieden groß ist. Der Grund für dieses Verhalten ist in der Verdichtung des porösen Scherbens und in der Verschlackung der Innen- und Außenfläche der Muffel zu suchen.

3. Sobald die Durchlässigkeit einer Muffel einen konstanten Wert angenommen hat, muß man sich deren Risse bis zu einem gewissen Grade geschlossen bzw. nicht mehr weiter schließbar denken.

4. Der Wert der Durchlässigkeitskonstante einer Muffel hängt daher in erster Linie von der Art, Länge, Tiefe und Zahl der im Scherben vorhandenen Risse ab, welche als die Korridore der angrenzenden porösen Scherbenpartien anzusehen sind, ferner von der Natur der auf der Oberfläche sich bildenden Glasur und Schlackenhaut bzw. deren Dicke und Beschaffenheit.

5. Die Durchlässigkeit einer Muffel bleibt so lange konstant, als sich der Zustand der vorhandenen Risse nicht ändert oder sich keine neuen Risse bilden.

Daß die einen Spalt begrenzenden, dicht aufeinander liegenden Absonderungsflächen sich voneinander entfernen, muß man letzten Endes zurückführen:

a) auf Dislokation der Teile infolge mechanischer Beanspruchung (Abstoßen des Oxydwulstes am Rande der Muffelmündung oder von Schlackenansätzen im Inneren der Muffel mit dem Stoßeisen, gewalttames Herausbrechen der Kondenser aus der Muffel);

b) auf Änderungen im Volumen der Muffel infolge des Wechsels der Temperatur im Ofen oder in der Muffel, wobei neue Risse entstehen oder vorhandene sich öffnen bzw. schließen, infolge der Verkürzung bzw. Verlängerung der in Betracht kommenden Faserschichten.

Man wird also zwischen einer temporären und einer dauernden Durchlässigkeit unterscheiden können. Erstere tritt zur letzteren hinzu, sobald vorhandene Spalten sich öffnen bzw. klaffend werden. Schließt sich der die vermehrte Durchlässigkeit bedingende Riß wieder, so nimmt, wie erwähnt, die Muffel auch wieder den früheren für sie charakteristischen Durchlässigkeitsgrad an und kehrt damit wieder in den normalen Zustand

¹ Metall u. Erz 1919, Heft 9 u. 10.

zurück. Auf diese Zustandsbeharrung und dann wieder auf dieses Sichöffnen und Sichschließen der Risse ist es wohl zurückzuführen, daß die Durchlässigkeit einer Muffel und damit auch der Metallverflüchtigungsverlust oft längere Zeit denselben Wert besitzt, daß die Durchlässigkeit plötzlich und scheinbar unvermittelt außerordentlich groß wird, um vielleicht schon am nächsten Tage oder nach Verlauf von mehreren Tagen wieder die frühere konstante Größe anzunehmen.

Manchmal wechselt daher die Durchlässigkeit eines Gefäßes von Tag zu Tag und kehrt schließlich doch wieder auf den unteren Grenzwert zurück. Wieder unter anderen Verhältnissen bleibt die Durchlässigkeit sehr lange konstant, bis sie plötzlich infolge einer bedeutenden Rißerweiterung oder eines sich auf eine große Länge oder Breite erstreckenden Risses aus der Verbrennungskammer entfernt werden muß. In den Vorlagen ist die Temperaturbeanspruchung des feuerfesten Materials nicht hoch; die hier herrschenden Temperaturen betragen durchschnittlich 500°C . Steigt die Temperatur über 500°C , so zerfällt das Kohlenoxyd in Kohlensäure und Kohlenstoff. Die Reaktion wird durch die Gegenwart von Eisen, das als Katalysator wirkt, beschleunigt. Enthält das feuerfeste Material der Vorlage Eisen, so wird dieses durch das CO zu metallischem Eisen reduziert. Um die Eisenpartikelchen setzt sich Kohlenstoff ab, welches eine Expansionskraft ausübt, die genügt, um die Auskleidung in kurzer Zeit zu zerstören. Es ist deshalb zu empfehlen, für Vorlagen eisenfreies oder -armes feuerfestes Material zu verlangen.

Eine Arbeit von *Endell* und *Steger* über „Neuzeitliche Prüfung von Zinkmuffeltonen und Zinkmuffeln“ (Metall und Erz 1923, Heft 17/18), die mir erst verhältnismäßig spät zugegangen war, konnte ich hier leider nicht mit berücksichtigen, und ich verweise daher die Interessenten auf die Originalarbeit, die auch Literaturangaben bringt.

Wir verlassen nun das Gebiet der Zinkdestillation und widmen zum Schluß einige Worte der Anwendung der Tiegel in der Metallhüttenpraxis.

Die Tiegel.

Neben den Muffeln finden in den Metallhütten zur Ausführung zahlreicher Schmelzprozesse sog. Tiegel von verschiedenartigster Größe und Form Anwendung. In der Fig. 19 sind einige typische Formen von solchen Tiegeln dargestellt.

Im Gegensatz zu den anderen feuerfesten Erzeugnissen werden Tiegel nicht allein aus Quarz oder Schamotte oder aus Gemischen der beiden hergestellt, sondern es finden hierfür je nach der Art des in Frage kommenden hüttenmännischen Schmelzprozesses zahlreiche andere feuerfeste Stoffe, insbesondere feuerfesteste Metalloxyde Verwendung. Einige kurze Angaben über Tiegel aus Graphit, Magnesia, Kalk, Tonerde usw. befinden sich auf S. 96 dieses Buches, trotzdem sie zum Programm des Werkes nicht gehören. Sie sind dort nur vollständigkeithalber aufgenommen. An dieser Stelle möge dagegen einiges über Tiegel gesagt werden, zu deren Herstellung die das Thema des vorliegenden Werkes bildenden Schamotte- und Quarzmassen Verwendung finden.

Allgemein wird von den Schmelzriegeln verlangt: Genügende Schwermelzbarkeit, sowie dichtes (auch in der Hitze) Gefüge, um dem Druck und der chemischen Einwirkung des Schmelzgutes widerstehen zu können. Die Dichtigkeit des Tiegels soll so beschaffen sein, daß der letztere undurchdringlich für geschmolzene Metalle ist. Wenn es auch keine Massen gibt, die der zerstörenden Wirkung derartiger Schmelzen unbedingt und dauernd Widerstand leisten können, so läßt sich durch vergleichende Versuche das beste vom Vorhandenen aussuchen. Zu diesem Zwecke schmilzt man in kleinen Probetiegeln Schwefelmetalle (Schwefelkies, Bleiglanz, Kupferoxyde usw.) und beobachtet, wie tief die Schmelze in die Poren des Tiegels hindurchsickert, bzw. wie lange der Tiegel diesen Schmelzungen widersteht.

Insbesondere verlangt man von den Tiegeln, daß sie gegen Alkalien, von denen die Schwefelalkalien die heftigste Wirkung ausüben, sowie gegen Metalloxyde, besonders Blei- und Antimonoxyd widerstandsfähig sind.

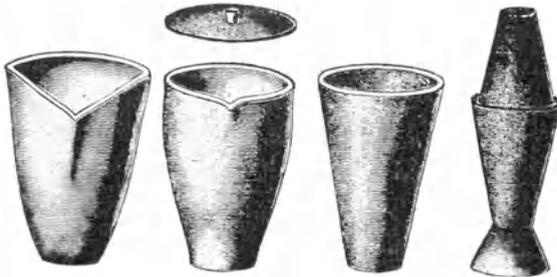


Fig. 19. Verschiedene Formen von Tiegeln.

Die Schamottetiegel sind bekanntlich widerstandsfähig gegen basische Schmelzen und werden daher den Quarztiegeln zuweilen vorgezogen; außerdem zeichnen sie sich durch bessere Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel aus, worauf es bei Tiegeln besonders ankommt. Die chemische Zusammensetzung der Tiegel spielt in Anbetracht der vielen und außerordentlichen Angriffe, denen die Tiegel ausgesetzt sind, nicht in dem Maße eine Rolle, wie die sorgfältige Herstellung der Masse, bzw. die sorgsame Gestaltung der Tiegel.

Je dichter die Masse geformt wird, und je glatter die Oberfläche der Tiegel gestaltet ist, um so besser widerstehen sie den Angriffen chemischer Einflüsse. Von den sulfidischen Kupfererzen werden tonerdereiche Scherben stärker angegriffen als quarzreiche Scherben. Bleiische Erze verhalten sich umgekehrt. Da aber viele Erze mehrere Metalle gleichzeitig enthalten und es kaum durchführbar ist, für die verschiedenen Erzsornten besondere Tiegelmassen herzustellen, so verwendet man am besten Tiegelmassen, die verschiedenen Metallen Widerstand zu leisten vermögen.

Aus reinem Quarz werden Tiegel nicht hergestellt. Eine Ausnahme hiervon bilden nur kleinere Laboratoriumsgeräte, die aus geschmolzenem Quarz hergestellt werden. Sonst wird Quarz als Zusatz zu feuerfesten

Tonen verwandt. Quarzhaltige Tiegel sind gegen Metalloxyde und Alkalien weniger widerstandsfähig als Schamotte- und Graphittiegel. Bekannt sind die quarzhaltigen Tiegel aus Großalmerode und überhaupt hessische Schmelztiegel, welche in der Edelmetallindustrie, ferner in chemischen Fabriken zum Schmelzen, Fritten und Destillieren Verwendung finden.

5. Kokerei.

Bei dem stetigen Bestreben, die Leistungsfähigkeit der Kohlendestillationsöfen nach Möglichkeit zu steigern, so daß in der Zeiteinheit der Durchsatz an Kohle in dem Ofen möglichst groß wird, macht sich die Anwendung hoher Temperaturen in den Heizzügen der Öfen notwendig. Die Steine in den Kammern müssen deshalb eine sehr hohe Schmelzbarkeit aufweisen. Die Steine, besonders diejenigen der unteren Partien sind einem gewissen Druck der darüberliegenden Ofenpartien ausgesetzt; dieser Druck beträgt zuweilen bis zu 3 kg pro qcm. Da die Druckwirkung bei hohen Temperaturen von großer Bedeutung ist, müssen die Steine eine Widerstandsfähigkeit gegen Erweichung unter Belastung bei hohen Temperaturen aufweisen. Die Steine dürfen im Feuer nicht wachsen, weil sonst die Kammerwände krumm werden können, so daß die Entleerung der Kammern auf Schwierigkeiten stoßen wird; auch dürfen die Steine nicht schwinden, weil dann in den Fugen Zwischenräume entstehen, durch welche das hochwertige Destillationsgas mit darin enthaltenen Nebenprodukten durch die Heizwände zum Schornstein entweichen wird und unter Umständen durch Verbrennung des Destillationsgases in den Heizkanälen die letzteren beschädigen kann. Deshalb ist die Raumbeständigkeit der Steine eine der wichtigsten Bedingungen für die Güte des Mauerwerks der Kohlendestillationsräume. Die Steine müssen aber nicht nur volumenbeständig sein, also im Feuer keine Maßreduktionen zeigen, sondern auch gute mit den Steinzeichnungen übereinstimmende Maßhaltigkeit aufweisen, weil man sonst gezwungen wird, zuweilen zu breite Fugen zu verwenden, wodurch ebenfalls die Dichtigkeit des Wandmauerwerks leiden kann. Das Einhalten der Maße ist noch aus dem Grunde wichtig, weil das kostspielige, zeitraubende und die Lebensdauer der Steine arg beeinträchtigende Behauen derselben vermieden wird. Die Toleranz für Einhalten der Maße, die gewöhnlich ± 2 Proz. beträgt, muß bei größeren Steinen geringere Werte aufweisen. Auch der vorübergehende Ausdehnungskoeffizient, der mit den bleibenden Volumenänderungen nicht zu verwechseln ist, soll nicht zu hoch sein, damit die Verankerung nicht zu hoch beansprucht wird. Da die Kohle bzw. die der letzteren anhaftende Feuchtigkeit Alkali- und Erdalkalisalze mitführt, müssen die Steine widerstandsfähig gegen Salzanfressungen sein. Auch gegen Einwirkung von Schlacken müssen die Steine Widerstand leisten, weil, besonders am Ende der Destillation, in den Destillationskammern Unterdruck entsteht, wodurch Luft eindringt und Verbrennung des Koks unter Zurücklassung von Asche bewerkstelligt. Die für die Beheizung der Ofenwände angewandte Wärme muß dem Ofen

möglichst vollständig und schnell zugute kommen, so daß man Steine mit nur gutem Wärmefluß bzw. guter Wärmeleitfähigkeit verwenden kann. Das Destillationsgut gelangt in die Kammer häufig mit einem hohen Wassergehalt, der in Kokereien (bei gewaschenen Kohlen) 13 Proz. und mehr erreicht. Deshalb müssen die Steine widerstandsfähig gegen plötzliche Abschreckung sein. Überhaupt müssen die Steine widerstandsfähig gegen Temperaturwechsel sein, welcher durch das wiederholte Füllen und Entleeren der Kammern, sowie bei gelegentlicher Außerbetriebsetzung der letzteren eintritt. Die Steine dürfen nicht porös sein, weil sie dann aufnahmefähig für Kohlenstoffablagerungen sind, welche die Struktur des Steines lockern. Da poröse Steine eine geringere Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe, schlechtere Wärmeleitfähigkeit und geringere Festigkeit aufweisen, dagegen jedoch den Temperaturwechsel besser vertragen, muß man der Dichte der Steine ein besonderes Interesse zuwenden. Daß schließlich eine gute mechanische Festigkeit (Reiben des Kokskuchens an den Kammerwänden beim Verlassen der Kammern) verlangt wird, ist ja selbstverständlich. Zusammenfassend kann man sagen, daß ein guter Stein für Kohlendestillationskammern folgende Eigenschaften aufzuweisen hat:

1. Schwerschmelzbarkeit,
2. Standfestigkeit unter Belastung bei hohen Temperaturen,
3. Volumenbeständigkeit in hohen Hitzegraden, sowie Maßhaltigkeit,
4. Geringe thermische Ausdehnung,
5. Widerstand gegen Salzfraz und Schlackenansatz,
6. Wärmeleitfähigkeit,
7. Widerstandsfähigkeit gegen schroffen Temperaturwechsel,
8. Geringe Porosität bzw. hohe Dichte,
9. Mechanische Festigkeit.

Die gestellten Anforderungen stellen das Höchstmaß des zu Verlangenden dar; zuweilen ist es nicht nötig, daß allen Anforderungen entsprochen wird. In vielen Fällen ist es auch nicht möglich, die sämtlichen Bedingungen gleichzeitig zu erfüllen¹. Die Lösung solcher Aufgaben wird dem Keramiker dadurch erschwert, daß eine Maßnahme, die zur Erfüllung einer der Eigenschaften getroffen werden muß, eine andere Eigenschaft nachteilig beeinflusst. Z. B. ein mit geeignetem Korn gemagerter poröser Stein verträgt gut Temperaturwechsel, zeigt jedoch eine schlechtere Wärmeleitfähigkeit und eine größere Empfindlichkeit gegen Angriffe chemischer Agenzien. Der die negativen Eigenschaften des porösen Steines ausgleichende dichte Stein erscheint dagegen infolge seiner Sprödigkeit weniger geeignet beim schroffen Temperaturwechsel; ein hochbasischer Stein zeichnet sich durch Schwerschmelzbarkeit aus, zeigt jedoch dagegen gleichzeitig unangenehme Schwindungserscheinungen; gegen Salzangriffe unempfindliche Quarzsteine sind nicht immer volumenbeständig; der raumbeständige halbsaure Stein unterliegt

¹ Übrigens gelten diese beiden Sätze nicht allein für die Industrie der Koksofensteine, sondern auch für viele andere Industrien.

dagegen viel leichter den Angriffen der Alkalisalze usw. usw. Man wählt deshalb ein Steinmaterial, das den meisten und wichtigsten verlangten Eigenschaften gebührend Rechnung trägt. Es ist deshalb die Sache des Fabrikanten der feuerfesten Erzeugnisse, durch geeignete Wahl der Rohstoffe, ihre Vorbereitung, bezüglich der Korngröße, Magerungsversätze usw., ferner durch die Art, Höhe und Dauer des Brandes usw. einen Stein zu schaffen, der sich den Eigentümlichkeiten des Kohlendestillationsbetriebes am besten anpaßt, wobei jedoch der Einfluß der Bauart des Ofens, der zur Verwendung gelangenden Kohlen usw. berücksichtigt werden muß.

Ich will nun zu der Besprechung der einzelnen obigen Eigenschaften übergehen.

1. Schwerschmelzbarkeit. Gute Schamottesteine weisen ziemlich den gleichen Schmelzpunkt auf, wie auch Quarzsteine. Sie „stehen“ im Feuer bei Segerkegel 32 bis 35, können also Temperaturen von 1700°C und darüber vertragen. Die Schwerschmelzbarkeit ist aber identisch mit dem Kegelschmelzpunkt. Da jedoch die feuerfesten Steine im praktischen Betriebe der Kohlendestillationsöfen in gänzlich anderer Weise beansprucht werden, als die Prüfung des Kegelschmelzpunktes vorgenommen wird, ist diese Eigenschaft der Steine hier eigentlich ohne Belang.

Als Maßstab für die Feuerfestigkeit der verschiedenen Sorten läßt sich ein bestimmter Segerkegel nicht angeben, denn die Erfahrung hat gezeigt, daß zuweilen Steine mit niederem Segerkegel sich infolge anderer Eigenschaften, sich für Koksöfen bedeutend besser bewährt haben als solche mit hohem Segerkegel.

Im allgemeinen liegt der Schmelzpunkt der Koksöfensteine, welche in Deutschland fabriziert werden, zwischen Segerkegel 27 und Segerkegel 34 entsprechend 1610° und 1750°C . Bei einfacheren Betrieben, die z. B. eine leichtbackende Kohle zur Verfügung haben, mag ein niedrigerer Schmelzpunkt genügen. Für schwierigere und forcierte Betriebsverhältnisse ist jedoch ein hoher Schmelzpunkt des Steinmaterials unerlässlich. Die Erfahrung hat gelehrt, daß in den seltensten Fällen eine Zerstörung der Struktur der Steine durch hohe Temperaturen allein erfolgt, daß vielmehr meist andere Faktoren gleichzeitig dabei mitwirken. Zweifellos wird dann ein Stein mit einem höheren Schmelzpunkt bei sonst gleichen Eigenschaften der Hitze usw. länger und besser widerstehen, als ein solcher mit niedrigerem. Beim Eintreten von Undichtigkeiten wird überhaupt die Feuerfestigkeit des Steines in Frage gestellt. Es bedarf keiner Auseinandersetzung, daß bei einem derartigen Betriebsvorkommnis unter Umständen selbst der höchste Grad der Feuerfestigkeit, welcher sich mit den zur Verfügung stehenden Rohmaterialien überhaupt erreichen läßt, nicht standhalten wird. Wenn auch die höchste Feuerfestigkeit dagegen keinen unbedingten Schutz bietet, so liegt immerhin in der Verwendung eines Fabrikates von höherem Schmelzpunkt eine gewisse Sicherheit. Im übrigen bieten Stichproben des Kegelschmelzpunktes eine Kontrolle für die Gleichmäßigkeit der Steinlieferung.

2. Von dem Kegelschmelzpunkt ist scharf die Erweichungstemperatur zu unterscheiden, weil diese besonders bei Schamottesteinen stets

unter dem Kegelschmelzpunkt liegt. Die Kammerwandsteine der Kohlendestillationsöfen sind normalerweise einer Belastung von 2,5 bis 3 kg/qcm ausgesetzt. Bei meinen Untersuchungen im Spezialprüföfen hatte ein Silikastein bei 1600° C keinerlei Erweichungserscheinungen bei einer Belastung von 3 kg/qcm gezeigt, während Schamottesteine, unter den gleichen Bedingungen geprüft, schon bei 1250 bis 1300° C zu deformieren begannen und bei 1400° C auf rund ein Drittel des Ursprungsmaßes zusammenschumpften. Es sei hier nochmals betont, daß aus der Druckfestigkeit bei gewöhnlichen Temperaturen nicht auf die Widerstandsfähigkeit gegen Belastung bei hohen Temperaturen geschlossen werden kann. Der Umstand, daß der Erweichungspunkt beim Quarzmaterial höher liegt, gibt also bei Silikawänden die Möglichkeit, ohne Gefahr für die Sicherheit der Kammerwände, die Temperaturen in den Heizzügen zu steigern und so die Gärungsdauer entsprechend herabzusetzen.

3. Eine Ausdehnung der Baustoffe würde ein Heben des Mauerwerks des Kohlendestillationsofens zur Folge haben, Feuer- und Abzugskanäle würden sich verengen und auch eine Beschädigung der auf dem Ofen befindlichen Armaturen wäre unvermeidlich. Das wichtigste Merkmal der Bausteine für Kohlendestillationsöfen ist daher die Volumenbeständigkeit. Steine, die an den Wandungen des Feuerraums auch nur wenig schwinden, haben undichte Fugen zur Folge, und die dadurch erzeugten Stichflammen haben falschen Ofengang zur Folge, und in solchen Fällen schreitet die Zerstörung des Mauerwerks in der Regel schnell fort.

Die Volumbeständigkeit der Steine in hohen Hitzegraden ist eine der Hauptbedingungen für eine gute dauerhafte Kammer des Kohlendestillationsofens. Quarzsteine treiben im Feuer, und zwar die kalkgebundenen etwas mehr als tongebundene; jedoch spielt hier eine Rolle der verwandte Rohstoff. Ein Silikastein mit einem spezifischen Gewicht von 2,35 soll eine praktisch ausreichende Volumenbeständigkeit haben. Schamottesteine zeigen dagegen im Feuer häufig die bekannten Schwindungserscheinungen, so daß Maßreduktionen unausbleiblich sind. In dieser Hinsicht scheinen die halbsauren Steine, deren Verwendung *Hartmann*¹ in seiner sehr lesenswerten Arbeit befürwortet, dem Verlangen nach Raumbeständigkeit am meisten zu entsprechen. Eine weitere Möglichkeit, das entgegengesetzte Verhalten der beiden Gruppen feuerfester Steine — Quarz- und Schamottestein — auszugleichen, besteht darin, daß dieselben bei Ofenbauten umschichtig eingebaut werden. *Straßmann*² behauptet, dadurch gute Erfolge erzielt zu haben. Allerdings muß hier auf die auf S. 133 beschriebene Erscheinung hingewiesen werden, falls salzhaltige Kohlen für die Destillation verwendet werden. Aber sowohl die halbsauren, als auch die basischen Steine sind gegen die sehr wichtigen Einwirkungen der in der Kohle enthaltenen Salze der Alkalien nicht in dem Maße widerstandsfähig wie die Quarzsteine.

¹ *Hartmann*, Über Koksofensteine. Druck von Gebr. Böhm, Kattowitz, Ob.-Schl.

² *Straßmann*, Die Industrie feuerfester Steine und ihre Aufgabe für Gaswerke und Kokereien. Verl. d. Deutsch. Keram. Gesellsch. Bonn 1921. S. 34.

4. Die Kenntnis der Ausdehnungsverhältnisse des feuerfesten Mauerwerkes in der Hitze spielt eine große Rolle, besonders bei In- und Außerbetriebsetzung der Kohlendestillationsöfen. Wir müssen hierbei, wie bereits auf S. 42 angeführt, zwischen zwei ganz verschiedenen Vorgängen unterscheiden: vorübergehende (temporäre) und bleibende (permanente) Raumänderungen. Da beide Vorgänge nebeneinander verlaufen, ist es zweckmäßig, mit der Gesamtausdehnung zu rechnen. Nach den bisherigen Kenntnissen ist der Ausdehnungskoeffizient bei den einzelnen Schamotteerzeugnissen nicht sehr verschieden. Bei Quarzsteinen ist er etwas größer (vgl. weiter unten S. 135). Im allgemeinen gilt hier der Grundsatz: „Der aus Quarzsteinen erbaute Kohlendestillationsofen muß viel langsamer und vorsichtiger angeheizt und abgekühlt werden, wie der aus Schamotte.“ Besonders wichtig ist das langsame Durchlaufen der Temperaturen von ca. 600° C.

5. Die Frage der Salzanfressungen ist für die Kohlendestillationsbetriebe derartig wichtig, daß wir bei der Betrachtung derselben etwas länger verweilen müssen.

Die in der Kohle und im ausgelaugten Zustand im sog. „Kohlenwaschwasser“ befindlichen Salze bestehen hauptsächlich aus Chloriden, Sulfaten und Carbonaten der Alkalien und Erdalkalien. Bei den in dem Destillationsraum des Ofens herrschenden Temperaturen (etwa 900° C) erfahren diese Salze (in Gegenwart von Wasserdampf) eine mit steigender Temperatur zunehmende Spaltung in Säure und Hydroxyd. Das Chlorid wird im Ofen erst verdampft, dann zersetzt; bei Gegenwart von Wasserdampf sind die Ergebnisse Säure und wahrscheinlich Hydroxyd. Das Natriumsulfat wird nicht verdampft, sondern wohl erst zu Sulfit reduziert und dann durch den glühenden Kohlenstoff in Carbonat verwandelt, das auf die Steine gerade so wie das Hydroxyd wirkt (*Graham*, Journ. of Gasl. 1919, Bd. 198, Nr. 944, S. 75). Die Säuren gehen an das im Destillationsgase enthaltene Ammoniak und finden sich als gebundenes Ammoniak im Gaswasser wieder, während die dampfförmig werdenden Hydroxyde mit dem Tonerdesilikat des feuerfesten Steines leichter schmelzende Verbindungen von Tonerdealkalisilikat eingehen; diese Verbindung überzieht zunächst die Außenschicht des Steines mit einer hellgesinterten, feinen, teilweise glasurartigen, gegen Temperaturänderungen weniger widerstandsfähigen Schicht, welche bei Temperaturwechsel (Füllen und Entleeren der Kammern) an der Oberfläche infolge der verschiedenartigen Ausdehnung der Glasur- und der noch gesunden Steinschicht Risse und Sprünge erhält. Durch diese Sprünge dringen die Salze weiter ein und bilden, wenn die Temperatur hoch genug ist, stärker gesinterte Schichten, die dann von einer Anzahl Querrissen durchsetzt werden, welche das Gefüge dieser Masse lockern, so daß dieselbe abblättert und ausbröckelt und mit der Zeit das charakteristische schwammige Gebilde der Fig. 20 zeigt.

Man hat in der zerstörten Zone des Schamottesteines (35 Proz. Tonerdegehalt) einen K_2O -Gehalt von 4,63 Proz. festgestellt, während der gesunde Teil desselben Steines nur 1,22 Proz. K_2O aufwies.

Die Entstehung des alkalihaltigen Überzuges an den Kammersteinen ist identisch mit der Bildung der Salzglasur, wie dieselbe künstlich an Tonröhren (Steinzeug) mittels Kochsalz in der wasserdampfhaltigen Atmosphäre der keramischen Brennöfen erzeugt wird. Der Unterschied besteht nur darin,

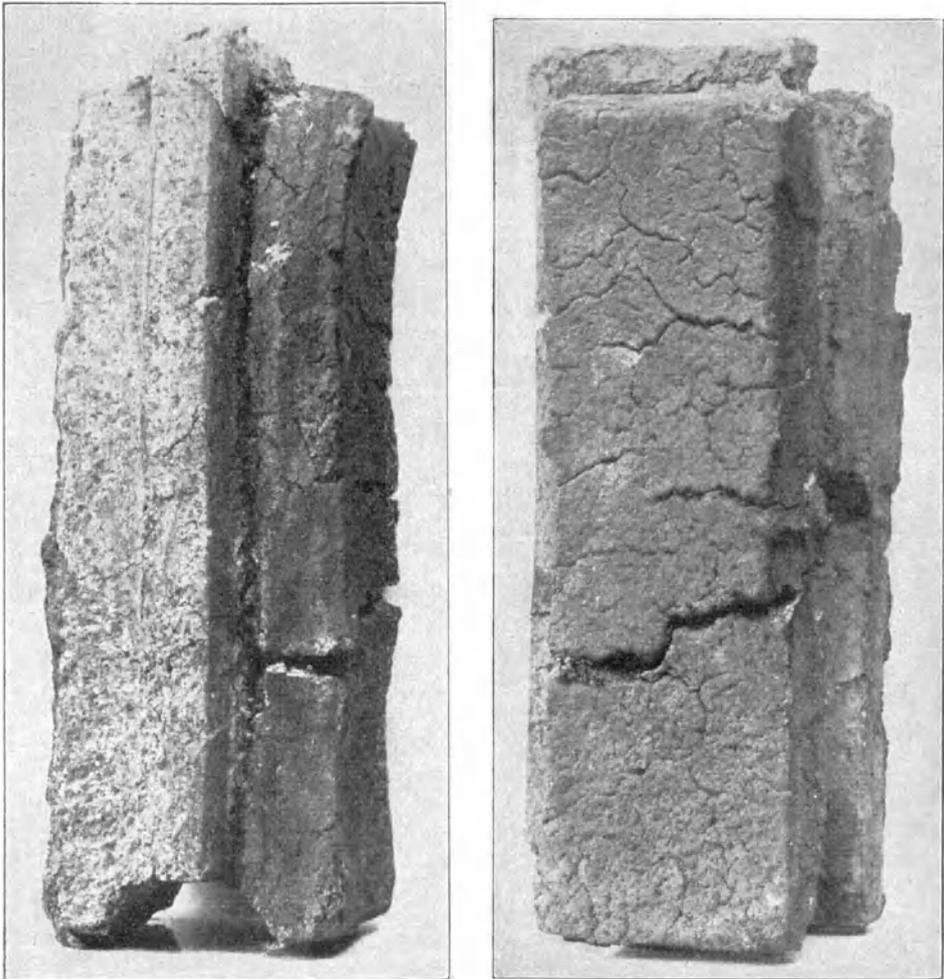


Fig. 20. Wirkung der Salze des Kohlenwaschwassers auf Koksofensteine.

daß das Salz in die keramischen Öfen erst dann eingeführt wird, wenn der Scherben der zu glasierenden Ware gesintert und die Temperatur auf 1200°C gestiegen ist. Das Salz verbindet sich sofort mit der Tonoberfläche und bildet eine Schutzglasur, die den Scherben vor jeder weiteren zerstörenden Einwirkung der Salzdämpfe schützt, um so mehr, als Temperaturunterschiede im Gegensatz zum Koksofen- oder Gasofenbetrieb hier nicht eintreten.

Der Grad der Zerstörung der Steine ist, abgesehen von der Ofenbauart, der Beheizung und der Qualität der feuerfesten Stoffe, von der Menge der Salze abhängig, die mit der Kohle bzw. mit dem Kohlenwaschwasser in die Ofenkammern eingeführt werden. *Schreiber* hat festgestellt, daß Koksofenwände durch Salze derart beschädigt waren, daß sie schon nach 3 Jahren erneuert werden mußten, wenn das Waschwasser nur ca. 1,5 g Natronsalze im Liter enthielt, während in einem anderen Falle, wo ein Liter Waschwasser nur 0,3 g schädliche Natronsalze enthielt, die Wände der Ofenkammern auch nach 5jährigem (heißem) Ofengange keine erheblichen Zerstörungen zeigten. Je weniger Salze das Kohlenwaschwasser aufweist, um so weniger werden auch diese von dem Kammerwandsteinen aufgenommen, so zeigte z. B. bei einem Kohlenwaschwasser mit 0,3 g Natronsalzen im Liter die angefressene Steinschicht nur 2,8 Proz. Alkalien (gegenüber 1,13 Proz. im gesunden Stein), während der gleiche Stein eine Anreicherung an Alkali bis 4,50 Proz. aufwies, wenn das Kohlenwaschwasser 1,8 g Natronsalze im Liter enthielt.

Der Gehalt des Kohlentropfwassers an Salzen schwankt im Ruhrrevier und in Oberschlesien etwa zwischen 1 bis 5 g pro Liter Wasser und darüber. Dagegen zeichnet sich das Kohlentropfwasser der sächsischen (Zwickau) Kohlen durch einen außerordentlich hohen Salzgehalt aus. Hier erreichte der NaCl-Gehalt des Kohlentropfwassers (70 Proz. des Gesamtsalzgehaltes) sogar 40 g pro Liter, also das 10 bis 30fache gegenüber den westfälischen Kohlen. Über die bei der ersten sächsischen Kokerei durch den außerordentlich hohen Salzgehalt des Tropfwassers entstandenen Schwierigkeiten berichtet *Kubach*¹.

Die Industrie feuerfester Steine hat sich allmählich an die in den Kokereien üblichen Salzgehalte des Kohlenwaschwassers gewöhnt und es gelang einer ganzen Reihe von Fabriken, die ich hier aus begrifflichen Gründen nicht nennen kann, solche gut bewährte salzsichere Fabrikate zu erzeugen.

Die chemische Zusammensetzung der Kohlenwaschwässer auf verschiedenen Zechen ist aus der folgenden Tabelle ersichtlich:

Tabelle 38.
Zusammensetzung verschiedener Kohlenwaschwässer.

	Königin Elisabeth	Rhein- Preußen	De Wendel	West- falen	Nordstern	England ²	Schles. Zechen
NaCl	21,63	33,3	62,6	58,58	78,13	60,87	7,3
Na ₂ SO ₄	37,06	30,0	—	—	—	24,67	47,2
CaSO ₄	31,73	21,4	23,7	26,35	1,43	2,58	10,7
MgSO ₄	4,69	9,3	9,2	0,55	0,84	4,73	18,9
MgCl ₂	—	—	—	4,13	4,11	4,12	—
Ca(HCO ₃) ₂	—	—	—	10,40	14,08	2,82	15,9

In der obigen Tabelle ist der prozentuale Gehalt der einzelnen Salze im Kohlenwaschwasser angegeben. Durch die chemische Analyse als solche

¹ *Kubach*, Brennstoffchemie 1921, S. 290.

² Gas-Journal (London) Bd. 146 (1919), 10. Juni, S. 700. (*Rees*.)

werden jedoch nur die Metalloxyde und die Säurereste ermittelt, die dann entsprechend auf einzelne Salze umgerechnet werden. Ich habe bei den von mir durchgeführten Analysen der Kohlenwaschwässer die folgende Berechnungsart verwandt.

Ist Na_2O im Überschusse hinsichtlich Cl vorhanden, so wird Cl an Na_2O gebunden. Log Faktor $\frac{\text{Na}}{\text{Cl}} = 81301$ ergibt die Menge Na, die mit Cl zu NaCl zusammentritt. Die verbrauchte Menge Na wird auf Na_2O umgerechnet; log Faktor $\frac{\text{Na}_2\text{O}}{\text{Na}} = 12939$; die so erhaltene Menge Na_2O wird von der analytisch gefundenen Gesamtmenge Na_2O abgezogen.

Der Rest Na_2O wird an SO_3 gebunden, log Faktor $\frac{\text{Na}_2\text{SO}_4}{\text{Na}_2\text{O}} = 35969$; der übrigbleibende SO_3 -Rest wird weiter an MgO (log Faktor $\frac{\text{MgSO}_4}{\text{SO}_3} = 23073$) gebunden.

Ist dann noch SO_3 vorhanden, so muß diese an Fe_2O_3 und Al_2O_3 zu $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ und $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ umgerechnet werden, doch interessieren bei Kohlenwaschwasseranalysen hauptsächlich die sog. fixen Alkalien, das sind die Na_2O , SO_3 , MgO, CaO-Salze.

Ist jedoch Cl im Überschusse hinsichtlich Na_2O vorhanden, so wird die gefundene Menge Na_2O auf NaCl berechnet: log Faktor $\frac{\text{NaCl}}{\text{Na}_2\text{O}} = 27510$. Die hierin enthaltene Menge Cl ist: log Faktor $\frac{\text{Cl}}{\text{NaCl}} = 78250$.

Diese Menge Cl wird von der vorhandenen abgezogen, der Cl-Rest wird an MgO gebunden zu MgCl_2 ; bleibt dann noch Cl übrig, so bindet man Cl an CaO zu CaCl_2 , meistens geht aber Cl beim MgO auf, so daß etwas MgO überbleibt. Dieser MgO-Rest wird an SO_3 gebunden, der SO_3 -Rest an CaO — log Faktor $\frac{\text{CaSO}_4}{\text{CaO}} = 38526$.

Die Reihenfolge der Bindungen ist die folgende: Es werden erst Cl und SO_3 an Na_2O , dann je nach den Mengen die da sind an MgO und CaO gebunden. Überschüssiger CaO wird an CO_2 zu CaCO_3 — CO_2 gebunden.

Die Anwendung dieser Berechnungsart ist an dem folgenden Beispiel gezeigt:

Beispiel.

In einem Liter des Kohlenwaschwässers sind enthalten 8,310 g Gesamtsalze, die wie folgt durch Analyse festgestellt worden sind:

Cl	= 4,172 g/l
SO_3	= 0,455 g/l
CaO	= 0,454 g/l
MgO	= 0,340 g/l = 0,204 Mg
Na_2O	= 3,486 g/l = 2,575 Na.

Das entspricht:

NaCl	= 6,493 g = 78,13 Proz.	} 82,24 Proz.
MgCl ₂	= 0,342 g = 4,11 „	
MgSO ₄	= 0,070 g = 0,84 „	} 18,35 Proz.
CaSO ₄	= 0,119 g = 1,43 „	
Ca(HCO ₃) ₂	= 1,170 g = 14,08 „	
	8,194 g	98,08 Proz.

Der Rest ist Organisches.

Bezüglich der Alkalienbestimmung im Kohlenwaschwasser sei noch erwähnt, daß man bei der Prüfung auf Natrium sich vielfach auf die Titration mit Silbernitrat beschränkt, indem man den Chlorgehalt des Waschwassers bestimmt und daraus den Gehalt an Natrium berechnet. Dieses gibt natürlich kein richtiges Bild, wenn z. B. das Natrium, wie es aus der obigen Tabelle ersichtlich ist, auch noch an eine andere Säure, wie Schwefelsäure, gebunden ist. Um ein richtiges Bild über die wirklichen Mengen der im Kohlenwaschwasser vorhandenen löslichen Salze zu erhalten, wird man diese zweckmäßig durch Eindampfen und entsprechende weitere Untersuchung feststellen müssen. Eine solche Bestimmung ist schon aus dem Grunde notwendig, weil nicht das Kochsalz allein, sondern auch die anderen Bestandteile des Kohlenwaschwassers ihren schädlichen Einfluß auf die Wände der Destillationsräume ausüben. Es sind Fälle bekannt, wo das Kammersteinmaterial einer Kohlenfeuchtigkeit mit einem prozentual ziemlich hohen Kochsalzgehalt verhältnismäßig gut Widerstand geleistet hat, während in anderen Fällen, wo der Kochsalzgehalt niedrig war, dagegen die Gesamtsalzmenge hoch, die Wände nicht gehalten haben.

Es ist noch folgendes zu berücksichtigen: In dem Waschwasser findet sich nur ein Teil der löslichen Salze, während ein anderer Teil in der Kohlensubstanz verbleibt. So habe ich in 1 kg Förderkohle (ungewaschen) 3,12 g lösliche Salze = 0,312 Proz. gefunden, während in derselben gewaschenen Kohle 1,72 g = 0,172 Proz. (berechnet auf trockene Kohle) enthalten waren. Durch den Waschprozeß waren der Kohle 44,9 Proz. des Salzgehaltes entnommen, so daß noch über die Hälfte der ursprünglichen Salzmenge in der Kohle zurückgeblieben ist. Der Salzgehalt der Kohle selbst ist sehr verschieden. *Schreiber* hat in ungewaschenen Gruskohlen verschiedener Herkunft durch Auslaugung der durch ein 5 mm-Sieb geriebenen Substanz mit heißem destillierten Wasser 0,3 bis 1,1 g NaCl + Na₂SO₄ pro Kilogramm Kohle feststellen können. Somit gelangen die Salze nicht allein im ausgelaugten Zustand mit der anhaftenden Feuchtigkeit der Kohle in die Kammern, sondern auch mit dem in der Kohle vorhandenen natürlichen Gehalt an Salzen, so daß auch bei Anlagen, die ihre Kohlen im trockenen Zustande verwenden, wie bei Kammeröfen der Gasanstalten, Salzanfressungen unter Umständen eintreten können¹. Die Beschaffenheit

¹ Vgl. hierzu: *Zink* (Journal f. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung 1912, Heft 48, S. 1165); ferner Wasser u. Gas 1911, Heft 12, S. 325 bis 327.

des zum Waschen der Kohle verwendeten Grubenwassers, welches häufig eine bedeutende Salzmenge enthält, ist ebenfalls zu berücksichtigen. In einer englischen Kohlenzeche enthielt das Grubenwasser 1,469, das Waschwasser 2,780 und das Tropfwasser 3,290 g festen Rückstand im Liter. Die Salzanfressungen werden durch die Temperatur begünstigt und nehmen, wie bereits oben ausgeführt, mit steigender Temperatur zu. Zur Bildung der wenig widerstandsfähigen Alkalisilikate ist eine Temperatur erforderlich, die mindestens bei 1150° C liegt.

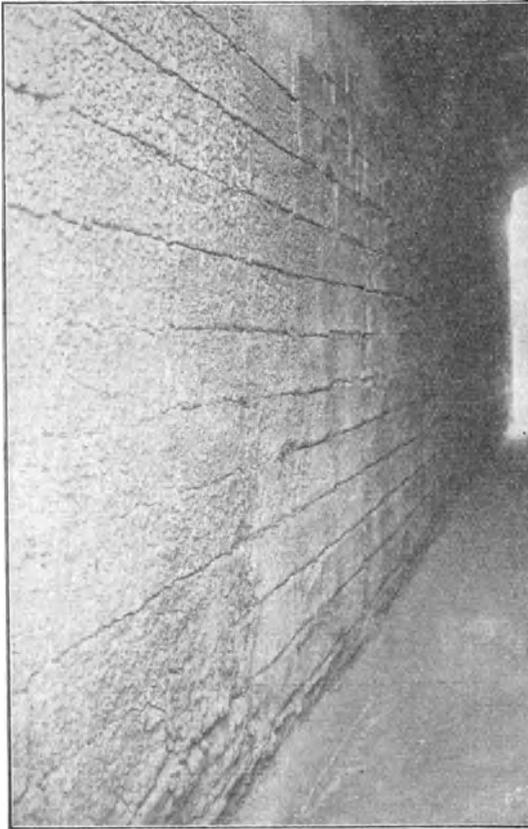


Fig. 21. Zerstörungen durch Salzangriffe an einer Kammerwand nach 5jährigem Betriebe.

bleibt man unter dieser Temperatur, so kann bei Gegenwart von Salzen die Zerstörung der aus basischem Material hergestellten Kammer verringert und die Lebensdauer der Kammern erhöht werden.

Die Erkenntnis, daß nicht allein der Kochsalzgehalt für die Beurteilung der Korrosionsschäden an Kammerwänden maßgebend ist, ist noch nicht tief genug in die Fachkreise eingedrungen. So hat z. B. *Schwenke*¹ in seiner sehr beachtenswerten Veröffentlichung bei der Untersuchung des Kohlenwaschwassers leider ebenfalls nur den Kochsalzgehalt berücksichtigt. Die Untersuchungen verlieren jedoch trotzdem nicht an Wert, weil in diesem Spezialfalle (Zeche de Wendel) den weitaus überwiegenden Bestandteil des Kohlenwaschwassers tatsächlich das Kochsalz bildete.

Es galt früher in den Kokereikreisen eine alte (aus obigem Grunde, heute jedoch nicht mehr gültige) praktische Regel, wonach der Frischwasserzusatz in der Kohlenwäsche so geregelt werden sollte, daß der Kochsalzgehalt im Kohlenwaschwasser 1 g pro Liter nicht übersteigen durfte. Diese Maßnahme ist jedoch bei einer Reihe von Zechen, besonders bei denen des nordöstlichen rheinisch-westfälischen Bezirkes, sowie des sächsischen Revieres nicht durch-

¹ *Schwenke*, Ein Beitrag zur Frage der Salzanfressungen an Koksofenwänden. Glückauf 1917, Heft 42.

zuführen, weil diese bekanntlich mit einem hohen Salzgehalt der Kohlen und des Nebengesteines zu rechnen haben. Auf einer dieser Anlagen¹ war es trotz reichlichen Wasserzusatz nicht möglich, den NaCl-Gehalt des Kohlenwassers wesentlich niedriger als auf 5 g pro Liter, gemessen am Abtropfwasser des Entwässerungsbrandes, zu halten. Da der Wassergehalt der Koks- kohle im Mittel 13 Proz. beträgt, gelangen bei jeder Beschickung von 10 t $10\,000 \times 0,13 \times 0,005 = 6,5$ kg Kochsalz in den Ofen, d. h. es werden, da die Garungszeit der Öfen $33\frac{1}{2}$ Stunden beträgt, jährlich rund 1700 kg Chloride mit durchgesetzt. Kammerwandzerstörungen waren natürlich unausbleiblich.

Die Fig. 21 zeigt das Aussehen einer solchen Kammer nach längerem Betrieb. Sehr häufig treten jedoch schon nach kürzerer Betriebsdauer (vgl. Fig. 22 und 23) Zerstörungen, zuweilen auch in stärkerem Maße ein. Wenn aber in dem geschilderten Falle es gelungen war, eine befriedigende Lebensdauer der Wände zu erzielen, so war es nur durch Verwendung eines geeigneten dichten, gut durchgebrannten, volumenbeständigen feuerfesten Steines, ferner durch Auswahl einer Ofenbauart, die eine genaue Einstellung



Fig. 22. Zerstörungen durch Salze an einer Koksofenkammerwand aus Schamotte material nach 3jähriger Betriebsdauer.

der Beheizung der einzelnen Züge zwecks Vermeidung örtlicher Überhitzungen gestattet, sowie durch sorgsame Regelung der Heizbetriebe möglich. Die Anfressungen waren bei den ältesten Öfen vielfach bis in eine Tiefe von 3 cm des Steines eingedrungen und traten naturgemäß am stärksten in den untersten Schichten auf, wo dicht über den Gasdüsen die höchste Temperatur herrscht. Je höher die Temperatur steigt, desto stärker muß der Angriff der

¹ Schwenke, Ein Beitrag zur Frage der Salzanfressungen an Koksofenwänden. Glückauf 1917, Heft 42.

Salze eingreifen. Man kann daher aus stärker angegriffenen Stellen stets auf das Vorhandensein örtlicher Überhitzungen schließen.

In den Fig. 22 und 23 ist ferner der Einfluß der Salze auf Kammern aus Schamotttematerial nach 3- bzw. 2jähriger Betriebsdauer gezeigt.

Die analytische Zusammensetzung der hierfür verwandten Steine war die folgende:

Al_2O_3	=	16,51	Proz.
Fe_2O_3	=	1,41	„
CaO	=	0,30	„
MgO	=	0,37	„
K_2O	=	1,34	„
SiO_2	=	80,07	„

Das Kohlenwaschwasser enthielt insgesamt 5,8 g Salze im Liter. Die Salze bestanden in der Hauptsache aus:

NaCl	=	62,6	Proz.
CaSO_4	=	23,7	„
MgSO_4	=	9,2	„

Auf einer Kokerei war beobachtet worden, daß die unmittelbar am Kokslöschplatz gelegenen Wandsteine und Sohlsteine viel schneller zerstört wurden und häufiger ersetzt werden mußten als die in der Mitte des Ofens und auf der Maschinenseite vermauerten Wandsteine. Die Untersuchung der zerstörten und der unbeschädigten Steine ergab keinen Unterschied in bezug auf Zusammensetzung der Steine. In der zerstörten Schicht des Steines ließ sich jedoch ein wesentlich

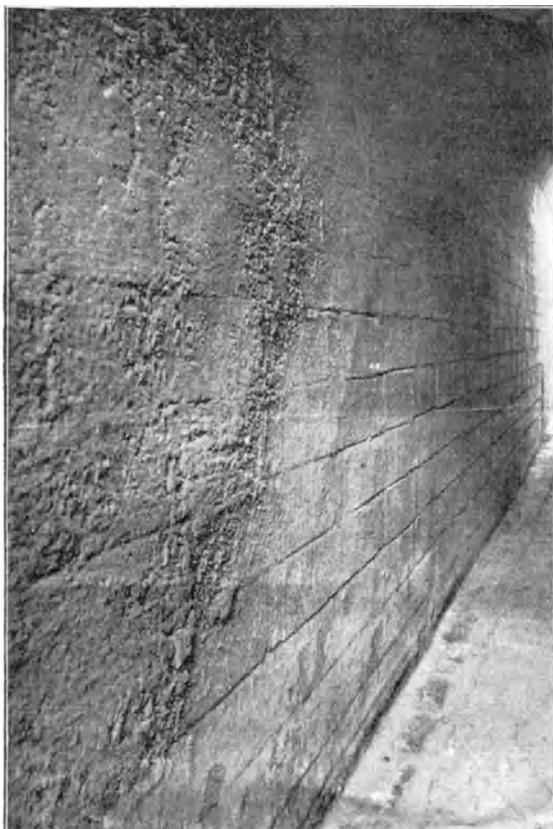


Fig. 23. Zerstörungen durch Salze an einer Koksofenkammerwand aus Schamotttematerial nach 2jähriger Betriebsdauer.

höherer Gehalt von Alkalien feststellen als in den unzerstörten Steinen. Das schnelle Abschmelzen war also durch den Alkaliengehalt verursacht. Da die Alkalien nur von außen in den Ofen gelangt sein konnten und das vor der Verkokung zum Waschen der Kohle benutzte Wasser einwandfrei war, stand man zunächst vor einem Rätsel. Erst bei genauer Beobachtung stellte sich heraus, daß das zum Löschen des Koks benutzte Löschwasser stark salzhaltig war und daß die dem Löschplatz zunächst gelegenen Steine durch unvorsichtiges Löschen in beträchtlicher Menge bespritzt wurden.

Die in die Steine eingedrungenen Alkalien hatten das unvermeidliche Abschmelzen zur Folge. Als später beim Ablöschen des Koks die notwendigste Sorgfalt gewahrt wurde und kein Löschwasser auf die Ofensteine mehr gebracht wurde und schließlich salzfreies Löschwasser benutzt wurde, war der Zerstörung einzelner Flächen ein Ziel gesetzt.

Von den Salzangriffen sind die Schlackenansätze zu unterscheiden, welche auf die Verbrennung des ausgegasteten Koks zurückzuführen sind. Die Kammertüren bilden nämlich nicht immer einen genügend dichten Abschluß, besonders gegen Ende der Garung, wenn in der Kammer Unterdruck entsteht. Dann treten geringe Mengen Luft in die Kammer, die sich durch Verbrennung der Koksoberfläche (unter Zurücklassung von Koksasche) und dementsprechende Steigerung des Kohlendioxidgehaltes der Gase bemerkbar machen. Die sich dadurch an der Wandfläche bildenden Schlackenansätze, die mit dem Salzfraß nichts zu tun haben, lassen sich häufig durch einen Meißel entfernen.

*Koppers*¹, der sich mit der Lebensfrage der Koksofensteine eingehend beschäftigte, soll gefunden haben, daß die Asche der Kohle einen großen Einfluß auf die Einwirkungen der Salze ausüben kann. Ist die Asche basischer Natur, so kann sie die Basen der Salze nicht aufnehmen. Ist sie aber sauer, so daß also freie, bindungsfähige Kieselsäure vorhanden ist, so werden die Alkalien und Erdalkalien von der Kieselsäure aufgenommen und treten nicht in Erscheinung. *Koppers* will gegen die zerstörenden Einflüsse der Alkalien eine Abhilfe darin finden, daß man in irgendeiner Form der Kohle vor der Verkokung Kieselsäure in guter Mischung zusetzt oder geeignete Kohlsorten mischt. Hat z. B. die Asche einer Kohle folgende Zusammensetzung:

Al_2O_3	=	24,83	Proz.
Fe_2O_3	=	26,93	„
CaO	=	6,71	„
MgO	=	1,31	„
K_2O	=	4,80	„
SiO_2	=	35,42	„ ,

so würden die alkalischen Bestandteile 43,31 Proz. Kieselsäure zur Bindung brauchen. Die hierbei zur Berechnung gezogenen Silikate entsprechen den Verbindungen: $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{SiO}_2$; $2 \text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{SiO}_2$; $2 \text{CaO} + \text{SiO}_2$; $\text{MgO} + \text{SiO}_2$; $2 \text{K}_2\text{O} + \text{SiO}_2$. Es fehlen in diesem Falle somit zur völligen Bindung $43,31 - 35,42 = 7,89$ Proz. Kieselsäure, die auf Kohle mit 6 Proz. Asche bezogen einen Zusatz von 0,47 Proz. (mit einem entsprechenden Zuschlag als Sicherheitskoeffizient) Kieselsäure zur Kohle notwendig machen würden. Die praktische Durchführung der *Koppers*schen Anregung wird schon aus dem Grunde undurchführbar sein, weil dadurch der Aschegehalt des Koks erhöht wird, während das Bestreben der Kohlenzechen im Gegenteil doch in der Verminderung des Aschegehaltes der Kohle besteht, wofür in den meisten Anlagen sogar erhebliche Aufbereitungskosten aufgewendet werden.

¹ *Schreiber*, Über Zerstörung von Koks- und Gaskammerofensteinen sowie deren Ursachen. Verl. Baedeker, Essen 1913. S. 16.

6. Wärmeleitfähigkeit. Da bei den aus Silikamaterial erbauten Öfen im allgemeinen höhere Temperaturen angewandt werden, als bei Öfen aus Schamotte, wodurch es ermöglicht wird, in der Zeiteinheit eine verhältnismäßig größere Wärmemenge durch die Wandfläche hindurchzuleiten, so kann bei Silikaöfen die erhöhte Leitfähigkeit bei hohen Temperaturen ausgenutzt werden. Dabei ist natürlich zu beachten, daß die Wärmeleitfähigkeit verschiedener feuerfester Steine unter sich nicht unerhebliche Unterschiede aufweisen kann, weil die Wärmeleitfähigkeit, wie ja auch die sonstigen Eigenschaften der Steine auch noch von der Art des Rohmaterials und der Herstellungsweise der Steine abhängig ist. Ferner ist sehr wahrscheinlich, daß die längere Zeit in Betrieb gewesenen, fast gänzlich in Tridymit umgewandelten Steine die Wärme noch besser leiten, als die eben dem Brennofen entnommenen. Die bessere Wärmeleitfähigkeit des Silikasteines im Koksofen, wodurch ein schnelleres Fließen der Wärme und ein geringerer Temperaturabfall zwischen Heizwand und Ofenkammer stattfindet, ist übrigens durch praktische Beobachtungen von *Enzenauer*¹ bei den Rheinischen Stahlwerken bestätigt worden. Trotzdem hier die Temperaturen in den Heizzügen der Silika- und Schamottekoksofen nicht sehr bedeutend voneinander abweichen, wurde im Silikaofen eine Garungszeit von 24 Stunden (gegenüber 29 Stunden in dem aus Schamotte erbauten Ofen) erzielt, so daß man allen Grund zu der Annahme hat, daß der höhere Wärmeleitkoeffizient des Silikamaterials eine gewisse Rolle bei der Verkürzung der Garungszeit bei Silikaöfen mitspielt.

7. Bezüglich des Temperaturwechsels gilt zunächst das bei der Besprechung der thermischen Ausdehnung auf S. 44 Gesagte, wonach Silikasteine sich gegen diese Art der Beanspruchung als besonders empfindlich zeigen. Weniger empfindlich sind in dieser Hinsicht die Schamottmassen, und zwar halten sie um so mehr aus, je grobkörniger und je poröser die Masse ist. Außer dem Temperaturwechsel, der durch Füllen und Entleeren der Kammern, sowie durch das Eindringen des Löschdampfes in die Kammern entsteht, dem bei Gasanstalten das Einblasen von Wasserdampf in den Destillationsraum zwecks Erzeugung von Wassergas gleichkommt, muß speziell bei den Kokereien noch mit dem hohen Wassergehalt (13 Proz. und darüber) der Kokskohle gerechnet werden, die infolge hohen Aschegehaltes gewaschen werden muß. Wider Erwarten hat sich aber gezeigt, daß Silikamaterial sich auch gegen diesen hohen Wassergehalt sehr gut gehalten hat.

8. Ein dichtes Material ist widerstandsfähiger gegen Salzangriffe, hat eine bessere Wärmeleitfähigkeit und eine größere mechanische Festigkeit; poröses Material ist dagegen widerstandsfähiger gegen Temperaturwechsel. Bei quarzhaltigen Massen kann eine höhere Porosität dann von Vorteil sein, wenn das Material noch etwas wächst; dann tritt die Volumenzunahme äußerlich weniger in Erscheinung, weil ein Teil der Volumenzunahme durch die vorhandenen Poren aufgenommen werden kann. Eine weit weniger in Erscheinung tretende Ursache der Kammersteinzerstörungen, die mit dem

¹ Stahl u. Eisen 1920, Heft 40.

Porositätsgrad der Steine zusammenhängt, ist durch Zersetzung der Kohlenwasserstoffe in den Steinen stattfindende molekulare Ablagerung von Kohlenstoff, der die Widerstandsfähigkeit des Steines durch allmähliche Auflockerung des Gefüges herabsetzen und schließlich zur Zerstörung des Steines führen kann. Derartige Kohlenstoffablagerungen wurden vorwiegend bei sog. halbsaurem Material wahrgenommen, wahrscheinlich aus dem Grunde, weil infolge des im Feuer eintretenden Wachsens der Kieselsäure der Stein voluminöser und lockerer und die Diffusion der Gase auf diese Weise erleichtert wird. Diese durch eigenartig bemessene Linien begrenzte Kohlenstoffablagerung ist auf eine an bestimmten Stellen innerhalb der Steinstärke eingetretene pyrogene Zersetzung der diffundierten Kohlenwasserstoffgase zurückzuführen¹, indem das Methan auf dem mit zunehmender Temperatur gekennzeichneten Wege zur Heizkammer in eine Zone hineingelangt, deren Temperatur zur Zerlegung des Methans in seine Elemente ausreichend ist. Der Weg des Gases von dem Destillationsraum zu dem mit dem Schornstein in Verbindung stehenden Heizraum wird durch die in beiden Räumen herrschende Druckdifferenz bedingt, die besonders in der ersten Vergasungsperiode nach frischem Besetzen der Kammer in Erscheinung tritt.

9. Was die mechanische Festigkeit sowie Maßhaltigkeit, Rissefreiheit usw. der Steine anbetrifft, so sind diese Anforderungen so selbstverständlich, daß weitere Ausführungen hierüber nicht mehr in Frage kommen. Hier seien nun noch ein paar Worte über Ausführung von Ausbesserungen an beschädigten Wänden gestattet.

Wo die Beschädigungen über eine halbe Steinstärke tief hineingedrungen sind, empfiehlt es sich, neue Steine einzusetzen. Sonst kann man die beschädigten Stellen durch Belegung mit einer Stampfmasse flicken, was allerdings keinen vollwertigen Ersatz für gute hartgebrannte Steine liefert. Bei der Vornahme solcher Ausbesserungen verfährt man folgendermaßen²:

Die beschädigten Stellen werden sorgfältig abgespitzt bis der gesunde Stein freiliegt. Sodann werden Steinsplinter und Staub mit Druckluft ausgeblasen und die etwas angewärmte Wand mit der Masse ausgestrichen, die aus einem Gemisch von 50 bis 70 Teilen bis auf eine Korngröße von 1 bis 3 mm gemahlener feuerfester Steinbrocken und 50 bis 30 Teilen eines quarzithaltigen feingemahlener Tones mit ca. 85 bis 88 Proz. SiO_2 -Gehalt und mit einem Alkali-gehalt von unter 2 Proz. besteht. Ein hierzu geeignetes Gut, das auch zum Ausflicken von Koksöfen, chemischen Öfen und Gasretorten viel benutzt wird, findet sich im oberen Brohltal und wird unter der Bezeichnung „Kraterzement“ in feingemahlener Zustände in den Handel gebracht. Die Bezeichnung „Zement“ ist eine Willkür des Handels, da das Gut damit nicht das Geringste zu tun hat und keinerlei hydraulische Eigenschaften besitzt. Auch verschiedene Klebsande werden für solche Zwecke verwendet. Die Masse ist in dünnen Schichten sehr vorsichtig aufzutragen, damit eine Schalenbildung, die das Abplatzen der Auftragsmasse beim Hochheizen der Ofen-

¹ Vgl. hierzu Stahl u. Eisen 1911, S. 730.

² Schwenke, Glückauf 1917, Heft 42.

kammer zur Folge haben würde, vermieden wird. Mit dem Auftragen der nächsten Schicht muß man warten, bis die untere Schicht vollständig trocken ist, weshalb es sich für den schnellen Fortgang der Arbeiten empfiehlt, in der Wärme zu arbeiten. Zum Schluß wird mit feinstgemahlener Schamotte nachgeglättet. Auch die Ofensohlen wurden nach Entfernung der alten ausgearbeiteten Steine mit einer nach obiger Vorschrift hergestellten Stampfmasse, zu der nur etwas gröbere Steinbrocken Verwendung fanden, ausgefüllt und geglättet.

Natürlich ist dieses Schmierverfahren nur als eine halbe Maßnahme zu betrachten, weil der aufgetragene Verputz mit der Zeit locker wird. Die Behauptung, daß der sog. Zement sich mit dem Stein zu einer homogenen Masse zusammensintert, läßt sich nach *Schwenke* nicht immer aufrecht erhalten.

Die Mauerfuge bildet eine Quelle verschiedener Unannehmlichkeiten, besonders wenn die Steine nicht exakt geformt bzw. nicht hoch genug gebrannt sind. Dieses gab Veranlassung, Versuche mit sog. fugenlosen Kammerwänden zu machen, indem man die ganze Kammerwand aus einer besonderen Masse stampfte¹. Die für diesen Zweck verwandte Mischung des Schamottebetons ist etwa die gleiche, wie sie bei Reparaturen von Kokereiföfen schon seit vielen Jahren verwendet wird. Sie setzt sich aus einer Mischung von alten Schamottebrocken, Kraterzement, Schamottmehl und Klebsand zusammen und wird bezüglich der quarz- und tonhaltigen Bestandteile so gewählt, daß ein Ausgleich des Wachsens und des Schwindens ermöglicht wird. In der Kokereiindustrie, wo man diesbezügliche Versuche vor Jahren vorgenommen hat, hat sich dieses Stampfverfahren nicht eingebürgert. In der Leuchtgasindustrie ist dagegen eine Reihe von Kammeröfen nach diesem Stampfsystem gebaut worden. Die mit solchen Kammern gemachten Erfahrungen waren nicht überall gleich, so daß man sich ein abschließendes Urteil darüber noch nicht bilden kann. Gelingt es, die Masse so zusammenzusetzen, daß sie tatsächlich volumenbeständig bleibt, so erhält man tatsächlich dichte Kammerräume. Treten jedoch aus irgendwelchem Grunde Risse bzw. Erweichungen des Materials ein, so können unliebsame Betriebsstörungen die Folge sein. Der Stampfmasse, die als ausgesprochene tongebundene Masse zu betrachten ist, und die aus Silikamaterial nicht hergestellt werden kann, fehlen die sämtlichen guten Eigenschaften des letzteren. Das Brennen der Masse erfolgt gleichzeitig mit der Inbetriebnahme des Ofens im letzteren selbst. Dieses Brennen vermag jedoch niemals den von allen Seiten auf den verhältnismäßig kleinen Stein einwirkenden Brand in den Öfen der feuerfesten Fabriken zu ersetzen. Ersparnisse an Brennkosten treten nicht ein, weil man ja bei dem Überführen der Masse aus dem Rohzustand in einen dem fertigen Stein gleichen Zustand so wie so beim Anheizen des Ofens mit einem Mehrverbrauch von Koks zu rechnen hat. Dem gegenüber sei betont, daß die Stampfkammern sich sehr schnell herstellen lassen und etwas billiger sind, als die aus Steinen hergestellten Wände, weil man hierbei auch die aus den außer Betrieb gesetzten Kammern ausgebrochenen Schamottesteine mit verwendet.

¹ Vgl. S. 248.

Dieser Vorteil wird jedoch illusorisch, sobald in der Preispolitik der meisten zu der Konvention gehörenden Steinfabriken ein Wandel eintreten wird.

Während man im rheinisch-westfälischen Industriegebiet für die Herstellung von Kammern der Kohlendestillationsöfen allgemein das sog. „halbsaure“ Material mit 15 bis 22 Proz. Tonerde und 78 bis 85 Proz. Kieselsäure verwendet, haben sich in Schlesien dagegen basische Steine mit 32 bis 36 Proz. Tonerde eingebürgert; Steine mit noch höherem Tonerdegehalt haben sich wegen sehr starken Nachschwindens nicht bewährt. Der Unterschied liegt darin begründet, daß, während Schlesien und Sachsen über zahlreiche ausgezeichnete, hochplastische Bindetone, hochfeuerfeste Rohkaoline und hochwertige Schiefertone in erster Linie verfügen, den westdeutschen Fabrikanten zur Anfertigung solcher Steine im wesentlichen neben plastischen Tonen nur Klebsande zur Verfügung stehen.

Die chemische Zusammensetzung von Koksofensteinen in außerdeutschen Kokereien zeigt die folgende Aufstellung nach *Hancock*.

Verwendungsland und Art des Ziegels	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CoO	MgO	K ₂ O	TiO ₂
England, Dinas . . .	92,9	3,9	0,9	1,3	0,0	0,3	1,4
Amerika, Silika . . .	94,1	2,2	0,9	2,5	0,2	0,2	—
Amerika, halbsauer .	79,3	16,7	2,3	nicht bestimmt		0,8	—
Belgien, halbsauer . .	79,4	18,7	1,3	„	„	0,1	—
Belgien, halbsauer . .	81,1	14,2	1,3	„	„	1,1	—
Deutschland, halbs.	83,2	13,2	1,6	„	„	1,2	—
England, halbsauer .	84,5	13,4	1,2	„	„	0,4	—
England, halbsauer .	79,8	17,0	1,4	„	„	0,9	—
England, halbsauer .	81,4	14,0	1,4	„	„	0,6	—

Die chemische Zusammensetzung der Steine ist im allgemeinen für die Widerstandsfähigkeit gegen verschiedene, dem Kohlendestillationsbetrieb eigentümliche Einflüsse nicht von besonderer Bedeutung; dagegen spielt das lange Brennen bei hoher Temperatur — gute Rohmaterialien vorausgesetzt — eine wesentliche Rolle. Die Erfahrungen, die man mit Schamottematerial in Kohlendestillationsbetrieben gemacht hat, sind recht verschieden. Es ist klar, daß heißer Ofengang, hoher Salz- und Wassergehalt, stark treibende Kohlen und dergleichen einen ungünstigen Einfluß auf das Schamottematerial der Kammerwände ausüben; jedoch ist der Verschleiß des feuerfesten Materials nicht minder auch auf die Eigenschaften des letzteren selbst zurückzuführen. Je dichter eine Formmasse zubereitet wird, je stärker der Druck ist, der beim Formen oder Nachpressen der Steine ausgeübt wird, je langsamer das Trocknen erfolgt, je höher die Brenntemperatur gehalten wird, je länger die Brenndauer ist, um so widerstandsfähiger wird auch der Stein ausfallen.

Die günstigen Erfahrungen, die man in Amerika, wo man wenig geeignete Tone zur Herstellung von Schamottesteinen hat, bereits seit 20 Jahren mit der Verwendung von Silikamaterial (Quarzsteine) in Koksöfen gemacht hat, haben Anlaß gegeben, auch in Deutschland Versuche in dieser Richtung zu

unternehmen, trotzdem die Betriebsverhältnisse in Deutschland und in Amerika grundverschieden sind. In Deutschland wird die Kokskohle fast durchweg mit einem Wassergehalt von 13 Proz. (und darüber) verarbeitet, wodurch die Nebenprodukte vor Zersetzung gewissermaßen geschützt werden, während in Amerika der Wassergehalt normalerweise nur rund 5 Proz. beträgt. Es wird in Amerika weniger Wert auf rationelle Gewinnung der Nebenprodukte gelegt, während in Deutschland das Gegenteil der Fall ist. Die Garungszeiten werden in Amerika nach Möglichkeit abgekürzt und die Öfen gehen dort daher verhältnismäßig sehr heiß. Außerdem ist die Fabrikation des dort verwendeten Silikamaterials der Fabrikation deutschen Ofenbaumaterials ganz erheblich überlegen. Es kommt noch hinzu, daß man in den Vereinigten Staaten von Nordamerika über ungeheure Mengen einheitlicher Rohmaterialien für feuerfeste Steine verfügt. Diese Rohmaterialien bestehen zwar fast durchweg aus

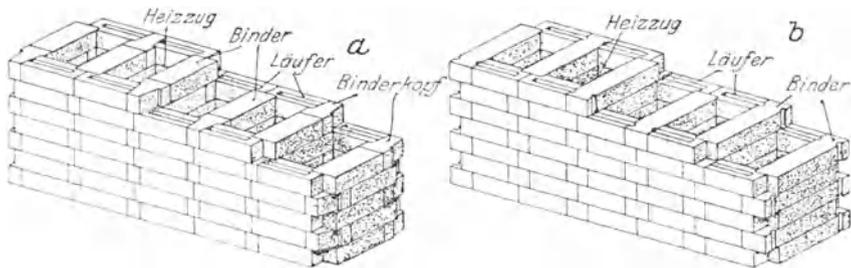


Fig. 24. a. Kombiniertes Binderkopf aus Silika- und Schamottmaterial. b. Binderkopf ganz aus Silikamaterial am Koksofenverband.

Felsquarzit, aber von einer Qualität und Zusammensetzung, die der unserer besten Findlingsquarzite gleichkommt. Es läßt sich die Tatsache einer großen Überlegenheit der amerikanischen Steinfabriken gegenüber unseren nicht hinwegleugnen, denn die Quarzsteine zeigen dort trotz komplizierter Formung ein Aussehen, als wenn sie aus bester plastischer Masse hergestellt wären, und unterscheiden sich in ihrer Formung keineswegs von den besten deutschen Schamottesteinen. Außerdem weisen sie eine gute mechanische Festigkeit auf.

Das Verdienst der Einführung der Quarzsteine für Koksofenbauten gebührt zweifellos der Firma *H. Koppers* in Essen, die bereits im Jahre 1911 begonnen hat, die Koksofenbinder aus Quarzsteinen herzustellen. Die Bindersteine¹ wurden zunächst zweiteilig ausgeführt, und zwar der eigentlich am meisten auf Feuerbeständigkeit beanspruchte Binderkörper in Quarz- und der dem Ofenraum zugekehrte Binderkopf in Schamottequalität. Der ursprünglich gewählte Steinverband ist in Fig. 24a gezeigt.

Der Versuch zeigte ein befriedigendes Resultat. Irgendwelche Betriebsstörungen durch verschiedenartiges Aussehen des Materials traten, obgleich befürchtet, nicht ein. Das gab Veranlassung, wohl den ganzen Binder in Dinas,

¹ Koppers Mitteilungen 1921, H. 2, S. 41.

und zwar ungeteilt (vgl. Fig. 24 b) auszuführen und mit tongebundenen Läufern zusammen zu vermauern.

Hier zeigte sich, daß glühende Dinassteine infolge der durch die Feuchtigkeit der Kokskohle verursachten Abschreckung bei weitem nicht in dem Maße litten, wie bis dahin allgemein angenommen wurde. Ferner zeigte sich überraschenderweise, daß die bei der Destillation der Kohle flüchtig werdenden Salze den Silikastein absolut nicht angreifen, dagegen den Stein mit tonigen Bestandteilen schädigen. Durch die Salzangriffe blätterte der Schamotteläuferstein bis zu 10 mm ab, dagegen bleiben die aus Quarzmaterial hergestellten Binderköpfe unversehrt. Es bildeten sich also rauhe Wände, aus denen schließlich, wenn der Salzfraß weit genug vorgeschritten war, die nicht angegriffenen Silikabinderköpfe herausragten, so daß sich beim Ausstoßen des Kokskuchens Schwierigkeiten ergaben.

Die Wände einer solchen Ofenkammer sehen infolge Vorstehens der Binder wie ein Reibeisen aus. Wenn diese unangenehme Erscheinung auch manchem Betrieb sehr viele Unannehmlichkeiten bereitet, so haben sie doch den Beweis geliefert, daß das Silikamaterial gegen Salzanfressungen beinahe unempfindlich ist. Die Frage der Salzanfressungen ist für manchen Kohlendestillationsbetrieb eine Lebensfrage und in dem Silikamaterial war nur ein Material gefunden, welches gegen die Angriffe der Salze viel widerstandsfähiger wie Schamottematerial ist.

Nachdem auch ein paar Probewände ganz aus Silikamaterial ausgeführt wurden, und die Steine sich in jeder Beziehung befriedigend verhielten, ging *Koppers* dazu über, die sämtlichen Öfen, soweit dieselben bezüglich der Temperatur hoch beansprucht wurden, aus Silikamaterial zu bauen. Andere maßgebende Firmen sind diesem Beispiel gefolgt und heute gilt fast überall Silika (bzw. Dinas) als Koksofenbaumaterial der Zukunft. Besonders interessant ist die Feststellung, daß man bei den aus Silika erbauten Öfen unter sonst gleichen Bedingungen eine viel kürzere Garungszeit erreicht, als bei Öfen aus Schamottematerial (24 Stunden gegen 29 Stunden bei Schamotteläuferefen). An der Koksofenanlage Poremba der Oberschlesischen Kokswerke und Chemische Fabriken A.-G. wurde durch Verwendung von Quarzsteinen eine Verkürzung der Garungszeit um 2 bis 3 Stunden erreicht (*Hartmann*, Über Koksofensteine. Kattowitz, S. 20). Die Ursache für eine schnellere Garungszeit der Öfen ist allgemein darauf zurückzuführen, daß den Öfen mehr Heizgas zugeführt werden kann; durch den größeren Rauminhalt der Gase ergibt sich eine schnellere und bessere Wärmeaufnahme und Wärmeübertragung durch die Steine. Bei Silikasteinen kommt die bessere Wärmeleitfähigkeit hinzu, durch die ein schnelleres Fließen der Wärme und ein geringerer Temperaturabfall zwischen Heizwand und Ofenkammer erreicht wird, so daß bei Silikaöfen, selbst bei annähernd gleicher Temperatur in den Heizzügen, die Temperatur in der Ofenkammer doch erheblich höher ist, als bei aus Schamotte erbauten Öfen.

So vielversprechend und verlockend auch die in amerikanischen Kokereien gemachten Erfahrungen, besonders in bezug auf sehr kurze Garungsdauer,

die nur 16 Stunden betragen soll, sind, konnten anfangs Bedenken nicht von der Hand gewiesen werden, daß neben diesen Vorzügen auch Erscheinungen zu tage treten könnten, die dieselben aufheben, vielleicht auch überwiegen würden. Diese Bedenken bestanden darin, daß angenommen wurde, die Silikaöfen würden das Ausbringen an schwefelsaurem Ammoniak wesentlich beeinflussen, der Teer würde infolge heißeren Ofenganges dickflüssig und dadurch die Trennung von Wasser schlecht durchgeführt werden können, ein hoher Kochsalz- oder Wassergehalt der Kohlen könne evtl. schaden oder bei Betriebs-einschränkungen könnten infolge Zurückgehens der Ofentemperaturen die Wände undicht werden und dergleichen. Indessen konnte *Enzenauer*¹ feststellen, daß die Ausfälle an Ammoniak nicht so wesentlich waren, daß Grund vorhanden war, dieserhalb der Verwendung von Silikamaterial ablehnend gegenüberzustehen; der Teer ist wohl etwas dickflüssiger geworden, hat jedoch zu keinen Beanstandungen seitens der Abnehmer Anlaß gegeben. Trotzdem der Kochsalzgehalt 5 bis 7 g im Liter Kohlenwaschwasser betrug, ist ein merklicher Verschleiß in den Steinen nicht eingetreten. Die Vorzüge der Silikasteine faßt *Enzenauer* folgendermaßen zusammen²: Der Kohlendurchsatz der Erzeugung von Koks und Gas kann ganz bedeutend gesteigert werden; Verschlackungen, Schmelzungen und krumme Wände infolge Überhitzungen können kaum eintreten, Reparaturen und Betriebsunfälle sind aus diesen Ursachen nicht zu befürchten; gegen Kochsalz- und Wassergehalt der Kohle ist der Silikaofen sehr widerstandsfähig und gerade unempfindlich. Da der Erweichungspunkt des Silikamaterials im Gegenteil zum Schamottematerial, annähernd bei der Schmelztemperatur liegt, sind Durchbiegungen, sowie Undichtheiten der Wände ausgeschlossen.

In Nordamerika in Joliet wurden ebenfalls Versuche in dieser Richtung angestellt. Zu diesem Zweck wurden Versuche auf drei Batterien ausgeführt, welche aus verschiedenem Steinmaterial gebaut wurden, die eine aus Silikasteinen, welche aus Barabao-Quarziten in Wisconsin hergestellt wurden, die zweite aus amerikanischen halbsauren Schamottesteinen mit hohem Kieselsäuregehalt, und die dritte aus solchen deutschen Fabrikats.

Die Analysen dieser drei verschiedenen feuerfesten Materialien sind in der folgenden Tabelle angegeben:

Zusammensetzung	SiO ₂	F ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	HgO	K ₂ O
Silikasteine	94,06	0,87	2,23	2,52	0,15	0,15
Amerik. halbsaure Schamottesteine	79,29	2,26	16,66	0,49	0,36	0,82
Deutsche tongebundene Steine . . .	83,15	1,57	13,19	0,37	0,34	1,17

Die Versuche ergaben, daß der Wirkung der Hitze und den mechanischen Einflüssen die aus Quarz hergestellten Silikasteine am besten widerstehen

¹ *Enzenauer*, Die Kokereianlagen der Rheinischen Stahlwerke A.-G. in Duisburg-Meiderich und die Verwendung von Silikasteinen für Koksöfen. Bericht Nr. 14 des Kokereiausschusses des Vereins deutscher Eisenhüttenleute vom 23. Juni 1920.

² Sie sind zum größten Teil bestätigt durch Beobachtungen von *Pretsch* an den Wiener Gaswerken (Gas- u. Wasserfach 1924, Heft 25, S. 358—62).

können. In den aus Silikasteinen hergestellten Batterien wurde der Koks schon in 16 bis 17 Stunden gar, während bei den anderen Batterien die Garungszeit 24 Stunden betrug. Die Qualität des Kokes war in allen drei Batterien gleich. Die Nebenproduktengewinnung ist jedoch in der aus Silikasteinen hergestellten Koksofenbatterie geringer gewesen, allerdings mit Ausnahme von Teer; der letztere wies jedoch infolge des größeren Gehaltes an freiem Kohlenstoff und Naphthalin eine schlechtere Qualität auf. Für die Beurteilung des Ausfalles an Nebenprodukten ist jedoch zu berücksichtigen, daß der die Zersetzung der Nebenprodukte schützende Wassergehalt der Kohle in Amerika durchweg bedeutend geringer (ca. 5 Proz.) als in Deutschland (ca. 13 Proz.).

Middleton betont in seinem vor der Englischen Keramischen Gesellschaft gehaltenen Vortrag (The British Clay Worker 1922, Okt., Nr. 366) die größere Leistungsfähigkeit der Koksöfen und ihre längere Haltbarkeit bei Verwendung von Silikasteinen zum Bau solcher Öfen. Bei den aus Silikasteinen erbauten Koksöfen kann die Verkokung auch bei 1300 bis 1400° C (und darüber, weil solche Steine auch Temperaturen von 1600° C aushalten) erfolgen, während bei Öfen aus basischem bzw. halbsaurem Material die Verkokungstemperatur rund 200° C unter dieser Temperatur bleiben muß. Dadurch wird die Garungszeit und folglich der Koksübersatz erhöht. Es kommt noch hinzu, daß die Garungszeit in viel größerem Maße verkürzt wird, als die Verkokungstemperatur steigt. In amerikanischen Koksöfen betrug die Verkokungszeit

bei 1120° . . .	24 Stunden,
„ 1252° . . .	18 „
„ 1320° . . .	15,5 „

Bei einer Temperatursteigerung um 200° konnte also die Verkokungszeit um 8,5 Stunden verkürzt werden und somit stieg dadurch die Leistungsfähigkeit des Ofens um über 50 Proz.

Der Nachteil bei Verwendung von Silikamaterial für Koksöfen besteht darin, daß dieses Material ein starkes Ausdehnungsvermögen besitzt. Während bei Schamotteöfen die Dehnung nur etwa $\frac{1}{2}$ Proz. beträgt, rechnet man bei Silikamaterial, vorausgesetzt richtige Aufbereitung der Rohstoffe und einwandfreien Brennprozeß der Steine, mit $1\frac{1}{2}$ Proz. Ausdehnung, die zuweilen, wenn die Quarzumformung beim Brennen nicht vollkommen war, noch höhere Werte aufweisen kann. Der größte Teil der Dehnung wird jedoch durch den Ankerdruck bzw. durch die Fugen aufgenommen. Durch sehr vorsichtiges Anheizen kann diesem Nachteil entgegengetreten werden, so daß Beschädigungen der Wände ganz vermieden werden können. Gegen Abkühlung zeigt sich das Silikamaterial weit mehr empfindlich, wie ein Schamottestein. Bei evtl. Stilllegung der Öfen kann der aus Silika erbaute Ofen unter Umständen dem Schamotteofen unterlegen sein. Das Silikamaterial muß deshalb vorsichtig behandelt werden; es ist hierbei eine langsame Abkühlung geboten. Auch zum Anheizen der Silikabatterien muß die Zeit reichlicher gewählt werden. Bei Schamottesteinen rechnet man im allgemeinen mit einer Anheizzeit von 4 Wochen, bei Silikabatterien muß man schon mit 6 Wochen rechnen.

Bei der Außerbetriebsetzung von Silikakammern verfahren die Wiener Gaswerke, die mit diesem Material beste Erfahrungen gemacht haben (*Pretsch*, Gas- und Wasserfach 1924, Heft 25, S. 359), folgendermaßen. Nach dem Abstellen der Beheizung wird der Kokskuchen noch einige Tage in der Kammer belassen. Dadurch geht die Temperatur in den Heizwänden nur langsam zurück, weil die Wärme des Kokses ein rasches Abkühlen der Heizwand verhindert. Nach dem Ausstoßen des nunmehr schwach rotglühenden Kokskuchens wird die leere Kammer luftdicht



Fig. 25. Silikawand.



Fig. 26. Schamottewand.

vermauert, und in diesem Zustand langsam erkalten gelassen. Nach ungefähr 4 bis 6 Wochen ist die Abkühlung so weit fortgeschritten, daß der Reparatur des Ofenmauerwerks begonnen werden kann. Während der Zeit des Abkühlens, sowie während des ebenso langsam durchgeführten Anheizens werden die Anker in der Längsrichtung der Heizwand ständig nachgezogen bzw. nachgelassen, damit sie ständig unter entsprechender Spannung sind.

Der Wärmeverbrauch pro Tonne destillierte Kohle ist bei der Silikabatterie nicht, wie man als Erklärung für einen schnelleren Gang der Öfen von vornherein anzunehmen geneigt sein könnte, bei sonst gleichen Bedingungen höher gefunden worden, als bei der Schamottebatterie.

Gegen Salzanfressungen zeigen sich die Silikawände, wie bereits oben ausgeführt, viel widerstandsfähiger als Wände aus Schamottematerial. Auf der Zeche „Graf Moltke“¹ wurde eine Koksofenkammer gebaut, deren eine Wand in Silika, die andere in tonigem Material ausgeführt worden war. Diese beiden Wände sind in den Fig. 25 und 26 getrennt dargestellt und es ist deutlich zu erkennen, daß sich das Silikamaterial weit widerstandsfähiger gezeigt hat.

Zu denselben Ergebnissen kommt auch *Schwenke*. Er schreibt wörtlich folgendes: „Dieser unzweifelhaft augenfällige Beweis dafür, daß, die Beanspruchungen der geschilderten Arten betreffend, die kalkgebundenen Silikasteine zu den bestgeeignetsten Baustoffen gehören, kann durchaus zu dem Versuch ermutigen, durch Verwendung von Silikasteinen mit der Wandstärke der Läufersteine herunterzugehen, dadurch eine Verbesserung des Wärmeaustausches zwischen Ofenkammer und Heizzügen herbeizuführen und eine Abkürzung der Garungszeit sowie einer erhöhten Leistung des Ofens zu erzielen.“

Die Verwendung eines ausgesprochenen Silikasteines ist für Koks- oder Gasofenzwecke nicht absolut notwendig. Ein Dinasstein, d. i. ein Silikastein zweiter Sorte, genügt in den weitaus meisten Fällen vollständig.

Wenn auch solche aus Felsquarziten hergestellte Dinassteine infolge der darin enthaltenen Beimengungen bzw. als Bindemittel zugesetzten Kalk, Tonerde usw. die Feuerbeständigkeit des Steines herabsetzen, so ist die Feuerbeständigkeit noch immerhin bei weitem ausreichend, um der Temperatur in den Heizzügen der Kohlendestillationsöfen bei normalen Betrieben standzuhalten; außerdem wirken diese Beimengungen gewissermaßen dem nachträglichen Wachsen des Felsquarzites entgegen bzw. bewirken eine bessere und schnellere Umwandlung des Quarzes in seine stabilere Modifikation und liefern einen mechanisch festen Stein, der den Druckeinwirkungen bei hohen Temperaturen Widerstand leistet.

Die Frage, ob ton- oder kalkgebundene Quarzsteine für Kohlendestillationsbetriebe besser sind, kann nach den bis heute vorliegenden Erfahrungen von verschiedenen Gesichtspunkten aus und nur von Fall zu Fall entschieden werden.

Die Ansprüche, die an die Koksofensteine gestellt werden, sind an den Wänden andere als am Oberbau und Unterbau. Bei letzterem ist große mechanische Festigkeit die Hauptbedingung, denn der Druck des Oberbaues einschließlich der Kohlenfüllung und der auf dem Ofen ruhenden Armaturen erfordern einen äußerst stabilen Unterbau.

6. Gaswerk.

Sofern in den Gaswerken zur Entgasung der Kohle Kammeröfen Verwendung finden, gilt für das feuerfeste Material dasselbe, wie für die Öfen der Kokereien. In kleineren Gaswerken sind aber noch immer Retortenöfen stark verbreitet. An die Retorten wird neben genügender mechanischer Festigkeit und äußerer wie besonders innerer Glätte als Haupterfordernis die Wider-

¹ Koppers Mitteilungen 1921, Heft 1, S. 24 bis 26.

standsfähigkeit gegen Temperaturwechsel gestellt. Der verlangte Grad der Schwerschmelzbarkeit ist nicht besonders hoch; die Temperaturen, die in den Gasretortenöfen herrschen, betragen etwa 1200 bis 1300° C. Die eintretenden Undichtheiten der Retorten erscheinen nicht besonders gefährlich, da sich etwa bildende kleinere Risse durch den bei der Kohlenentgasung entstehenden Graphit sehr bald zusetzen. Zur Erzielung genügender Gasdichtheit poliert man die Retorten innen oder überzieht sie mit einer Feldspat-Gipsglasur. Statt letzterer hat man auch eine Glasur aus Karborundum, Ton und Wasserglas angewandt, sie scheint jedoch nicht in Aufnahme gekommen zu sein. Über die Vorteile des Glasierens der Gasretorten gehen die Ansichten auseinander. Die Glasur hält übrigens nicht lange vor¹, da die Retorte im Betriebe sehr bald Graphit ansetzt und bei dessen Entfernung die Glasur stark leidet. *Schilling* hat an einer ungefähr 1/2 Jahr in Betrieb befindlichen Retorte Versuche bezüglich der Gasdichtheit angestellt und dabei folgendes gefunden:

Druck in der Retorte mm	Vom Graphit befreit und verschmiert		Nach viermaliger Ladung		Nach achtmaliger Ladung		Dicht mit Graphit überzogen	
	Durchlässigkeit		Durchlässigkeit		Durchlässigkeit		Durchlässigkeit	
	Liter Gas stündlich	Proz. der Gaserzeu- gung	Liter Gas stündlich	Proz. der Gaserzeu- gung	Liter Gas stündlich	Proz. der Gaserzeu- gung	Liter Gas stündlich	Proz. der Gaserzeu- gung
0	800	8,0	40	0,4	42	0,4	unmerklich	
10	—	—	250	2,5	140	1,4	31	0,3
20	—	—	265	2,6	240	2,4	—	—
30	—	—	400	4,0	360	3,6	40	0,4
40	3600	36,0	610	6,1	430	4,3	—	—
50	—	—	—	—	—	—	108	1,1
60	nicht mehr		—	—	—	—	—	—
70	meßbar		900	9,0	830	8,3	—	—
80	—	—	1100	11,0	900	9,0	108	1,1

Man sieht daraus, daß die Dichtheit nach dem Entfernen des Graphits ziemlich gering ist, aber schon durch einen dünnen Graphitüberzug bedeutend erhöht wird. Die Glasur ist also nur in der ersten Betriebszeit wirksam.

Vom Deutschen Verein von Gas- und Wasserfachmännern sind folgende Retortenquerschnitte als Normalien festgelegt (Fig. 27):

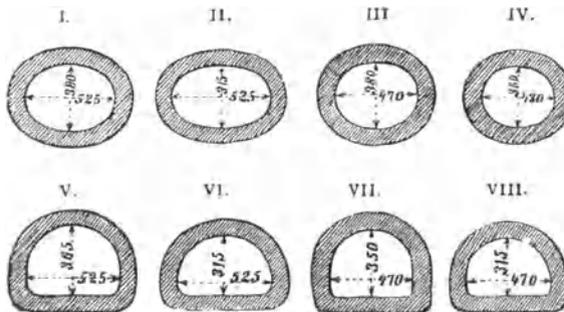


Fig. 27. Retortenprofile.

¹ *Bertelsmann*, Die Erzeugung des Leuchtgases. Verlag Enke. Stuttgart 1911. S. 60.

Die meistgebräuchlichen Profile für geneigte Retorten sind (Fig. 28):

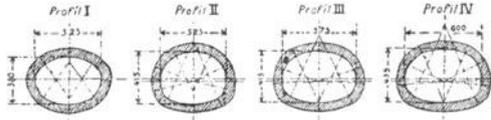


Fig. 28. Retortenprofile für Schrägretorten.

Die Länge der Retorten schwankt zwischen 2,5 bis 3,2 m, die Wandstärke zwischen 60 bis 65 cm; die Länge der Retorten für Schrägretortenöfen schwankt zwischen 3,5 und 6,5 m.

Nach dem „Gaskalender“ sind genaue Form und Abmessungen, sowie glatte Flächen der scharfgebrannten Erzeugnisse zur Herstellung eines guten Mauerwerkes unerlässlich. Abweichungen von ± 2 Proz. der angegebenen Abmessungen sind statthaft. Bei Abmessungen unter 100 mm sollen Abweichungen von ± 3 mm erlaubt sein. Durchbiegung bis 1,5 Proz. der Länge ist zulässig.

Besonders große Schwierigkeiten macht das Retortenmaterial wegen der starken und plötzlichen Temperaturschwankungen, denen es ausgesetzt ist, wenn eine Retorte mit einer Innentemperatur von vielleicht 1000°C und darüber mehrmals am Tage eine große Menge kalter (und zuweilen feuchter) Kohle aufnehmen muß. Im Hinblick auf diese scharfe physikalische Inanspruchnahme muß das Material grobkörnig und porös, trotzdem aber feuerbeständig sein und darf sich nicht ausdehnen und zusammenziehen. Um deshalb die nötige Porosität zu sichern, hat z. B. der englische Ausschuß für feuerfestes Material in Gaswerken¹, der für die Aufstellung von Normen eine Reihe von Versuchen im praktischen Betriebe vorgenommen hat, bei der Fabrikation — und dies ist der einzige Eingriff in dieselbe — das Absieben und Entfernen des feinen Schamottestaubes aus der Masse vorgeschrieben.

Die durchschnittliche Lebensdauer einer Retorte im Gaswerksbetrieb beträgt etwa 800 bis 1000 Feuertage. Die Garantien der Ofenbaufirmen für die Haltbarkeit der Retorten bewegen sich ebenfalls in diesen Grenzen. Für jedes An- und Abfeuern werden gewöhnlich ca. 100 Tage in Abzug gebracht. Bei sachgemäßer Betriebsführung kann jedoch eine viel längere Lebensdauer der Retorten erzielt werden. So berichtet z. B. Dr. Geipert² über Vertikalretorten (aus Schamotte) sogar mit einer Lebensdauer von 3000 Feuertagen und erklärt die lange Haltbarkeit derselben folgendermaßen:

Die sachgemäße Überwachung der Ofentemperatur, worunter die Temperatur der Retortenwand zu verstehen ist, ist der Kernpunkt des Betriebes. Wer den Ofen führt, muß fähig sein, die Ofentemperatur mit bloßem Auge genügend genau zu schätzen. Die als richtig erkannte Ofentemperatur ist unschwer beizubehalten. Es bedarf hierfür bei gleichbleibender Beschickung

¹ Vgl. Journal für Gasbel. und Wasservers. 1918, S. 164.

² Journal für Gasbel. und Wasservers. 1918, S. 613.

und gleichem Dampfen der Retorten, also bei gleichmäßigem Wärmeverbrauch im Ofen nur konstanter Wärmezufuhr. Diese ist dadurch erzielbar, daß Oberluftweite und Ofenzug dieselben bleiben und die Unterluft auf richtige Zusammensetzung der Rauchgase (Blaustich) häufig eingestellt wird¹. Änderung der Ofentemperatur läßt sich durch Änderung des Ofenzuges oder der Oberluftweite bequem herbeiführen, während für die richtige Verteilung der Ofentemperatur jedes Ofensystem seine besonderen Vorschriften hat. Natürlich ist für guten baulichen Zustand der Öfen zu sorgen durch Beseitigung von Undichtheiten und Verstopfungen. Ist etwa der Verteilungskanal des Generatorgases undicht, so wird in ihm äußere Luft eingesaugt, durch die das Generatorgas vorzeitig verbraucht wird. Dadurch entsteht am Brenner des Ofens eine kurze sehr heiße Flamme, die die in der Nähe befindlichen Retortenteile verschmiert. Ebenso ist auf rechtzeitiges Füllen und Entleeren der Retorten, angemessenes Dampfen derselben, rechtzeitiges Abschlacken des Generatorrostes zu achten und schließlich auch darauf, daß besonders die unteren Retortendeckel dicht sind, da durch die aus ihnen sonst herausbrennende Flamme mit der Zeit der Trägerrost der Retorte sich würde verbiegen lassen. Auch auf vorsichtiges Anheizen und Kaltstellen der Öfen ist zu sehen. In der bei geringerem Gasverbrauch im Sommer sich von selbst einstellenden Ruhezeiten müssen die Öfen gründlich ausgebessert werden; die Generatorwände, die durch schmelzende Schlacke beschädigt werden, müssen am unteren Ende neu ausgekleidet werden, die Rekuperation durch Abschlämmen dichtgemacht, die Retortenwände gleichfalls gedichtet und ihnen durch stellenweises Abhämmern egalisiert.

Die Retorten werden in den überaus meisten Fällen aus Schamotte material hergestellt. Neuerdings findet auch Silikamaterial Eingang für die Herstellung von Retorten, die dann aus einzelnen Silikasegmenten zusammengestellt werden. Da in den Retorten der Gaswerksöfen nicht selten „gedampft“ wird, indem durch Einblasen von Wasserdampf in der Retorte Wassergas aus glühendem Koks hergestellt wird, so ist auf diesen Umstand bei Silikaretorten Rücksicht zu nehmen. Bei Verwendung von überhitztem Dampf sollen sich bei Silikaretorten keine Mißstände gezeigt haben.

Diesog. Salz an fressungen, unter welchen die Kokereiöfen (siehe S. 119ff.) bekanntlich sehr viel zu leiden haben, treten in den Gaswerksöfen bei weitem nicht in dem Maße auf, wie in der Kokerei. Der Grund mag wohl darin liegen, daß die Kokereien, die auf besseren, ascheärmeren Koks bedacht sind, nur gewaschene Kohle verwenden, die (in Deutschland) normalerweise 13 Proz. Wasser enthält, während die Gaswerke überwiegend Förderkohle verarbeiten, die verhältnismäßig trocken ist.

Beim Vergasen von Braunkohlen in den Retorten ist für die Haltbarkeit des Materials der Charakter der Asche von Bedeutung. Wie *Schulz* im Gasjournal 1922, S. 134 ausführt, ist ein Gehalt der Braunkohlenaschen an wasserlöslichen Salzen von 1 bis 3 Proz., und dieser dürfte bei den meisten

¹ Journal für Gasbel. und Wasservers. 1918, S. 333.

Vorkommen kaum überschritten werden, unbedenklich und auch ein Gehalt von 3 bis 7 Proz. wasserlöslicher Salze kann noch gefahrlos hingenommen werden. Steigt jedoch der Gehalt an diesen Salzen höher, so wird die Sache bedenklich und erreicht bei 12 Proz. schon ein sehr kritisches Stadium.

Bei den Retortenöfen der Gasanstalten bilden auch die Generatorsteine das Hauptaugenmerk des Ofenbauers. Hoher Schmelzpunkt (etwa Segerkegel 34) und mechanische Festigkeit bei größter Volumenbeständigkeit sind die Eigenschaften, welche für dieses Material in Frage kommen. Neben den Gasretorten selbst sind auch die zum Einbau derselben unmittelbar zu verwendenden Steine, Auflager, Stützen, starkem Temperaturwechsel unterworfen und müssen in grobkörniger, sehr widerstandsfähiger Qualität hergestellt werden. Das Ofengewölbe wird mit kleinsten Fugen unter Benutzung größerer Keilsteine hergestellt. Zu den Widerlagern werden extra Fassonstücke angefertigt. Überhaupt ist höchste Präzision im Gasofenbau eine der Grundbedingungen für möglichst lange Lebensdauer des Ofenmauerwerks.

Einen wesentlichen Bestandteil des Gaswerksofens bildet die Anlage zur Rückgewinnung der Wärme, die allgemein fälschlich als „Regeneration“ bezeichnet wird, trotzdem es sich meistens um eine „Rekuperation“ handelt. Der Unterschied zwischen diesen beiden Arten der Wärmerückgewinnungseinrichtung, sowie die Wirkung derselben ist ausführlich in meinem Buch¹ „Wärmewirtschaftsfragen“ S. 74 bis 124 besprochen.

Die Rekuperatoren werden in erster Linie aus Schamotten hergestellt. Der Betrieb vieler Öfen führt zu starken Flugstaubansammlungen im Rekuperator. Meistens ist der Flugstaub vom basischen Charakter und greift die auf hoher Temperatur befindlichen Steine an. Dies ist ein weiterer Grund, für Rekuperatoren mehr toniges als saures Material anzuwenden. Sprünge in den Rekuperatorröhren oder -kanälen müssen vermieden werden, weil sie zu einer Vermengung zwischen dem erhitzten und dem zu erhitzenden Medium führen, was die Wirtschaftlichkeit des Betriebes beeinträchtigt. Von den Rekuperatoren sind Regeneratoren¹ zu unterscheiden, deren Packung abwechselnd von heißen Abgasen und der vorzuwärmenden Luft oder Gas umspült wird. Die Regeneratoren sind deshalb einem Temperaturwechsel unterworfen, was bei Rekuperatoren nicht der Fall ist. Für die Regenerativkammerfüllung sind deshalb Steine mit grobkörnigerem Gefüge erforderlich, welche die Hitze der abziehenden Feuergase leicht aufnehmen und wieder abgeben, ohne zu springen. Der Kegelschmelzpunkt dieser Steine ist weniger wichtig; man begnügt sich mit Schamottesteinen von etwa Segerkegel 30. Rekuperatoren und Regeneratoren sind Bestandteile vieler industrieller Öfen, so z. B. Öfen für Leuchtgaserzeugung, Zinkdestillation, Glasindustrie, Metallindustrie usw., so daß das hier Gesagte sinngemäß sich auch auf diese Wärmegewinnungsanlagen bei anderen Öfen bezieht. Sowohl von dem Regenerator-, als auch vom Rekuperatorbaumaterial wird eine gute Wärmeleitfähigkeit verlangt.

¹ L. Litinsky, Wärmewirtschaftsfragen. Verl. Otto Spamer, Leipzig 1923.

Eine allgemein gültige Spezifikation für Gasofensteine ist in Deutschland meines Wissens noch nicht aufgestellt. Die englischen Gasingenieure sind in dieser Hinsicht uns weit voran. Das „Refractory Materials Committee of the Institution of Gas Engineers“ hat Normen für feuerfeste Gaswerksofensteine aufgestellt, die von *Mellor* in den *Transact. Inst. of Gas-Eng.* 1917/18 (Referat in *Ker. Rundschau* 1922, S. 527—528) wiedergegeben sind. Manches ist darin wohl überflüssig, manches bedarf einer Korrektur, aber im großen und ganzen hätten diese Normen als Vorbild für ebensolche in Deutschland dienen sollen. Besonders seien hier die Normen für Nachschwinden hervorgehoben, wie es auf der S. 226 aus der gleichen Quelle angegeben worden ist.

Die Vereinigung der Elektrizitätswerke hat bei Gaswerken eine Rundfrage über Anforderungen an das feuerfeste Material veranstaltet, deren Resultate in Heft 346/47 der Mitteilungen dieser Vereinigung für das Jahr 1923 wiedergegeben sind. Die wichtigsten Forderungen der Gaswerke sind: Standhaltigkeit der Retorten und Steine bei Temperaturen von 1350 bis 1450° C, Rekupe-rationssteine sollen Temperaturen von 1100° C aushalten; die Steine sollen mechanisch fest und gegen Stoß unempfindlich sein und weder durch Schlacken noch durch Wasserdampf angegriffen werden; Steine die einer dauernden Temperatur von beispielsweise 1450° C ausgesetzt sind, sollen 3 Tage lang eine Temperaturerhöhung von 1500° C ertragen; sie müssen eben, scharfkantig, glatt und ohne Vertiefungen oder Ausbeuchungen sein, keine Brandstellen aufweisen und nach Maß geformt sein; Abweichungen in den Abmessungen sind bis zu + 2 Proz. gegenüber den angegebenen Maßen statthaft. Bei Abmessungen unter 100 mm ist eine Abweichung bis zu + 3 mm erlaubt; die Durchbildung der Steine darf 1½ Proz. der Länge nicht überschreiten; die Druckfestigkeit soll bei guten Steinen 130, bei Steinen geringerer Beanspruchung 50 bis 90 kg/cm betragen; es wird eine Garantie für 800 Betriebstage verlangt. Wie man sieht, sind diese bruchstücksweise zusammengetragenen Anforderungen recht dürftig und auch nicht mehr zeitgemäß.

7. Zementindustrie.

*Störmer*¹ hat festgestellt, daß für die gleiche feuerfeste Ausfütterung von Zementbrennöfen Schamottesteine von außerordentlich verschiedenen Eigenschaften verwandt worden sind. Der Kieselsäuregehalt dieser von ihm untersuchten Steine schwankt zwischen 51 und 75,5 Proz., der Tonerdegehalt zwischen 19 und 46,4 Proz., der Eisenoxydgehalt zwischen 1,16 und 3,46 Proz.; der Gehalt an Alkalien zwischen 0,44 und 3,92 Proz. Ebenso verschieden wie die chemische Zusammensetzung dieser Steine war auch ihre Feuerfestigkeit. Die Schmelzpunkte dieser zu gleichen Zwecken bestimmten Steine lagen zwischen Segerkegel 28 und 35. Auch die Porosität der für Zementbrennöfen gelieferten Steine war außerordentlich verschieden. Einige Steine vermochten nur wenig über 6 Proz. ihres Trockengewichtes an Wasser aufzunehmen, andere

¹ Protokoll der Verhandlungen des Vereins deutscher Portland-Zementfabrikanten. Verl. d. Tonind.-Ztg. G. m. b. H., Berlin 1912. S. 459.

saugten fast 19 Proz. Wasser auf. Die Porosität wurde hier im Anlieferungszustande der Schamotteziegel ermittelt. Sie wird bei der Garbrandtemperatur des Zementes oft wesentlich geändert. Es folgt daraus, daß man nie in den häufigen Fehler verfallen darf, den hochtonerdehaltigen Schamottesteinen den Vorzug zu geben; auch darf man sich nicht darauf versteifen, einen Stein von einer bestimmten chemischen Zusammensetzung zu fordern, denn die chemische Zusammensetzung, das Raumgewicht usw. geben keinen brauchbaren Anhalt für die Beurteilung des feuerfesten Futters für die Zementöfen. Brauchbare Anhaltspunkte erhält man durch Durchführung von Probeversuchen, etwa in der Weise, wie es *Störmer* ausgeführt hat. Die Prüfungsweise bestand darin, daß aus verschiedenen Zementen kleine Körperchen gebildet wurden, die auf die zu prüfenden Schamotteziegel gestellt wurden. Der so vorbereitete Schamottestein wurde dann der Garbrandtemperatur des betreffenden Zementes ausgesetzt um zu beobachten, welche Veränderungen bei dem Schamotteziegel in Berührung mit dem Zement vor sich gingen. Der Zement als solcher schmilzt nicht; das Schmelzen kommt nur zustande, weil der Zement aus dem feuerfesten Ziegel Tonerde, Kieselsäure usw. unter Bildung leichterflüssiger Silikate aufnimmt. Häufig bildete sich, wo das Zementtetraeder gestanden hat, eine Grube. Die Proben wurden dann mit einer Steinsäge, und zwar an der Stelle, wo die Grube am tiefsten war, zerschnitten. Es kommt aber auch vor, daß das Tetraeder in Berührung mit dem Schamottematerial zu einem flachen Überzug ausfließt. Der Grad der Widerstandsfähigkeit der verschiedenen Schamottesorten hängt von dem gegenseitigen Verhältnis der chemischen Zusammensetzung des Futters und dem der Zementmasse ab. Ein für Zementbrennöfen geeigneter Stein muß so beschaffen sein, daß sich mit dem betreffenden Zement eine zähe glasartige Schutzschicht leicht bilden kann. Ein dichter Stein ist dabei die Hauptbedingung.

Die Schwierigkeiten, die die Ausfütterung der Zementbrennöfen mit Schamotte bietet, hat man nach dem Vorschlage von *Valeur*¹ in der Weise zu beheben versucht, daß man den Drehofen mit Zementklinkern selbst ausmauerte, die sich durch einen sehr hohen Schmelzpunkt (Segerkegel 38 = etwa 1850° C) auszeichnen. Es geschieht dieses in der Weise, daß entweder aus Drehofenklinkern (2 Teile) und gemahlenem Zement (1 Teil) Kunststeine hergestellt und diese in den Ofen eingesetzt werden, oder aber der Ofen unmittelbar mit einem Beton aus Drehofenklinkern und Portlandzement durch Stampfen ausgekleidet wird. Es hätte angenommen werden können, daß dieses Betonfutter an sich noch nicht einmal die Feuerfestigkeit guter Schamotte besitzt; um so überraschender sind die Schmelzpunkt- und Erweichungstemperaturzahlen, die für Zementklinkersteine von *Endell* in der Tab. 39 a angegeben werden, wonach die Klinkersteine in dieser Weise den Schamottesteinen keineswegs nachstehen. Klinkersteine haben ferner den Vorzug, daß sie mit dem in der Sinterung begriffenen Portlandzement nicht in chemische Wechselwirkung treten können, da sie ja aus den gleichen Bestandteilen wie der Portland-

¹ *Kühl* und *Knothe*, Die Chemie der hydraulischen Bindemittel. Verl. Hirzel, Leipzig 1915. S. 217.

zementklinker selbst bestehen und daß infolgedessen die Bildung der Schlacke, welche besonders die Zerstörung des Schamottefutters herbeiführt, vermieden wird. Zur Herstellung der Klinkerstampfmasse dienen sehr scharf gebrannte, entsprechend ausgesiebte und zerkleinerte Klinker, die zur Sicherheit häufig vorher noch mit warmem Wasser abgelöscht werden. Man stampft die Mischung aus Klinkern und Zement mit Preßluftstampfern 20 cm ein; dabei muß man aber über genügend Zeit verfügen, damit das Futter abbinden kann. Außerdem müssen (nach *Endell*) in der Betonschicht Löcher gelassen werden, durch welche die Feuchtigkeit beim Austrocknen entweichen kann, andernfalls können Druckkräfte zwischen der Ofenwandung und der Betonklinkerschicht auftreten, durch welche die Betonschicht zerstört wird. In den meisten Fällen werden wohl Radialsteine aus Klinker und Zement hergestellt, welche mit möglichst knirschenden Fugen mit etwas Schamottemörtel eingesetzt werden. Diese Klinkersteine haben den großen Vorzug der Billigkeit, da sie einer Zementfabrik eigentlich nur Lohnausgaben verursachen. Auch können sie jederzeit vom Werk hergestellt werden. Ferner kann keine schädliche chemische Beeinflussung des Brenngutes stattfinden, da beim Abschmelzen dieser Steine immer das gleiche Material in die Zementmischung hereinkommt. Es ist daher selbstverständlich, daß diese Klinkersteine sich immer größerer Beliebtheit erfreuen.

Es empfiehlt sich, besonders bei Verwendung anderer Ofenfutter, durch eine besondere Technik des Brennens einen Schutz für das Futter durch die sinternde Zementmasse selbst zu erzeugen. Wird ein neues Futter in Betrieb genommen, so ist es Aufgabe des Brenners, durch geeignete Feuerleitung die Bildung einer Schutzschicht, welche aus verschlackter, niedergeschmolzener Zementmasse besteht, auf dem Futter hervorzurufen. Diese Schutzschicht bildet das eigentlich wirksame Futter, das mit der sinternden Zementmasse unmittelbar in Berührung kommt, und hat die Aufgabe, die dahinterliegende Schamotte oder den Zementbeton sowohl vor dem Angriff der heißen Flamme als auch der sinternden Masse zu bewahren. Der Brenner muß bestrebt sein, das Feuer so zu leiten, daß diese Schutzschicht einestils niemals ganz wegbrennt, andernteils nicht nach innen so sehr anwächst, daß daraus eine wesentliche Einengung des Ofenquerschnittes entsteht; mit anderen Worten: es muß sich dauernd ein Gleichgewichtszustand erhalten zwischen Wärmeleitung zum Futter und Wärmeableitung nach außen und im Verein damit ein gewisser Zähigkeitszustand in der auf dem Futter gebildeten Schutzschicht.

Es könnte nach obigen Ausführungen vielleicht scheinen, als sei das Haftenbleiben des sinternden Klinkers am Futter und damit die Ringbildung überhaupt unvermeidlich; wenn diese Erscheinung trotzdem bei normalem Betriebe ausbleibt, so hat das seine Ursache darin, daß die im tiefsten Teil des Ofens liegende Klinkermasse fortwährend über das Ofenfutter gleitet, und daß sie infolge der Reibung, die sie auf das Futter ausübt, etwa haftenbleibende Teilchen immer wieder abstößt — wenigstens solange der Brennprozeß normal verläuft. Über die Zusammensetzung des Ansatzes geben die Analysen der untenstehenden Tabelle von Herrn Direktor Dr. *Killig-Degerham* Aufschluß

(Zement 1924, S. 233). Die Analysen zeigen, daß der unmittelbar auf dem feuerfesten Stein sitzende Ansatz 1 an CaO ärmer, dagegen an SiO₂ und Al₂O₃ + Fe₂O₃ reicher ist als der Zement. Es hat also eine Reaktion teils mit dem Schamottestein, teils mit der Kohlenasche stattgefunden. Die Analysen 2 und 3 zeigen, daß der Al₂O₃ + Fe₂O₃-Gehalt steigt, dagegen der CaO-Gehalt sinkt, sowie der Ansatz dicker wird. Er nimmt also Tonerde und Eisenoxyd nur aus der Kohlenschlacke auf, da die nach innen gelegenen Teile mit den feuerfesten Steinen ja nicht mehr in Berührung kommen.

Chemische Analysen eines Zementdrehofenansatzes.

	1	2	3
SiO ₂	28,04%	27,18%	26,04%
Al ₂ O ₃ } Fe ₂ O ₃ }	12,20%	17,10%	18,45%
CaO	55,15%	52,20%	50,35%
MgO	1,71%	2,16%	2,48%
SO ₃	0,58%	0,68%	0,38%
Glühverlust	0,78%	0,14%	—
	98,46%	99,46%	97,70%

1. Ansatz unmittelbar auf dem feuerfesten Stein.
2. } Ansatz von der Fläche, auf der der Zement
3. } gebrannt wird, d. h. innerste Kruste der dicken Ansatzschale.

Eine mikroskopische Prüfung des Ansatzes Nr. 3 an Dünnschliffen im Polarisationsmikroskop zeigte ein vom Zement abweichendes Gefüge. Infolge starker Aufnahme von Tonerde und Eisenoxyd haben sich Mellilithkristalle wie bei Hochofenstückschlacken gebildet, die zum Teil bereits die Keime des Verfalls in sich tragen. Auf Grund dieser Bilder kann man sich vorstellen, daß bei weiterer Steigerung des Kieselsäuregehaltes leicht zerrieselnde Teile im Ansatz entstehen, die überhaupt die Bildung des Ansatzes verhindern können. Es wäre dies nach *Endell* eine neue Erklärung, warum in manchen Fällen kein Ansatz entsteht. In solchen Fällen wird aber das feuerfeste Futter meist schnell zerstört.

Eine Eigenschaft, die bei der Ausfütterung von Zementöfen, besonders der Drehöfen, wohl auch eine gewisse Rolle spielt, ist das Raum- bzw. das spez. Gewicht der feuerfesten Steine. Für den ganzen Betrieb der Drehöfen, welche andere Ofensysteme an Mehrzahl überwiegen, ist es sehr wichtig, daß das Futter des Kopfes kein zu hohes Volumgewicht besitzt. Die normalen Schamottesteine haben durchschnittlich ein Volumgewicht von 1,8 bis 2; es gibt jedoch nicht selten feuerfeste Steine (z. B. Dynamidon) mit beinahe dem doppelten Volumgewicht. Gute Erfolge wurden bei Zustellungen von Zementöfen mit Steinen aus geschmolzener Tonerde, sog. *Dynamidonsteine* erzielt. Diese *Dynamidonsteine* werden aus geschmolzenem Bauxit (überwiegend Tonerdehydrat) oder künstlichem Corund mit Hilfe eines Bindetones ähnlich wie Schamottesteine hergestellt. Infolge des hohen spez. Gewichtes der geschmolzenen Tonerde (4) sind die daraus angefertigten *Dynamidonsteine* spezifisch schwerer, als alle

bekannten Schamottesteine, dagegen zeichnen sie sich durch eine hohe Widerstandsfähigkeit gegenüber kalkreichen Massen, wie sie im Zement vorliegen, aus. Bei den Versuchen von *Störmer* wurde festgestellt, daß bei diesen Steinen zwar kein schützendes Glas entsteht, aber die Beschaffenheit der Dynamidone ist eine derartige, daß der ganze Porenraum mit der Zementmasse angefüllt werden kann, ohne daß eine Masse entsteht, die bei der Temperatur zu schmelzen beginnt, bei der die Zementrohstoffe sintern.

Die aus Kieselsäure bestehenden, sog. sauren Steine (Silika, Dinas usw.) kommen für die Ausfütterung der Zementöfen gar nicht in Frage, da sie durch den reichen Kalkgehalt des Zementrohmehl sofort unter Bildung niedrig schmelzender Kalksilikate zerstört würden. Vereinzelt ist an Stelle von Silikasteinen natürlicher gesägter Crummendorfer Quarzschiefer in Zementöfen verwandt worden, welcher zu etwa 95 Proz. aus Kieselsäure besteht. Dieser Baustoff findet auch in Kalköfen viel Verwendung und soll sich auch in Zementschacht- und Drehöfen bewährt haben. Infolge der Temperaturempfindlichkeit des Quarzes ist es daher von vornherein nicht klar ersichtlich (*Endell*), daß bei den zahlreichen, mit Volumveränderungen verbundenen Zustandsänderungen des SiO_2 -Materials, mit Quarzschiefer ausgestampfte Drehöfen zufriedenstellend arbeiten. Da Klinker und Quarzschiefer bei hohen Temperaturen sehr rasch miteinander reagieren, setzt dies voraus, daß die gesägten Steine fast fugenlos gesetzt werden, infolge des Wachsens im Feuer sich dicht aufeinander pressen und möglichst schnell die Bildung einer Glasurschicht ermöglichen, auf welcher der Zement nachher gesintert wird, ohne daß der Quarzstein zerstört wird.

Zustellung mit basischem Futter, wie Magnesit oder Dolomit, müßte aus chemischen Gründen ohne weiteres angängig sein, nur ist der Preis der Magnesitsteine viel zu hoch, als daß sie in der Zementindustrie Verwendung finden könnten. Auch sind die Magnesitsteine allzu empfindlich gegen schroffen Temperaturwechsel. Sofern der billigere Dolomit Verwendung finden sollte, wird er in Form einer Masse mit Teer verarbeitet und verwendet.

Zirkonoxyd, das aus dem brasilianischen Zirkonerz gewonnen wird, zeichnet sich neben dem hohen Schmelzpunkt besonders durch große Widerstandsfähigkeit gegenüber kalkreichen Stoffen aus. Sein Preis ist jedoch noch höher, als der Preis des teureren Magnesits. Über die Verwendung des Zirkons als Zusatz zu anderen feuerfesten Massen liegen noch keine genauen Angaben vor. Über die Geeignetheit des Carborundsteins, der sich durch eine sehr hohe Wärmeleitfähigkeit (5 Mal soviel wie bei Schamotte?) auszeichnet, als Futter des Zementofens liegen widersprechende Angaben vor; auf jeden Fall scheint Carborundum gegen Einflüsse des Kalkes nicht beständig zu sein.

Die Anforderungen¹ an Schachtöfen sind andere als an Drehöfen. Bei der Verwendung im Schachtöfen soll der Stein die Fähigkeit besitzen, bei genügender Standfestigkeit unter Belastung bei hohen Temperaturen und hinreichender Dichtigkeit möglichst wenig mit der Beschickung zu reagieren. Die Steine müssen ferner scharf gebrannt sein, damit sie später nicht nachschwinden

¹ Zement 1924, S. 233.

und infolge der Fugenbildung durch den angreifenden Zementklinker nicht zerstört werden. Es kommen hierfür in Frage Schamottesteine, Dynamidonsteine, gesägte Quarzschiefersteine aus Crummendorfer Quarzschiefer und Quarzitstampfmasse. Klinkersteine sind für Schachtofen kaum im Gebrauch. Man rechnet in einem gewöhnlichen Schachtofen im Durchschnitt mit einer Lebensdauer des Futters in der Sinterzone von einem Jahr, in dem automatischen Schachtofen ein Drittel bis ein halbes Jahr. Der Einfluß der chemischen Zusammensetzung der Zementroh Mischung ist hier scheinbar nicht so groß, wie beim Drehofen. Schwierigkeiten treten in erster Linie erst beim selbsttätigen Schachtofen auf.

Für die Haltbarkeit der feuerfesten Steine im Drehofen spielt die Zusammensetzung der Roh Mischung eine bedeutende Rolle; ferner sind hier der Charakter und die Menge der Kohlenasche, die Art der Feuerführung und die Qualität der Ausmauerung (glatte Flächen, enge Fugen) von Bedeutung. Für die Ausfüttung des Drehofens kommen die gleichen feuerfesten Steine, wie beim Schachtofen und außerdem der Zementklinker selbst in Betracht.

*Endell*¹ veröffentlicht eine Tabelle über die wichtigen Eigenschaften feuerfester Materialien für den Zementofen, die ich in der Tab. 39 wiederbringe. Aus dieser Tabelle geht hervor, daß alle günstigen Eigenschaften sich bei keinem feuerfesten Material vereinigt finden. Ich verweise besonders auf die letzte Rubrik dieser Tab. 39 (S. 148).

Aus einer späteren Arbeit von *K. Endell* (Zement 1924, S. 233) entnehme ich eine weitere Tabelle (39a), die sich speziell mit der Haltbarkeit und Eigenschaften der feuerfesten Zustellung in den Drehöfen der Zementindustrie befaßt.

Im Gegensatz zu den Zementschachtofen, sowie vielen anderen industriellen Ofenanlagen spielt die Standfestigkeit der feuerfesten Steine unter Belastung bei hohen Temperaturen im Drehofen nicht eine so große Rolle, auch ist die chemische Analyse, speziell der Tonerdegehalt nicht von Belang, um so mehr, als die Tonerde, besonders bei Kalkaluminaten auch als Säure aufzutreten kann; dafür ist aber die Unempfindlichkeit gegen plötzliche Temperaturschwankungen von großer Wichtigkeit namentlich bei Unregelmäßigkeiten des Betriebes. Ganz besonders wichtig ist aber die Porosität der Steine, weil ein poröser Stein flüssige Schlacken leichter aufsaugen wird, als ein dichter.

Betrachtet man die Lebensdauer der Drehofenzustellungen im Vergleich mit den wichtigsten chemischen und physikalischen Eigenschaften der feuerfesten Steine, so sind deren Unterschiede untereinander viel geringer als die Unterschiede der Lebensdauer. Daraus schließt *Endell*, daß die Zusammensetzung der Zementrohmasse, die Möglichkeit der Schaffung eines Ansatzes sowie die Zusammensetzung und Menge der Kohlenasche von erheblich größerem Einfluß für die Länge der Ofenreisen sind als die Eigenschaften des feuerfesten Baustoffes selbst.

¹ *Endell*, Feuerfeste Materialien in der Zementindustrie. Zementverlag G. m. b. H., Charlottenburg 1919, S. 13.

Tabelle 39.
Wichtige Eigenschaften feuerfester Materialien im Zusammenhang mit ihrem Verhalten gegen Zement.

Stein-Material	Chemische Zusammensetzung					Schmelztemperatur in		Dichte		Wärmeleitfähigkeit $k = \frac{\text{cal}}{\text{cm sec } ^\circ\text{C}}$	Chemisches Verhalten gegen Zement bei 1450 °C
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	—	°C	Spez. Gew.	Vol.-Gew.		
Quarzschatotte	60 bis 75	20 bis 35	1 bis 2	Alkalien ca. 1		30 bis 34	1670 bis 1750	2,5 bis 2,6	1,8 bis 1,9	} 0,002 bis 0,003	} Widerstand gegen Angriffwächst mit steigender Dichte und Al ₂ O ₃ -Gehalt
Schatotte	50 bis 60	38 bis 47	1 bis 2	Alkalien ca. 1		32 bis 35	1710 bis 1770	2,6	1,8 bis 1,9		
Silika	95	2 bis 3	1,5 bis 2	—		33 bis 35	1730 bis 1770	2,6	3,0 bis 3,3	0,005 bis 0,007	Beständig
Magnesit	2 bis 3	1 4 bis 2 bis 6	1 83 bis 2 b. 85	—		> 42	> 2000	3,7	2,8 bis 3	0,003	Besser als Scha- motte wegen des hohen Al ₂ O ₃ -Ge- haltes
Tonerde (Dynamidon)	21	72 bis 4	—	TiO ₂ 3 bis 4		ca. 38	1880	3,5	ca. 4	0,005 bis 6	Beständig
Chromit	10	5 23	—	Cr ₂ O ₃		42	2000	3,1 bis 3,2	2,1 bis 2,3	0,015 bis 0,02	Werden zerstört
Carborund	25 bis 30	5 bis 8	—	SiC 50 bis 60		> 42	> 2000	ca. 3	1,2 bis 1,4	0,01 bis 0,015	Beständig, jedoch nur in reduzierender Atmosphäre
Kohlenstoff	10 bis 15					> 42	> 2000	ca. 3	3,2	—	Beständig
Klinkerbeton (Zement-Klinker)	15 bis 20	10 2 60 3 b. 15 bis 3 b. 65 bis 5	—	—		ca. 38	1880	3,2	2	—	Beständig

Tabelle 39 a.
Haltbarkeit und Eigenschaften der feuerfesten Zustellung der Zementdrehöfen.

Portlandzementwerk in	Verfahren	Art der feuerfesten Baustoffe	Lebensdauer nach Angabe des Werkes Monate	Schmelztemperatur in		Erweichungstempe- ratur unt. Belastung 1 kg/qcm Beginn 4%/ einge- drückt °C	Porosität in		
				Sege- kegen	°C		Vol.-%	Gew.-%	
Westfalen Thüringen Thüringen Nordseeküste Mark Brandenburg	Dickschlamm	Schamottestein (43% Al ₂ O ₃)	12—22	34	1750	1350	1480	27	15
	"	Schamottestein (43% Al ₂ O ₃)	12—18	34	1750	1180	1300	25	14
	"	Klinkerstein	8—12	37	1825	nicht bestimmt		17	8
	"	Klinkerstein	3	38	1850	1080	1220	9	4
	"	Schamottestein (43% Al ₂ O ₃)	1/2—1	34	1750	1160	1350	28	15
	"	Schamottestein (29% Al ₂ O ₃)	1/2—1	29	1650	1110	1240	29	16
Schlesien Mark Brandenburg Süddeutschland	"	Klinkerstein	1—3	38	1850	1230	1260	nicht bestimmt	nicht bestimmt
	"	Klinkerstein	1 1/2	37	1825	nicht bestimmt		21	12
	Trockenverfah.	Klinkerstein	12—18	38	1850	1230	1260	nicht bestimmt	nicht bestimmt
	"	Schamottestein (42% Al ₂ O ₃)	6—12	33	1730	1250	1370	30	17
	"	Dynamidon (70% Al ₂ O ₃) Crummendortfer Quarzschiefer gesägt (95% SiO ₂)	—	—	37	1825	1320	1510	28
—	—	—	—	35	1770	1200	1420	6	3

Die Wärmeverluste durch Strahlung erreichen bei Zementöfen, besonders bei Drehrohröfen, ganz bedeutende Werte, so daß es durchaus verständlich ist, daß Bestrebungen auftreten, die

Strahlungswärmeverluste durch eine besondere Beschaffenheit des Ofenfutters zu verringern¹. Um so interessanter erscheint ein von anderer Seite kommender Vorschlag, der im folgenden wörtlich² wiedergegeben ist. Da fast alle Ofenfutterarten im Zementofen der Zerstörung anheimfallen, „so muß Sorge getragen werden, daß sie diese Temperatur niemals erreichen, und das ist nur dadurch möglich, daß die dem Futter durch Strahlung und Leitung zufließende Wärme nach außen so schnell wieder abgelenkt wird, daß auch die inneren Schichten des Steines dauernd kälter bleiben, als die sie berührenden Flammgase. Selbstverständlich ist es mit bedeutenden Wärmeverlusten verknüpft, und diese fallen um so mehr ins Gewicht, als die Wärmeverluste beim Drehofenbetrieb ohnehin sehr

¹ Vgl. z. B. *North*, Über die Verringerung der Ausstrahlungsverluste bei Drehrohröfen. Bericht über d. 34. Hauptvers. d. Vereins deutsch. Fabr. feuerf. Prod. Berlin 1914. S. 162.

² *Kühl* und *Knothe*, Die Chemie der hydraulischen Bindemittel. Verl. S. Hirzel, Leipzig 1915. S. 217.

bedeutend sind, so daß man anfänglich daran gedacht hat, die Leitungs- und Strahlungsverluste durch Isolation einzuschränken. Die Praxis verlangt aber, aus den genannten Gründen von einer solchen Isolation abzusehen.“

Bei Drehrohröfen der Zementwerke rechnet man im allgemeinen damit, daß die feuerfeste Ausfütterung nach 9 bis 12 Monaten Betriebszeit eine Erneuerung auf einer Länge von 8 bis 10 m an der Sinterzone (Brennzone) nötig hat, während der übrige Teil der Auskleidung eine fast unbegrenzte Lebensdauer besitzt. Im allgemeinen sind die Ofenreisen kurzer Drehöfen länger, als die langer Öfen.

8. Kalkbrennerei.

Die mechanischen Einflüsse können beim Kalkofen nur darin bestehen, daß das Kalkofenfutter durch die niedergehende Gicht (Beschickung) auf Abreibung beansprucht wird; ferner übt die Gicht auf das umschließende Futter einen gewissen Druck aus. Die Gicht besteht bekanntlich aus einem Gemisch von Kalksteinen und Koks; beide weisen eine verhältnismäßig geringe mineralogische Härte auf. Kalkstein hat die Härte 3, die Härte des Kokes schwankt zwischen 3,2 und 3,6, während gut gebrannte feuerfeste Steine beinahe die Härte des Quarzes (7) erreichen. Solange also die Steine gut gebrannt sind, unterliegt der Abreibung nur das Gichtmaterial; anders ist es bei weichen (durch schlechten Brand, mangelhafte Aufbereitung, ungeeignete Bindemittel zum Zusammenhalten der Quarz- bzw. Schamottekörnern usw.) Steinen. Bei gewöhnlichen Temperaturen ist der Stein gegen die Abreibung am widerstandsfähigsten, der sich beim Reiben zweier Stücke gegeneinander am wenigsten abnutzt. In der Hitze liegen jedoch die Verhältnisse anders. In noch stärkerem Maße wird das Ofenfutter im Drehrohröfen durch die schleifende Wirkung des Brenngutes beansprucht.

Die Druckbelastung durch die Gicht ist nach *Block* von geringem Einfluß auf das Futter. Für 1 m Ofenhöhe beträgt diese im ungünstigsten Falle 0,2 kg/qcm Druckfläche, also bei einem hohen Ofen von 15 m immer nur erst 3 kg/qcm. In Wirklichkeit ist dieser Druck geringer und ist deshalb belanglos.

Die chemischen Einflüsse auf das Kalkofenfutter bestehen in der Einwirkung der Gichtstoffe, sowie deren Reaktionsbestandteile. Der stark basische Ätzkalk bildet mit der Kieselsäure leichtflüssige Kalksilikate; aus diesem Grunde sollte man eigentlich für das Ofenfutter vornehmlich basisches Material verwenden.

Die Aufnahme von Kalk vom feuerfesten Material muß verhindert werden, weil dadurch der Schmelzpunkt der Auskleidungsmasse ganz bedeutend sinkt. Die Auskleidung und der Kalk treten in gegenseitige Wirkung. „Anorthit = $2 \text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{CaO}$ schmilzt bei 1460° und Humboldttilit = $2 \text{SiO}_2, \text{Al}_2\text{O}_3, 3 \text{CaO}$ schmilzt schon bei 1280° . Es bilden sich an der Innenwand die Mischungen und durch die damit verbundene Schmelzpunktniedrigung wird die Oberschicht weniger widerstandsfähig, wird abgeschabt, frische Schichten werden bloßgelegt, so langsam, schichtweise den ganzen Stein zerstörend“ (*Block*).

Saillard, Wehrung und *Ruby*¹ fanden in der äußeren angeschmolzenen Schicht eines schon im Kalkofen gebrannten Steines eine Zunahme des CaO-Gehaltes von 0,5 auf 12,1 Proz., was einer Schmelzpunkterniedrigung um ca. 200° C entspricht.

Dem Charakter und der Zusammensetzung der nach dem Verbrennen des Kokes zurückbleibenden Asche muß Rechnung getragen werden, weil dieselbe ebenfalls die Bildung leicht schmelzender Verbindungen begünstigen kann. Kohlenoxyd erzeugt infolge seiner reduzierenden Wirkung leichtflüssige Schlacken. Nach *Lürmann* (Stahl und Eisen 1898, S. 168) wirken die aus dem Schwefelkies in dem feuerfesten Mauerwerk entstandenen Eisenoxydteilchen katalytisch auf das Kohlenoxyd. Die Zerlegung erfolgt nach der Formel $2\text{CO} = \text{C} + \text{CO}_2$. Der freiwerdende C reichert sich in den Steinporen an und bringt die Steine zum Bersten oder Abblättern. Das abbröckelnde Stück ist mit einem schwarzen Pulver umgeben. Die katalytische Reaktion soll an Temperaturen zwischen 300 bis 400° gebunden sein, kann also in der Hauptsache nur in der Vorwärmzone und in der äußeren, kälteren Schamotteschicht in Erscheinung treten. Auch hier macht sich das Kohlenoxyd unangenehm bemerkbar, und ist aus diesen Gründen schon zu vermeiden.

Die chemische Einwirkung ist außerordentlich von der Temperaturhöhe abhängig. Die in den einzelnen Zonen des Kalkofens herrschenden Temperaturen sind verschieden. In der Fig. 29 sind die ungefähren Temperaturen des Ofenfutters, sowie der aufsteigenden Luft bei einem zylindrischen Kalkofen eingezeichnet. Man darf jedoch nicht übersehen, daß sie zuweilen noch höhersteigen können. In der Brennzone des Kalkofens sind auch Höchsttemperaturen von 1350° gemessen worden, aber auch diese Temperaturen können unter Umständen überschritten werden, so daß es ratsam erscheint, Steine zu verwenden, die auch einer Temperatur von 1500° C widerstehen.

Eine gute Wärmeleitfähigkeit wird vom Kalkofenstein nicht verlangt; im Gegenteil sie ist sogar nicht erwünscht. Beim Koksofen, Gasofen usw. wird eine schnelle Übertragung der Wärme an das Destillationsgut angestrebt. Im Kalkofen wird dagegen durch gute Wärmeleitung nur die Wärme aus dem Innern des Schachtes nach außenhin verloren gehen. Da aber im allgemeinen diejenigen Steine gute Wärmeleiter sind, welche dicht sind, und dichte Steine besser anderen oben besprochenen Einflüssen widerstehen, so wird die gute Wärmeleitung durch entsprechende Isolierung ausgemerzt.

*Richter*² maß die in den Kalköfen der Zuckerindustrie zur Verwendung gelangenden Steine vor und nach der Erhitzung auf 1400° und wieder erfolgter Abkühlung und stellte in verschiedenen Steinen Schwindungen von 0 bis 7,77 Proz. fest. Inwiefern ein guter Brand für vermindertes Nachschwinden (bzw. Nachwachsen) der eingemauerten Steine speziell im Kalkofen von Wich-

¹ Suppl. à la Circulaire hebdomadaire du Syndicat des Fabricants des Sucre de France Nr. 1267 vom 6. Juli 1913; Ztschr. d. Vereins d. deutsch. Zuckerindustrie Bd. 63 (1913), Heft 694.

² Ztschr. d. Vereins d. deutsch. Zuckerindustrie Bd. 63 (1913), S. 963 bis 987.

tigkeit ist, zeigt das folgende dem Werke: *Block*, Das Kalkbrennen im Schachtofen mit Mischfeuerung. Verlag O. Spamer, Leipzig 1917, S. 106 entnommene Beispiel. Mauert man einen schlecht vorgebrannten Stein im Kalkofen ein und schwindet er um 5 Proz., so vergrößert sich die vorher enge, „messerrechte“ Fuge eines 200 mm breiten Steines um 10 mm. Dabei ist zu

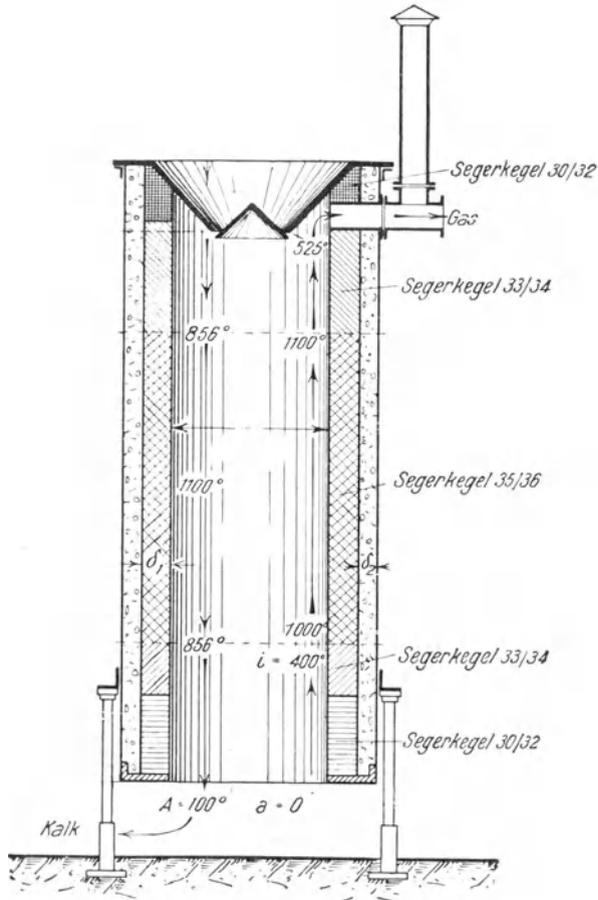


Fig. 29. Temperaturen im Kalkbrennofen.

beachten, daß nach außen hin der Stein weniger erhitzt wird, also weniger schwindet und die Fuge sich nicht durchgehend gleichmäßig bildet.

Beispiel.

Die äußere Temperatur t_2 der Auskleidung kann nach den bekannten Formeln berechnet werden. Danach ist die durch die Ofenwand gehende Wärmemenge für 1 qm innere Ofenoberfläche F_1 und 1° Temperaturunterschied

etwa 0,98 oder rund 0,1 WE, also bei einer Kalkbrenntemperatur $B = 1400^\circ$ etwa 1400 WE. Diese eintretende Wärmemenge wird in der Schamottewand weitergeführt durch die Wärmeleitzahl λ_1 , die hier mit 0,65 angenommen ist. Die eintretende Wärmemenge muß gleich der von der Steindicke δ_1 bis an die Außenwand der Ausmauerung geleiteten sein. Es ergibt sich die Beziehung:

$$F_1 \cdot 1,0 \cdot B = \frac{0,65}{F_2 \cdot \delta_1} (B - t_2).$$

Daraus die Temperatur t_2 der Schamotteaußenfläche F_2 :

$$t_2 = B - \frac{F_1 \cdot 1,0 \cdot B \cdot \delta_1 \cdot F_2}{\lambda_1}$$

und darin eingesetzt, die angewendete Temperatur $B = 1400^\circ$, die Schamottestärke mit 0,25 m, die Fläche $F_2 = 1,23$ qm und $\lambda_1 = 0,65$ gibt:

$$t_2 = 1400 - \frac{1400 \cdot 0,25 \cdot 1,23}{0,65} = 1400 - 660 = 740^\circ.$$

Bei diesen 740° wird nur geringe Schwindung eintreten, denn nach Richters Versuchen betrug sie schon bei 1250° nur noch $\frac{1}{3}$ der bei 1400° festgestellten. Ein solches Mauerwerk liegt deshalb außen an und klappt innen 10 mm, wie dies die Fig. 30 zeigt. Der ganze Verband ist gelockert. Während bei geschlossenem Mauerwerk nur die Stirnflächen dem Feuer ausgesetzt sind, sind es jetzt noch die vier Seitenflächen, viermal größere Fläche, viermal stärkere Angriffe. Dies zeigt deutlich die Wichtigkeit der Verwendung gut gebrannter Steine und deren Prüfung durch Messung des Schwindens.

Die Gasdichtigkeit ist für den Kalkofen ohne Belang, weil derselbe ja sowieso mit einem eisernen Mantel umgeben ist. Insofern jedoch ein gasdichter Stein das Eindringen von Gasen und chemischen Agenzien erschwert, ist er von Vorteil. Dasselbe gilt auch für die Porosität der Steine.

Während im allgemeinen für den Kalkofen basische Futter verwendet werden, haben sich auch Quarzschiefer (aus den Vereinigten Crummersdorfer Brüchen in Schlesien) in belgischen, Generator- und Gogoliner Kalköfen bewährt. Reinbold (Tonindustrie-Ztg. 1916, S. 778) erwähnt einen Schachtofen, den er in Rumänien sah, der unmittelbar in die anstehende Kalksteinwand des Berges eingehauen war, ohne Ziegelmauerwerk. Die Ausfütterung bestand aus Quarzschieferstücken, die ein vorbeifließender Wildbach mitführte.

Die mineralogische Härte der Quarzschiefer liegt zwischen $6\frac{1}{2}$ und 7. Sie werden deshalb von dem viel weicheren, niedergehenden Kalk wenig mechanisch angegriffen, sind aber auch außerordentlich schwer zu bearbeiten. Platten werden in Tagebau durch Loslösen mittels Keil und Pulver gewonnen und von Hand mit Spitzseisen und scharfen Hämmern in die gewünschten Größen

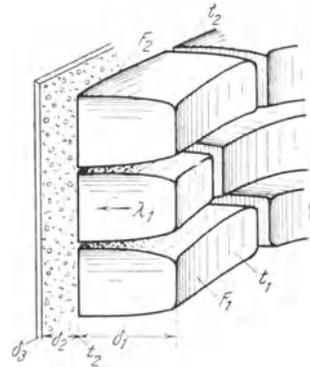


Fig. 30. Gelockertes Mauerwerk bei stark geschwundenen Steinen.

gebracht. Infolge der geschichteten Lagerung ist die Höhe der Steine sehr gleichmäßig, aber die Stirn- und Seitenflächen bleiben uneben, unscharf. Das aus solchen Steinen zusammengesetzte Mauerwerk zeigt noch ziemliche Fugen. Je dichter die Lagerung, je besser die Haltbarkeit der Ausmauerung. Diese wird erreicht durch Verwendung von mittels Diamantsägen gesägten und somit genau wagerechten, scharfkantigen Steinen.

In der Vorwärme- und Abkühlungszone verwendet man aber stets Schamottesteine, so daß man die Kalköfen, sofern die Verwendung von Quarzschiefer in Frage kommt, nur in der Brennzone mit letzteren auskleidet, um nicht zu sehr den Preis des Ofens zu erhöhen. An den Berührungsstellen, wo der saure Quarzschiefer mit der basischen Schamotte zusammentrifft, werden bei hohen Temperaturen chemische Einwirkungen entstehen, die die Steine an den Grenzstellen zerfressen. Um diesen Übelstand zu mildern, geht man mit der Quarzschieferschicht nach oben noch über die Brennzone hinaus, wo die heißen Gase aufsteigen. Eine Gefahr besteht aber durch die Verwendung dieser verschiedenen Auskleidungen immer. Die Tatsache, daß die an und für sich hochfeuerfesten Quarzschiefer (Seegerkegel 34 bis 35, also 1750 bis 1770° C) den Einwirkungen des basischen Ätzkalkes widerstehen, läßt sich vielleicht auf die gleichzeitige Anwesenheit der mit dem Ätzkalk im physikalischen Gleichgewicht befindlichen Kohlensäure zurückführen; außerdem überzieht sich nach kurzer Betriebszeit das Quarzschiefermauerwerk mit einer porzellanartigen Sinterung, die außerordentlich widerstandsfähig ist.

9. Keramische Brennöfen.

An das feuerfeste Mauerwerk der Brennöfen der keramischen und Ziegeleiindustrie werden keine besonders komplizierten Anforderungen gestellt. Die Feuerfestigkeit spielt hier die Hauptrolle. Da die kiesel säure-reichen Steine starken Temperaturwechsel weniger gut vertragen, können sie infolgedessen zum Bau von diskontinuierlich arbeitenden keramischen Brennöfen, wo jede Kammer nach dem Brennen ganz abgekühlt, geleert, mit frischem Brenngut beschickt und wieder hoch erhitzt wird, nicht verwendet werden. In der Regel werden hier tonerereiche Steine verwendet, und zwar weil sie bei geeignetem Versatz mit Schamotte von richtiger Korngröße gegen Temperaturwechsel unempfindlich bleiben.

Gute Schamottesteine erfüllen in den keramischen Brennöfen vollständig ihren Zweck, weil die Temperaturen in diesen Öfen verhältnismäßig nicht hoch sind. Beim Porzellanbrennofen sind sie am höchsten und erreichen hier auch nur etwa 1400° C. Aus der unten folgenden Aufstellung sieht man, welche Temperaturen in den einzelnen keramischen Brennöfen erreicht werden.

Ziegelbrand	900 bis 1000° C
Steingutbrand }	1150 „ 1300° C
Steinzeugbrand }	
Porzellanbrand	1300 „ 1400° C
Schamottebrand	1280 „ 1350° C
Silikabrand	1480° C

Man verwendet z. B. für Porzellanöfen Schamottmaterial von Segerkegel 32; besonders werden die Austrittsöffnungen (Feuerschlitz) zwischen Feuerung und Glattbrandofen sehr stark beansprucht. Das Gewölbe für den letzteren wird in absolut volumenbeständigen Steinen mit Schmelzpunkt Segerkegel 30 in gutem Verbande hergestellt. Für die obere Kammer können geringere Qualitäten, Segerkegel 28, genommen werden.

Die Steine zum Bau der keramischen Brennöfen müssen die Wärme schlecht leiten, damit das Entweichen der im Innern des Ofens entwickelten Hitze vermieden wird. Was ihre Feuerfestigkeit betrifft, so müssen die Steine eine höhere Feuerfestigkeit aufweisen als diejenige der Erzeugnisse, welche in dem Ofen gebrannt werden sollen.

Eine bekannte Erscheinung aus der Fabrikation von Kanalisationsröhren aus Steinzeug bildet das „Salzen“ des Brenngutes, wodurch die Röhren sich mit einer Glasur überziehen. Die Glasur entsteht dadurch, daß das Kochsalz unter der Einwirkung der hohen Temperatur und unter Mitwirkung des in den Rauchgasen enthaltenen Wasserdampfes sich in Natron und Salzsäure zersetzt. Das Natron bildet dann mit der SiO_2 des Tonrohres eine Glasur. Der gleiche Vorgang vollzieht sich auch bei den Ziegeln des Mauerwerksfutters des betreffenden keramischen Brennofens, die als unvermeidliches Übel mit in Kauf genommen wird. Jeder neue Brand bringt auch der Ofeninnenwand eine neue Glasurschicht, die sich durch Ineinanderschmelzen mit der vorausgehenden innig vereinigt. Die Glasurschicht am Gewölbe und an den Ofenwandungen wird im Laufe der Zeit immer stärker, mitunter so stark, daß die Glasur in Tropfenform vom Gewölbe herabhängt oder als Tränen an der Ofenwand herunterläuft. Ja es kommt sogar vor, daß bei Steinzeugbrand durch Abtropfen vom Gewölbe nicht selten Fehlstücke entstehen (Tonindustrie-Ztg. 1920, Nr. 132). Diese Glasurschicht bildet, wenn sie gut geflossen ist, einen nahezu luftundurchlässigen Überzug, welcher verhindert, daß Luft in den Brennraum gesaugt werden kann. Dieser Umstand ist für den Kohlenverbrauch des Ofens von wesentlicher Bedeutung.

Etwas schwieriger sind dagegen die Verhältnisse bei den Kapseln und Muffeln, die einen notwendigen Bestandteil der Brennöfen der Porzellan-, Steingut- und Emailierindustrie bilden. Wir wollen deshalb im folgenden uns mit Kapseln und Muffeln befassen.

Kapseln sind runde, ovale oder rechteckige schachtelartige, oben offene Gefäße, in die keramische Erzeugnisse (Steingut, Porzellan), die gebrannt werden sollen, eingesetzt werden, um letztere im Brennofen vor der Einwirkung der Feuergase oder Flugasche zu schützen. Die Kapseln nehmen die Hitze der Feuergase auf und strahlen sie an das in ihnen befindliche Brenngut aus. Sie werden aufeinandergesetzt und bilden dadurch im Ofen eine Säule, den sog. Kapselstoß. Die Kapseln werden von den Betrieben, die solche Gefäße als Hilfsmittel zum Einsetzen ihrer Ware gebrauchen, selbst hergestellt. Alte, aus den Betrieben ausrangierte Kapseln finden in feuerfesten Fabriken Verwendung als Schamottezusatz zu feuerfesten Steinen.

Die Anforderungen¹ an Kapseln richten sich nach der Art des Brenngutes und der Höhe der Brenntemperatur. Wenn auch nicht immer die Kapselmasse unbedingt feuerfest sein muß, so wählt man doch fast stets eine solche, um auf alle Fälle, z. B. bei einem ausnahmsweise scharfen Brande oder dem Auftreten von Stichflammen, das Brenngut zu schützen; für das Brennen von Porzellan ist die Benutzung von gut feuerfesten Kapseln unerlässlich. Das wichtigste Erfordernis für Kapseln ist, daß sie im Feuer nicht schwinden und häufigem Temperaturwechsel widerstehen, ohne sich zu verbiegen oder zu zerspringen, damit man dieselben Kapseln möglichst oft gebrauchen kann und die Herstellungskosten der darin gebrannten Erzeugnisse durch einen großen Kapselverbrauch nicht unnötig erhöht werden. Da sie ferner, besonders die untersten, das Gewicht des auf ihnen lastenden Kapselstoßes zu tragen haben, so müssen sie mechanisch fest sein. Sie dürfen im Feuer abspringende oder gar abschmelzende Bestandteile (Schwefelkies, Gips usw.) nicht enthalten, weil dadurch das eingefügte Brenngut beschädigt würde. Sodann sollen sie möglichst homogen und an allen Stellen gleichmäßig dicht sein, damit ein verschiedenartiges Ausdehnen und Zusammenziehen des Scherbens beim Brennen vermieden wird, wodurch Beschädigungen der Kapseln (Risse usw.) eintreten. Ferner müssen sie eine glatte und für die meisten Zwecke auch eine gerade Gebrauchsfläche besitzen, was besonders für Schalen- und Tellerkapseln von größter Bedeutung ist. Die Wandstärke der Kapseln richtet sich nach den Eigenschaften der Kapselmasse, dem Gewicht des Brenngutes und der Temperatur, welcher sie ausgesetzt werden. Bei einer guten Masse genügt im allgemeinen eine Wandstärke von etwa 1,5 bis 2,5 cm. Naturgemäß verdienen die dünnwandigen Kapseln den Vorzug, weil, abgesehen von dem geringen Verbrauch an Schamottemasse, die Wärme schneller auf das Brenngut übertragen wird unter gleichzeitiger Verringerung des Raumes, den die Kapseln im Ofen einnehmen. Denjenigen Kapseln, welche der unmittelbaren Wirkung der Stichflamme in den sog. Feuerstößen ausgesetzt sind, oder auch den untersten Kapseln des Stoßes pflegt man bisweilen eine größere Wandstärke, bis zu etwa 4 cm, zu geben, doch lassen sich bei einer guten Masse auch Kapseln von gewöhnlicher Wandstärke verwenden, jedoch nur solche, welche noch nicht zum Brennen gedient haben.

Die Kapseln werden fast durchweg aus Schamotteversätzen hergestellt, Leider sind der Verwendung von Silika material zur Kapselherstellung sehr enge Grenzen gesetzt, da besonders das Verhalten von Silikakapseln gegenüber scharfem Temperaturwechsel, eine Eigenschaft, die als die wichtigste brauchbarer Kapseln zu bezeichnen ist, nicht sehr günstig ist.

*Hornung*² untersuchte nun, welchen Einfluß die Einführung von Quarzit und Feuerstein auf Kapselmassen auch in bezug auf die Standfestigkeit bei hohen Temperaturen und die Widerstandsfähigkeit gegen Erhitzen und Abkühlen hat. Massen mit erheblichen Mengen Feuerstein zeigten nach der

¹ *Kerl*, Handbuch der gesamten Tonwarenindustrie. Verl. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1907. S. 933.

² *Journ. Am. Cer. Soc.* Bd. III (1920), S. 68 bis 76.

Prüfung auf Beständigkeit gegen schroffen Temperaturwechsel starke Risse. Das ist deshalb nicht weiter verwunderlich, weil ja bekanntlich der Quarz und seine Modifikation Cristoballit beim Erhitzen und Abkühlen eine Reihe allotroper Umwandlungen erleiden. Auch ein höherer Gehalt an Quarzit wirkt für die Kapselherstellung nicht günstig. *Hornung* versuchte sodann Kapselmassen mit kieselsäurereicher Schamotte, in der der Feuerstein bzw. Quarzit in vorgebranntem Zustande eingeführt wurde. Hiermit hatte er mehr Erfolg. Die Ergebnisse seiner Versuche faßte er folgendermaßen zusammen:

1. Die Verwendung von Feuerstein ist günstiger als die von Quarzit.
2. Fein gemahlenes kieselsäurereiches Material ist zweckmäßiger als gröberes.
3. Das vorherige Brennen von Feuerstein oder Quarzit liefert Kapseln, die das Erhitzen und Abkühlen gut vertragen.
4. Die Einführung von gebranntem Schiefertone ist von gutem Einfluß auf die allgemeinen Eigenschaften kieselsäurereicher, feuerfester Erzeugnisse und wirken ihrer Neigung zum Absplittern entgegen.
5. Ein neutrales Verhalten, d. h. weder Schwindung noch Ausdehnung beim Brennen, erfordert die Einführung von 60 bis 65 Proz. rohem Feuerstein oder Quarzit.
6. Kieselsäurereiche Rohstoffe lassen sich für Kapsel- und ähnliche Massen gut verwenden, besonders bei Zusatz von Feuerstein. Die Erzeugnisse vereinigen in sich eine ausgezeichnete Widerstandsfähigkeit gegen Belastung und Volumbeständigkeit mit gutem Verhalten beim Erhitzen und Abkühlen. Eine Masse aus 50 Proz. Rohton (Bindeton und Kaolin), 20 Proz. gebranntem Schiefertone und 30 Proz. Feuerstein, roh oder gebrannt, durch das 40-Maschensieb hindurchgehend, kann empfohlen werden. Für besondere Zwecke muß die Zusatzmenge von freier Kieselsäure ermittelt werden.

Howe und *Sheppard*¹ bestätigen die Ergebnisse der Arbeit von *Hornung*.

Die mechanische Festigkeit im kalten Zustande untersuchte *Barringer*². Er stellte fest, daß Kapselmassen, die in der Kälte die größte Druckfestigkeit haben, auch die größte bei Segerkegel 11 besitzen, wenn die Masse nicht erhebliche Mengen Ton enthält, der unterhalb der Temperatur sinternd schmilzt, bis zu der die Kapseln beim Gebrauch erhitzt werden. Nach späteren Untersuchungen von *Bleininger* und *Brown* hat sich dagegen gezeigt, daß zwischen Druckfestigkeit von feuerfesten Materialien in kaltem und heißem Zustande keine regelmäßigen Beziehungen bestehen, was auch in den Versuchen von *Linbarger* und *Geiger*³ eine Bestätigung fand.

*Kirkpatrick*⁴ hat den Einfluß des wiederholten Brennens auf die mechanische Festigkeit von Kapselmassen geprüft. Er fand, daß die Festigkeit aller Mischungen bei der ersten Bränden zunimmt, während vom 3. Brand ab die Festigkeit abgenommen hat, und zwar bei den Bränden 7 bis 10 schneller als bei den Bränden 4 bis 7.

Linbarger und *Geiger*⁵ fanden, daß der Bruchmodul von Kapselmassen bei etwa 1300° C direkt proportional der Lebensdauer der Kapseln ist. Sie meinen,

¹ Journ. Am. Cer. Soc. Bd. IV (1921), S. 206 bis 212. Nach Ber. d. Deutsch. Ker. Ges. Bd. 2, S. 142 ff.

² Transact. of the Amer. Ceramic Society 1905 (VII), S. 201.

³ Transact. of the Ceramic Society 1920 (III), S. 543.

⁴ Transact. of the Ceramic Society 1916 (XVIII), S. 545.

⁵ Journ. Am. Cer. Soc. 1920, Nr. 7, S. 543 bis 555.

daß nicht das Erweichen bei höheren Temperaturen die Hauptsache für die Beurteilung der Güte von Kapselmassen ist, als vielmehr das Nachlassen der mechanischen Festigkeit in hohen Temperaturen. Der Vorzug der Prüfung der Bruchfestigkeit in hohen Temperaturen besteht in der Unterscheidung zwischen dem Versagen der Kapsel wegen Erweichung und dem wegen geringer Festigkeit; denn im ersten Falle biegt sich der Probekörper vor dem Bruche durch, und im zweiten wird er ohne Deformation zerstört.

*Schory*¹ glaubte, festgestellt zu haben, daß in der Praxis bewährte, auf Segerkegel 11 gebrannte Kapselmassen nach 3stündigem Kochen im Wasser Gewichtszunahmen von 2,5 bis 4 Proz. zeigten. Schlechte Kapselmassen zeigten höhere oder niedrigere Werte. Auf diese Erkenntnis baute er ein Verfahren auf, Kapselmischungen auf ihre Güte zu prüfen. Wenn man z. B. einen neuen Ton einführen will, wird er entweder mit Rohkaolin oder sinterndem Ton so lange probeweise gemischt, bis die Wasserabsorption der gebrannten Mischung etwa 3,5 Proz. beträgt. Mit diesem Bindemittel wird dann die Schamotte eingebunden. Gegen den Einwand, daß auch mindersortige Kapselmassen dieselbe Wasseraufnahmefähigkeit besitzen können wie gute Kapseln, führt *Schory* an: Besteht der Bindeton aus einem Gemenge dicht brennenden und nicht dicht brennenden Tones, so wird es sicher nur wenig Versätze geben, die bessere Kapseln liefern als diejenigen, die eine viel kleinere oder viel größere Menge von sinterndem Ton enthalten. Deshalb kann der Sinterungsgrad der besten Massen durch die Wasseraufnahme festgestellt werden.

Bezüglich der Verwendung anderer, als Schamotte und Silika, Massen für Kapseln berichtet *Steger*² folgendes: Magnesit kommt für Kapseln nicht in Frage, da es schroffen Temperaturwechsel nicht verträgt. Außerdem lassen sich Magnesitkapseln nur auf maschinellem Wege herstellen, da zum Pressen derselben ein sehr starker Druck notwendig ist. Ein weiteres Material, das in der Technik versucht worden ist, ist der aus Bauxit geschmolzene künstliche Korund, der zwecks Verformung mit Ton gemischt wird. Dieses Material läßt schon einige Hoffnung auf Anwendung aufkommen, da die vorzügliche Wärmeleitfähigkeit des Korunds sehr günstig auf die Widerstandsfähigkeit gegen den thermischen Widerstandskoeffizienten ist. Diesbezüglich vorgenommene Versuche in der *Chemisch-technischen Versuchsanstalt* Charlottenburg sind noch nicht beendet. Ein Material, das wegen seiner guten Wärmeleitfähigkeit sich wahrscheinlich ausgezeichnet für Kapseln eignen wird, ist Carborund. Auch hierüber sind die Versuche noch nicht abgeschlossen. In der Literatur findet man manchmal vorgeschlagen, Zirkonmaterial den Kapselmassen beizumengen. Nach amerikanischen Veröffentlichungen soll die Beimengung von Zirkon einen günstigen Einfluß ausüben. Die Anwendung von Zirkon scheidet jedoch wegen zu hoher Preise aus.

Man unterscheidet zwischen handgeformten und maschinengepreßten Kapseln. Über die Zweckmäßigkeit der Anwendung von Kapsel-

¹ Journ. Am. Cer. Soc. Bd. II (1919), S. 747.

² Kapselmassen und ihre Prüfung. Berichte d. Deutsch. Keram. Gesellsch. Bd. 2 (1921), S. 142 bis 153.

pressen gehen die Ansichten noch weit auseinander¹, und von manchen wird überhaupt bestritten, daß Preßkapseln Vorzüge besitzen. Man ist jedoch im allgemeinen darüber einig, daß die gepreßten Kapseln für die Steingutindustrie Vorzüge besitzen, während ihrer Verwendbarkeit in den höheren Temperaturen des Porzellangarbrandes viele entschieden feindlich gegenüberstehen. Für flache Kapseln (für Teller und Schalen) wird das Pressen auch in der Porzellanfabrikation meist als vorteilhaft angesehen, dagegen sind in bezug auf Hohlkapseln die Meinungen geteilt. Andererseits ist festgestellt worden, daß gepreßte und gedrehte Kapseln von derselben Form und in verschiedenen Größen, welche unter den gleichen Bedingungen und an der gleichen Stelle in Porzellan-glüh- und- glattöfen eingesetzt wurden, nicht den geringsten Unterschied in bezug auf ihre Güte aufwiesen. Da die Kapselmasse beim Pressen durch den Druck gezwängt und geschoben wird, so kommt es allerdings vor, daß sich die Masse entmischt, d. h. daß an gewissen Stellen mehr Schamotte vorhanden ist als an anderen. In diesem Falle äußert sich die ungleiche Schwindung mit allen ihren Nachteilen, die dem Feuer zugekehrten Seiten der Kapselstöße neigen sich, und die Böden reißen. Dazu kommt, daß die gepreßten Kapseln einen dichteren Scherben besitzen, also weniger porös sind. Sie können infolgedessen zwar dünner im Scherben gehalten werden, erfordern jedoch beim Trocknen eine größere Sorgfalt und Aufmerksamkeit wenn nicht Risse auftreten sollen, denn oft erscheinen Preßkapseln trocken, sind aber tatsächlich im Kern noch feucht. Wenn nun auch die Risse die Kapseln nicht durchaus unbrauchbar machen, so beeinträchtigen sie doch deren Standfestigkeit, zumal im Porzellanfeuer. Jedenfalls ist die Wahl des Massenversatzes bei Preßkapseln von größerer Wichtigkeit, als bei den gedrehten und beeinflußt auch wesentlich die Leistungen der Presse. Der Vorteil der Kapselpressen liegt jedoch zunächst darin, daß man von den Kapseldrehern unabhängig ist. Ferner kann die zum Pressen benutzte Masse magerer sein, der zu verwendende Kapselton verträgt daher bedeutend mehr Schamottezusatz, und dadurch ist wiederum eine größere Haltbarkeit der Kapseln bedingt. Die Preßkapseln zeichnen sich außerdem von den auf andere Weise hergestellten durch große Gleichmäßigkeit und eine glatte und gerade Gebrauchsfläche aus, denn es werden alle bei der Handarbeit und durch die Abnutzung der Gipsformen usw. vorkommenden Ungenauigkeiten vermieden. Der Hauptvorteil der Kapselpressen ist aber ihre bedeutende Leistungsfähigkeit, wodurch sich die Kapseln, besonders in größeren Betrieben, welche die Presse voll ausnutzen, bedeutend billiger herstellen lassen.

Muffeln für keramische Brenn- und Einschmelzöfen sind kastenartige Behälter mit rechteckigem Grundriß und Querschnitt und flach- oder halbbogenförmig gewölbter Decke. Die vordere, offene Seite der Muffel wird mit einer Vorsetzplatte verschlossen, die meist mit einem Schauloch versehen ist; bei größeren Muffeln befindet sich zuweilen auch in der Decke eine Öffnung, die ebenfalls zur Beobachtung des Muffelinnern oder auch als Abzug für in

¹ Spr. 1899, S. 1421; 1901, S. 373; 1902, S. 119, 361.

der Muffel entstehende Dämpfe dient, wie sie z. B. beim Einbrennen von Farben entstehen können. Die Muffeln werden, ebenso wie die Kapseln, dazu verwendet, die zu glühenden Erzeugnisse von der unmittelbaren Berührung mit den Feuergasen und vor Beeinträchtigung durch Flugasche zu schützen. Sie dienen daher in der keramischen Industrie und in Emaillierwerken hauptsächlich zum Einbrennen von Farben, zum Aufschmelzen von Farbflüssen, Emaille, Rost usw. Auch die Metallindustrie und die Glasindustrie und viele andere Industrien und Gewerbe haben Bedarf an Muffeln.

Je nach ihrem Verwendungszweck werden die Muffeln in kleinen und großen Abmessungen angefertigt, und zwar im ersten Fall in einem Stück, im zweiten Fall in mehreren Teilen. Die Muffeln werden zum Gebrauch in den Muffelraum eines Muffelofens eingesetzt und hier von den Feuergasen des Ofens umspült, so daß die erzeugte Wärme durch die Muffelwände dem Innenraum der Muffel mitgeteilt wird.

Die Anforderungen, die an Muffeln zu stellen sind, sind hauptsächlich: Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel, mechanische Festigkeit und gute Wärmeleitfähigkeit. Um die Wärmeübertragung nicht allzusehr zu hemmen, dürfen die Muffelwände nicht zu dick hergestellt werden. Bezüglich der Feuerfestigkeit werden an Muffeln im Durchschnitt keine besonders hohen Anforderungen gestellt, so daß Rohstoffe mit üblicher Feuerfestigkeitsgrenze im allgemeinen genügen, es sei denn, daß die Muffeln für besondere Zwecke höheren Temperaturen ausgesetzt werden (*Bischof*, Feuerfeste Tone. 4. Aufl.).

In der Emailleindustrie¹ verwendet man drei Arten von Öfen: Schmelzöfen zum Vorschmelzen der Emaillemasse, Muffelöfen zum Einbrennen der Emaille auf die Eisengegenstände und Glühöfen zum Ausglühen der Ware. Die Schmelzöfen benötigen die größte Hitze; ihre Arbeitstemperatur bewegt sich um 1400° C. Die Muffelöfen weisen zwar in der Muffel selbst wohl kaum mehr als 1000° C auf, doch liegt die Temperatur, die das Material in diesen Öfen auszuhalten hat, nicht viel tiefer als bei den Schmelzöfen. Auf der Außenseite der Muffel erreicht die Temperatur in den meisten Fällen ca. 1350° C. Bei den Glühöfen darf die Temperatur nicht so hoch sein. Entsprechend der Differenz in den Arbeitstemperaturen zeigen auch die oben erwähnten Arten von Ofenanlagen verschieden lange Lebensdauer. Der Schmelzofen weist eine bedeutend kürzere Lebensdauer auf als der Muffelofen, hingegen kann der Glühofen fast Jahre hindurch ohne Reparatur seine Schuldigkeit tun. Ein Muffelofen hat seine empfindliche Stelle in der Muffel und in der Feuerung. Die Lebensdauer einer Muffel kann jedoch immerhin ein Jahr betragen.

Die zerstörenden Kräfte bei diesen Öfen sind die dauernde Hitze und Einwirkungen chemischer Natur. Der Schamotteziegel hat vielfach dem Silikastein Platz machen müssen, nachdem seine höhere Feuerfestigkeit in den Kreisen der Emailleindustrie immer mehr bekannt wurde. Auf die Widerstandsfähigkeit des Ofenmaterials gegen chemische Einflüsse hatte man aber sehr

¹ Vgl. eine diesbezügliche Mitteilung von *L. Vielhaber*, die demnächst in der Zeitschrift „Feuerfest“ veröffentlicht wird.

wenig Rücksicht genommen, und so kommt es, daß man oft auch mit Silikamaterial nicht immer zufrieden war und noch feuerfesteres verlangte. Am meisten trat diese ungenügende Haltbarkeit des Materials bei den Schmelzöfen in Erscheinung, weniger bei den Muffelöfen. Während des eigentlichen Schmelzprozesses kommt es in der Hauptsache auf die Wirkung der Alkalien an. Ebenso gut wie die Alkalien den Quarz und den Feldspat auflösen, wirken sie auch auf das feuerfeste Material auflösend ein. Alle Emailen enthalten 40 bis 50 Proz. Quarz und Feldspat und 50 bis 60 Proz. Alkalien. Diese Mischungen ergeben immer Flüsse, die bei 700 bis 900° C schmelzen. Ein Material, welches also gegen die Flußwirkung der Alkalien vollkommen widerstandsfähig ist, kann man unter den bis jetzt bekannten feuerfesten Fabrikaten nicht finden. Es kann sich nur darum handeln, eine solche Zusammensetzung ausfindig zu machen, die den Angriffen der Alkalien am meisten Widerstand zu leisten vermag. Weder reiner Quarz noch reines Aluminiumoxyd entspricht diesen Voraussetzungen. Untersuchungen, über die Prof. *A. S. Watts* im Journ. Amer. Cer. Soc. 1923, S. 1150 bis 1152, berichtet, lassen erkennen, daß eine Mischung, die dem reinen Kaolin entspricht, am beständigsten zu sein scheint; eine Erhöhung des Quarzgehaltes setzt die Widerstandsfähigkeit herab. Die Flußmittelwirkung tritt bei steigendem Gehalt der Masse an Aluminiumoxyd in stärkerem Maße auf als bei steigendem Gehalt an Kieselsäure. Danach müßte ein Stein mit 46 Proz. Al_2O_3 und 54 Proz. SiO_2 als Wannmaterial das Widerstandsfähigste sein. Sämtliche Tone enthalten aber immer Verunreinigungen, die aus Eisenoxyd, Titanoxyd, Kalk, Magnesia und Alkalien bestehen. Dadurch wird, abgesehen davon, daß diese Anteile schon als Flußmittel auftreten, das Verhältnis von Aluminium zu Quarz verschoben.

Nach Untersuchungen von *Firth*¹, *Hodkin*, *D. Turner* und *W. Turner*, hielt ein Material von folgender Zusammensetzung: SiO_2 49,34, Al_2O_3 39,13, Fe_2O_3 5,62 am besten bei Verwendung von Alkali-Bleioxyd-Glas-Schmelzen aus. *H. Insley*² hält für Soda-Kalk-Glas-Schmelzen hochtonerdehaltiges Material für das widerstandsfähigste, empfiehlt jedoch, für das Gewölbe Silikasteine zu verwenden.

Die Widerstandsfähigkeit der Steine ist von der äußeren Beschaffenheit abhängig. Es ist deshalb notwendig, die Oberfläche des Steines so zu gestalten, daß der Emaillefluß ihn möglichst wenig angreifen kann. Die Porösität müßte also auch auf das technisch mögliche Maß beschränkt werden.

Von den Flußmitteln üben die in der Emailleindustrie viel verwandten Fluoride eine stärkere korrodierende Wirkung aus als Karbonate oder Borate; letztere wirken wiederum stärker als die Karbonate ein. Nach *D. Turner* und *W. Turner*³ steigert sich die zersetzende Wirkung der Flußmittel mit anwachsender Temperatur. Sulfate greifen weniger stark an. Sehr stark dagegen ist die angreifende Wirkung der Nitrate; noch stärker wirkt Borax. Ferner ist die schmelzende Einwirkung der Kalisalze stärker als diejenige der Natriumsalze.

¹ Journ. of the Soc. of Glass Techn. 1923, S. 218—227.

² Journ. of the Amer. Cer. Soc. Vol. 7, Nr. 8, S. 583—593.

³ Journ. of the Soc. of Glass Techn. 1923, S. 207.

Eine fluorhaltige Emaille zerstört die Wanne eher als eine fluorfreie oder fluorarme. Die längste Lebensdauer weisen Wannen auf, in welchen nur fluorfreie und borsäurearme Emailen geschmolzen werden. Daher rühren auch die jetzt immer mehr auftretenden Klagen der Werke, daß das Wannenmaterial nicht mehr so lange hält wie früher, denn früher wurden die fluorhaltigen Rohmaterialien in bedeutend geringerem Maße verarbeitet als heute.

10. Glashütte.

Aus den von *Baldermann*¹ wiedergegebenen Erfahrungen aus dem Glasofenbau geht folgendes hervor. Ein großer Fehler besteht darin, daß dem Schamottmehl ein Teil groben Quarzes beigemischt wird, wie es in den Schamottfabriken von alters her gebräuchlich ist. Das muß unbedingt vermieden werden, weil gerade der Quarz als der größte Zerstörer für alle Schamotteerzeugnisse im Glas- und Wannenschmelzofen anzusehen ist. Das Glas ist, wie ja wohl allgemein bekannt sein dürfte, aus Quarz und Soda oder Glaubersalz oder Pottasche zusammengeschmolzen. Wenn nun die Quarzteile in den Schamottsteinen mit diesen Salzen in Berührung kommen, so lösen sich die Quarzstückchen einfach auf. Sie schmelzen aus den Steinen heraus und machen das Mauerwerk nach und nach porös, so daß es schließlich rissig wird, nach den verschiedenen Richtungen hin springt und allen Halt verliert. Noch viel schneller und schlimmer geht das Zerstörungswerk vor sich, wenn die Steine aus Schamottmehl von gröberer Körnung (über 3 mm) hergestellt sind. Hier gilt also dasselbe wie bei der Herstellung der Häfen, die ebenfalls weder einen Zusatz von Quarz noch von groben Schamottkörnern vertragen. Diese alte Erfahrung aus der Hafenfabrikation muß unbedingt auch für die Wannenblöcke, die mit der Glasschmelze in Berührung kommen, verwertet werden. Gewöhnliche Steine mit Quarzzusatz kann man immerhin noch dort belassen oder verwenden, wo sie nicht mit den Schmelzmitteln oder der flüssigen Glasmasse in Berührung kommen. Wenn auch der Quarz seine guten Seiten hat, indem er beim Wachsen im Feuer gewissermaßen die Schwindung des Tones ausgleicht, so ist es mit Rücksicht auf das oben Erwähnte schon immerhin besser, von vornherein auf den Quarz ganz zu verzichten, da es auch ohne ihn ganz gut geht.

Von außerordentlicher Bedeutung ist die Entfernung aller Luft aus dem Innern der Schamottesteine. Bei der Herstellung der Häfen z. B. wird die Masse tüchtig ausgeklopft, um ein dichtes Gefüge zu erzielen; die gleichen Rücksichten hat man auch beim Formen der Glasfenesteine zu nehmen.

Nach Untersuchungen von *C. Berry*² ist der Widerstand der Glaswannensteine gegen den zerfressenden Einfluß des geschmolzenen Glases mehr von der physikalischen Struktur des Steines als von seiner chemischen Zusammensetzung abhängig. Es wurde gefunden, daß zwei feuerfeste Materialien von

¹ Vgl. auch Tonind.-Ztg. 1920, Heft 61 u. 64.

² Transact. of the Amer. Ceramic Society Bd. XVI (1914), S. 101 bis 108; Spr. 1919, Nr. 6, S. 30.

annähernd gleicher chemischer Zusammensetzung, die aber verschiedene Arten Ton enthielten, für denselben Zweck nicht im gleichen Maße geeignet erschienen, weil sie ein verschiedenes physikalisches Gefüge aufwiesen. Für Versuchszwecke besonders hergestellte, sowohl kieselsäurereiche (77 Proz. SiO_2) als tonerdereiche Mischungen haben sich wider Erwarten trotz der gewählten günstigen chemischen Zusammensetzung nicht bewährt, weil, vor allem bei der kieselsäurereichen Mischung, der Stein verhältnismäßig porös war, wodurch das Eindringen der Flußmittel erleichtert wurde. Um ein solches Einsaugen der Schmelze zu verhindern, muß ein guter Wannenstein eine gewisse Dichtigkeit besitzen. Auch muß die Stirnseite des Steines, welche der Abnutzung unterliegt, glatt sein, um sich nur langsam und ohne Steinbildung in dem Glase zu lösen.

Häufig beobachtet man in Wannensteinen eine Art des Zerfressens, die man als „Zelligwerden“ bezeichnet, ähnlich der Bienenzelle. Diese Erscheinung beruht unter anderem auf der Wiederverwendung von alten Wannensteinen oder Hafenschutt in einer Schamottemischung. Von der Wiederverwendung solcher Scherben ist, auch wenn sie von der Glasur befreit sind, schon aus dem Grunde abzuraten, weil dieselben, besonders bei poröser Beschaffenheit, schon früher Flußmittel aufgenommen haben. Man kann sich hiervon leicht überzeugen, wenn man solche alten Schamottescherben Feuchtigkeit aufsaugen läßt und darauf trocknet; es erscheinen dann die Alkalisalze auf der Oberfläche. Waren jedoch solche alten Steine dicht und haben keinen oder nur wenig Glasfluß aufgenommen (Analyse!), so erhält man aus solchen gemahlener und mit Ton versetzten Scherben sehr gute Steine, weil sie vorzüglich durchgebrannt sind. Die zweite Ursache des Zelligwerdens besteht in der Verwendung von frischer, übermäßig hart gebrannter glasiger Schamotte. Natürlich wird eine glasig gebrannte Schamottemasse wenig oder gar keine Flußmittel mehr aufnehmen; wird aber derartig verglaste Schamotte verwendet, so liegt die Gefahr nahe, daß vielleicht Steinkörnchen in die Glasschmelze gelangen, weil sich der Bindeton leichter auflöst, wodurch die glasigen Schamottekörner frei werden und nun ins Glas geraten. Das Zelligwerden eines Wannensteines kann aber auch auf anderen, durch die Verhältnisse in der Wanne selbst bedingten Ursachen beruhen, da es auch bei solchen Steinen vorkommt, die weder hart gebrannte Schamotte noch Scherben von Wannensteinen oder Glashäfen enthalten.

Die normale Haltbarkeitsdauer der Glaswanne beträgt etwa 10 Monate; Wannen, die mit Glasblasemaschinen ausgerüstet sind, haben eine größere Lebensdauer; die Steine halten hier ca. 2 Jahre. Dies beruht vielleicht auf der fortgesetzten Arbeit bei konstanter Temperatur ohne Betriebsunterbrechung der Wanne im Sommer. In einem Wannenofen für Fensterglas ist die durchschnittliche Lebensdauer der Wannensteine allerdings bedeutend kürzer; hier gelten 20 Wochen schon als viel. Am stärksten werden die feuerfesten Steine von den noch nicht zusammengeschnittenen Rohstoffen des Glasgemisches angegriffen. Wenn überwiegend Abfallglas eingeschmolzen wird, ist der Angriff naturgemäß geringer.

Es treten zuweilen in Glaswannen, namentlich in der Schmelzzone, Zerstörungen der Schamottesteine ein, an welchen weder der Ofenkonstrukteur noch der Schürer oder Schmelzer die Schuld tragen kann. Vielmehr liegt hierbei die Schuld allein an der Wahl des Materials. Die Ursache des frühzeitigen Zerstörens der Wannensteine liegt aber nicht allein in der schon oben erwähnten Durchsetzung solcher Wandsteine mit Quarz und in der Porosität derselben infolge zu groben Kornes, sondern es ist dabei noch folgendes zu berücksichtigen:

Sofern nicht reines Sodaglas, sondern, wie es meistens der Fall ist, Sulfat-(Glauber-) Salz¹ geschmolzen wird, wird in der Wanne nicht das gesamte Sulfat durch Kohle zu Sulfid reduziert, sondern ein Teil dieses Sulfats scheidet sich ab und schwimmt als sog. Glasgalle auf dem Glase. Diese Glasgalle dringt in die kleinsten Hohlräume der Wannensteine ein, und zwar um so leichter, je größer diese Hohlräume sind. Letzteres ist bekanntlich bei den aus grobem Korn hergestellten Schamottesteinen der Fall. Die Glasgalle findet bei ihrem weiteren Zerstörungswerk reichlich Nahrung in den beigemengten Quarzteilchen der Wandung, wodurch die Quarzauflösung vor sich geht und die allmähliche vorzeitige Zerstörung des Steines eintritt. Man empfiehlt daher, diese Steine der Schmelzzone aus der gleichen Tonmasse anzufertigen, aus welcher die säurefesten Schmelzhäfen bestehen. Dabei braucht nicht die ganze Wanne aus solchem besten und teuersten Schmelzhafenmaterial hergestellt zu werden; vielmehr können sowohl die Bodensteine, wie die unteren Reihen der Seitenwandsteine auch aus grobkörniger Schamotte angefertigt werden, so daß die Anwendung der Hafentonmasse nur für die oberen Reihen der Seitenwandsteine in Frage kommen würde. Die Gründe hierfür ergeben sich aus folgendem: Bei der Ingebrauchnahme einer neuen Wanne wird dieselbe mit reinen Glasscherben (und nicht mit Rohgemenge) gefüllt, damit bei der ersten Schmelze alle Steine bis oben herauf eine schützende Glasur bekommen. Die in der Wanne befindliche geschmolzene Glasmasse ist durch die Wirkung der unter den Bodensteinen befindlichen Kanäle von unten her ungefähr zu $\frac{1}{3}$ erstarrt. Diese Glasschicht nun, die für ihren Teil den Wanneboden und den unteren Teil der Seitenwände nur in ganz geringem Maße angreift, bildet den eigentlichen Schmelzboden und wird von dem immer wieder neu zugeführten Rohgemenge nicht berührt; das Steinmaterial dieser unteren Glasschicht kann also hier nicht in besonderer Weise von der Glasgalle angegriffen werden. Anders ist es in dem oberen Teil der Seitenwandung, wo der angreifenden und zersetzenden Wirkung der Glasgalle ein freies Feld gegeben wird, was bei Anwendung der dichtbrennenden Hafentonmasse bedeutend schwächer in Erscheinung treten würde. *Baldermann* behauptet, durch Anwendung dieser Grundsätze bei dem Bau einer Wanne gewisse praktische Erfolge erzielt zu haben.

In einer Druckschrift der Schamottefabrik „Rhenania“ wird über folgenden Fall der Zerstörung eines Glas ofensteines berichtet: Stücke eines Schamotte-

¹ Überhaupt nimmt die Zersetzung des feuerfesten Materials mit steigendem Glaubersalzgehalt der Schmelze zu (Journ. of the Soc. of Glas Technology, September 1923, S. 228—232).

steines, welcher aus pyrometrisch sehr hoch stehendem Schieferton nebst Kaolin bestand, waren in einem sehr heiß gehenden Glasofen an einer Stelle, wo sie mit dem flüssigen Glase in Berührung gekommen, geschmolzen. Die Stücke stellten ein Konglomerat dar von teilweise vollkommen erhaltenen, in Glas schwimmenden Steinteilen, ja selbst in der nächsten Nähe des von dem flüssigen Glase durchdrungenen und dadurch aufgelösten Materials. An den zerstörten Stellen ließ sich unter der Lupe ein kanalartiges und netzförmig sich verbreitendes Eindringen des Glases bemerken, worin sich einzelne abgefressene Kerne noch erhalten hatten. Der vor sich gegangene Auflösungsprozeß dürfte sich in folgender Weise erklären. Das flüssige Glas wird von der noch saugenden Tonmasse und namentlich dem Kaolin darin folgend eingesogen, wodurch die Masse als Ganzes leichter schmelzbar wird, bis dann nach und nach die losgelösten gröberen Teile von der schmelzenden Glastonmasse umgeben und dadurch mechanisch fortgeführt werden und bei vermehrter Berührung mit dem Flusse endlich der gänzlichen Auflösung verfallen. Die Zerstörung ist daher zuerst eine mechanische, ein Einsaugen des flüssigen Glases, und beginnt dann die chemische Einwirkung der Glasmasse, indem das saure Silikat des Glases die Basen des Kaolins und der Schamottemasse aufnimmt und sukzessive leichtflüssige Verbindungen zuwege bringt. Der an sich sehr großen Feuerbeständigkeit der Steinmasse ist somit hier durchaus keine Schuld zu geben; weil aber dieselbe gewissermaßen die Fähigkeit besitzt, saugend zu sein, wird die Zerstörung eingeleitet, welche, einmal begonnen, dann in der angedeuteten Weise stetig fortschreitet.

Nach *Endell*¹ sind folgende Gesichtspunkte für die Haltbarkeit der Wannenecken, ganz abgesehen von ihrer Beschaffenheit, maßgebend: 1. Die Zusammensetzung und Aufbereitungsart des Gemenges, besonders das Verhältnis zwischen frischem Rohstoff und Abfallglas; 2. die Temperaturhöhe (normalerweise 1450° C); 3. die Art der Feuerführung, z. B. Ölzusatzfeuer; 4. die mechanische Bewegung des erschmolzenen Glases bei den Arbeitsstätten; 5. Art der Ausmauerung (Frage des Formates: große Flächen und möglichst enge Fugen); 6. Kühlung von außen (Wärmeleitfähigkeit); bei letzterer ist es eine Frage der Kalkulation, was wertvoller ist: der infolge der nach außen abgezogenen Wärme erhöhte Kohlenbedarf oder die Erhöhung der Lebensdauer der feuerfesten Zustellung. Nachfolgend sind in der Fig. 31 und 32 charakteristische Zerstörungsmomente des feuerfesten Materials in den Glashüttenöfen gezeigt. In der Fig. 31 ist das Bild einer normalen mechanisch-chemischen Abnutzung mit tiefen Rissen bei stark forziertem Betrieb einer Wanne gezeigt. Fig. 32 zeigt dagegen eine wabenförmige Zerstörung einer Hafenecke, und zwar infolge lediglich chemischer Korrosion.

Für die Brenner der Glasschmelzöfen, besonders der Büttens-, Zungen- und Schlitzöfen wird häufig empfohlen, Natursandstein, der sich durch hohe Feuerfestigkeit auszeichnet, zu verwenden. Hierbei muß die richtige Wahl, Anwendung und Behandlung dieses Materials vorausgesetzt werden,

¹ Sprechsaal 1924, Heft 27.

weil sonst sehr leicht Mißerfolge eintreten können. Selbstverständlich kommt für diesen Zweck keineswegs jeder beliebige Sandstein in Frage, sondern nur ganz reines Material. Dieser Sandstein findet sich in der Gegend von Magdeburg, im Glatzer Bergland, im Harz, im Elbsandsteingebirge usw. Bei der Anwendung des Natursandsteines für Brenner sollen die folgenden praktischen Winke¹ berücksichtigt werden. Der frisch aus dem Steinbruch kommende Sandstein enthält Wasser und kann in diesem sog. „grünen“ Zustande noch nicht zur Verwendung gelangen, da das Wasser den Stein beim Aufheizen zertreiben würde.



Fig. 31. Mechanisch-chemische Korrosion eines Wannenblockes.

Die Steine müssen deshalb vortrocknet werden. Zweckmäßigerweise gibt man dem Stein noch vor dem Trocknen die nötige Form bzw. Größe, da er sich in „grünem“ Zustande leichter bearbeiten läßt. Nach der erfolgten Bearbeitung werden die Steine einem langsamen und allmählichen Trockenprozeß unterworfen, welchen man auf etwa 6 bis 8 Monate schätzt. Da die Sandsteine dem Wachsen ausgesetzt sind, müssen bei deren Einbau genügend Fugen vorgesehen werden. Bei gut getrockneten Steinen sieht man auf je 1 m ca. 6 bis 8 cm breite Fugen vor. Die Fugen sind peinlich vor Verunreinigungen zu schützen. Große Vorsicht ist beim ersten Hafeneinsetzen nötig; es muß sorgfältig darauf geachtet werden, daß hierbei keine Schamotte oder dergleichen in die Fugen gelangt, denn der Sandstein hat bis dahin seine Volumenvergrößerung

nach 6 bis 8 wöchentlicher Betriebsdauer noch nicht beendet; dieses tritt erst nach 6 bis 8 wöchentlicher Betriebsdauer ein. Erst beim zweiten Hafeneinsetzen vergießt man etwa nicht ganz geschlossene Fugen mit dünnem Schamottemörtel, welchem gemahlener Sandstein zugesetzt ist. Beim Aufheizen des Ofens soll die Hitze nur langsam gesteigert werden, wenigstens so lange, bis Rotglut erreicht ist.

Für eine sachgemäße Wahl des feuerfesten Materials spricht in der Glasindustrie nicht nur die Lebensdauer der Ofenanlage, sondern auch die Güte der darin erzeugten Produkte. So z. B. werden in den Schmelzöfen für Glas die Gewölbe aus Silika- bzw. Dinassteinen hergestellt, trotz dem Umstande, daß gerade hier die ganze Ofenatmosphäre mit Alkalidämpfen geradezu

¹ Spr. 1920, S. 456 bis 457.

geschwängert ist. Der Grund für diese scheinbar unrationelle Bauart, abgesehen von der besseren Geeignetheit der Quarzsteine für Gewölbekonstruktionen, liegt darin, daß die an der Ofendecke sich bildenden Tropfen der Alkalisilikate beim Herunterfallen in die Glasschmelze sich in derselben ohne weiteres auflösen; würde das Gewölbe aus tonerdehaltigen Steinen bestehen, und etwas davon in die Glasschmelze geraten, so gäbe dies Veranlassung zu allerlei Fehlern im Glase, da die Tonerdesilikate von der Glasschmelze nur langsam aufgelöst werden.

Die Lebensdauer der Dinaskuppe hängt in hohem Grade von der Flammenrichtung in dem Schmelzofen ab. Für Öfen mit wagerechter Richtung

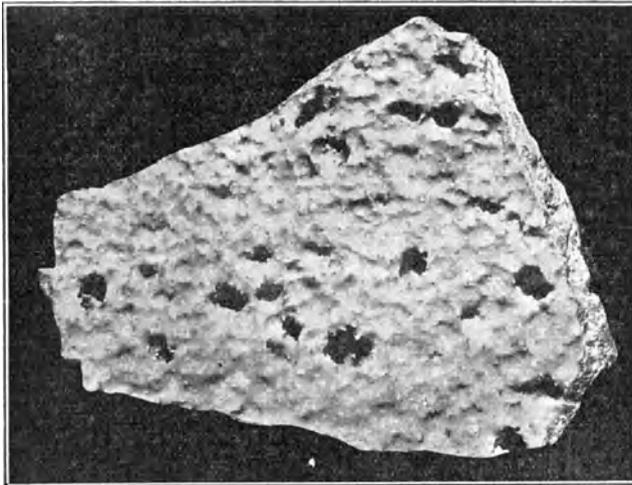


Fig. 32. Chem. Hafenauflösung bei einer Versuchsschmelze optischen Glases.

der Flammen kann man mit 8 bis 10 Jahren rechnen. Bei Öfen, wo die Flamme senkrecht gegen das Gewölbe schlägt (Büttenöfen), rechnet man mit einer kürzeren Betriebsdauer, die sich auf etwa 3 bis 4 Jahre beläuft.

Der vom britischen Ministerialrat eingesetzte Forschungs- und Normenausschuß für feuerfeste Erzeugnisse hat in den Verhandlungsberichten der britischen glastechnologischen Gesellschaft 1919 „Vorläufige Normen für feuerfesten Glashüttenbedarf“ veröffentlicht¹. Als „vorläufig“ werden die Normen deshalb bezeichnet, weil sie verbessert werden sollen, sobald vollständigere Angaben über die Eigenschaften feuerfester Stoffe zur Verfügung stehen. Da wir in Deutschland noch keine Normen für Glasfenstersteine haben, seien die britischen Normen hier wiedergegeben.

Die Normen für Glaswannenblöcke umfassen folgende Bestimmungen: Auf Verlangen des Erwerbers müssen ihm lieferungsgetreue Durchschnittsproben verabfolgt und Angaben über die chemische Zusammensetzung,

¹ Trans Soc. Glass. Technol. 1919, S. 3—14. Referate: Tonind.-Ztg. 1920, Heft 87, 90. 105 und Glastechnische Berichte 1923, Heft 5, S. 113—115.

die Feuerfestigkeit, die Porigkeit in Raumhundertteilen, die Längenschwindung oder das Längenwachstum nach Erhitzung auf eine Segerkegel 14 entsprechende Temperatur und die Druckfestigkeit gemacht werden. Die chemische Zusammensetzung soll über den Gehalt an Kieselsäure, Tonerde, Eisenoxyd, Titanoxyd, Kalk, Magnesia, Kaliumoxyd und Natriumoxyd Aufschluß geben. In bezug auf die Feuerfestigkeit sollen aus den Blöcken geschnittene Kegel nicht leichter schmelzbar sein als Segerkegel 30. (Oxydierende Atmosphäre, Steigerung der Temperatur um je 50° alle 5 Min.!). Das Gefüge der Blöcke darf keine Stückchen von Eisenstein oder anderen abgesonderten Unreinigkeiten erkennen lassen. Die Blöcke sollen durch und durch gleichförmig gebrannt sein und wenn ein blauer, schwarzer oder brauner Kern vorhanden ist, so soll er so klein wie unter Berücksichtigung des Blockes nur möglich sein. Das Gefüge der Blöcke soll regelmäßig und frei von Hohlräumen und Rissen sein. Die Kanten sollen so scharf und voll sein, wie billigerweise mit der Korngröße des verwendeten Schamotteersatzes vereinbar ist. Alle Oberflächen müssen regelmäßig und so eben sein, daß die Blöcke ohne merkliche Fugenspalten an den gefährdeten Seiten vermauert werden können. Die Porigkeit in Raumhundertteilen wird mit Hilfe der Formel

$$\frac{\text{Porenraum } x \text{ 100}}{\text{Raum des Stückes (einschl. Poren)}}$$

berechnet. Die Porigkeit darf für Schmelzzonenblöcke 18 Proz., für die anschließenden weniger beanspruchten Blöcke 23 Proz., für die unteren Seitenblöcke 25 Proz. und für die Wannensohlblöcke 30 Proz. nicht übersteigen. In bezug auf Nachschwinden oder Nachwachsen dürfen aus dem Blocke an beliebiger Stelle herausgefügte Probestücke von etwa 3 engl. Zoll (7,5 cm) Länge und 1 bis 2 engl. Zoll (2,5 bis 5 cm) Höhe und Breite nach 2stündigem Erhitzen auf eine Temperatur entsprechend Segerkegel 14 nach dem Erkalten nicht mehr als 2 Proz. Längenschwindung oder Längenwachstum zeigen. Wenn die Prüfungshitze erreicht ist, soll die Ofenhitze während der ganzen Prüfungszeit (2 Stunden) auf gleicher Höhe gehalten werden. In bezug auf Druckfestigkeit müssen die Blöcke einen Pressendruck von nicht weniger als 1600 engl. Pfd. auf 1 engl. Quadratzoll (112,5 kg/qcm) aushalten. Der als Probekörper zu verwendende Teil des Blockes soll ein Würfel von 4 engl. Zoll (10 cm) Kantenlänge sein, und die beiden Lagerflächen, die mit den Preßplatten der Druckpresse in Berührung kommen, sollen eben geschliffen oder gesägt und durch Ausgleichen mit Gips in üblicher Weise genau gleichlaufend gemacht sein. Der Erwerber oder sein Vertreter soll zu jeder angemessenen Zeit Zutritt zu den Werken des Herstellers haben, und es soll ihm gestattet sein, die Blöcke vor der Lieferung zu besichtigen. Doppelprobestücke, die für die Beschaffenheit der Gesamtmenge der bestellten Ware maßgebend sind, sollen vor der Lieferung ausgesucht werden. Die Kosten der zwecks Erlangung der Probekörper beschäftigten Blöcke sind zu tragen

- a) vom Erwerber, wenn die Ware die Prüfung besteht,
- b) vom Hersteller, wenn die Prüfung nicht bestanden wird.

Auch für Quarzziegel und Quarmörtel für Glashütten gelten die gleichen Bestimmungen. Im einzelnen wird in bezug auf die chemische Zusammensetzung von den Quarzziegeln gefordert, daß sie nicht weniger als 94 Proz. Kieselsäure und nicht mehr als 2 Proz. Kalk enthalten. In bezug auf Feuerfestigkeit wird verlangt, daß die Probekörper dem Segerkegel 32 entsprechen. Die Prüfung soll in oxydierendem Feuer und unter Einhaltung einer Temperatursteigerung von etwa 50° in je 5 Min. ausgeführt werden. Hinsichtlich des Nachwachsens der Quarzziegel im Feuer wird gefordert, daß nach 2stündigem Erhitzen auf eine Temperatur entsprechend Segerkegel 12 und darauffolgendem Abkühlen ein Probekörper nicht mehr als 0,75 Proz. Längenwachstum zeigen darf. Die Quarzziegel müssen gleichförmig gebrannt sein und ein regelmäßiges löcher- und rißfreies Gefüge haben. Alle Flächen der Ziegel sollen möglichst die richtige Gestalt haben und dürfen von den vorgeschriebenen Ausmaßen höchstens um plus-minus 2 Proz. abweichen.

Der Quarmörtel soll in allen Fällen fein gemahlen und zur Verbindung der Ziegel, für die er geliefert wird, geeignet sein. Er soll nicht weniger als 92 Proz. Kieselsäure enthalten und die gleiche Feuerfestigkeitsprüfung wie die Ziegel bestehen können.

Über die Massemischung für Glashäfen wird in den „vorläufigen englischen Normen für feuerfesten Glashüttenbedarf“ bestimmt, daß diese mindestens aus drei Teilen bestehen soll: aus Bindeton, Grundton und Schamotte. Auf Grund von Versuchen soll die Erweichungstemperatur nach Segerkegel angegeben werden. Die Segerkegelangaben sollen noch durch Hitzegradangaben in Grad C (und Grad F) vervollständigt werden. Die Erweichungstemperaturen der Tone und Schamotte unter Belastung sollen nach amtlich noch festzulegendem Prüfungsverfahren bestimmt werden.

Der Bindeton soll fetter, bildsamer, gewetterter Ton sein. Der Grundton soll ein hochfeuerfester Ton sein, und zwar sollen die Tonklumpen hierfür besonders ausgesucht und die Pyrite von Hand herausgelesen sein. Die Schamotte soll aus gut durchgebrannten Stücken ausgesuchten feuerfesten Tones hergestellt sein, und die gebrannten Stücke dürfen keine Anzeichen von schwarzem Kern aufweisen. Nichts von der Beschaffenheit gewöhnlicher Schamotteziegel darf als Zuschlag zu Glashafenmasse verwendet werden. Eine Probe eines jeden Mischungsbestandteiles darf nach Aufbereitung und Brennen bei 1400° C keine ausgeprägten Merkmale zeigen, die durch Eisen in ausgeschiedener Form hervorgerufen ist. Die Bruchflächen der Probestücke der aufbereiteten und bei 1400° C gebrannten Mischungsbestandteile sollen ein dichtes Gefüge, besonders beim Bindeton zeigen. Sinterungs- und Schmelztemperatur sollen weit auseinander liegen.

Im weiteren macht der Normenausschuß verschiedene Vorschläge betr. Fabrikation, die in der „Ker. Rundschau“ 1921, Heft 2, S. 26 und in den Glast. Ber. 1923, Heft 5, S. 113 bis 115. ausführlich referiert sind.

*Endell*¹ bringt folgende vergleichende Untersuchung eines deutschen, holländischen und nordamerikanischen Glaswanensteins.

¹ a. a. O.

Tabelle 40.

Vergleichende Übersicht verschiedener Glaswannensteine.

Land:	Deutschland	Holland	Ver. St. v. Nordamerika
Art des erzeugten Glases:	Flaschen- u. Glühlampenglas.	Flaschenglas Fensterglas.	Glühlampenglas.
Verwandter Ton:	Großalmeroder Hafenton	Nordfranzösischer Ton	Grand View Ton (St. Louis)
a) roh			
b) gebrannt	desgl. bei Sk. 8 (1250° C) gebr.	Belgischer Magerton gebr.	desgl. gebrannt
Mischungsverhältnis:	1 : 1	?	1 : 1
Chemische Analyse:			
SiO ₂	76,42%	61,95%	64,78%
Al ₂ O ₃	17,79%	30,88%	32,13%
Fe ₂ O ₃	1,19%	1,28%	2,36%
TiO ₂	2,32%	1,78%	0,19%
CaO	0,48%	0,54%	0,52%
MgO	0,40%	0,35%	0,25%
Alkalien als K ₂ O berechnet	1,16%	2,90%	—
	99,66%	99,68%	100,23%
Porosität (Vol.%)	23%	21%	26%
Seegerkegelschmelztemperatur	27 ∞ 1610° C	31—32 ∞ 1700° C	30—31 ∞ 1680° C
Erweichungstemperatur unter 1 kg/qcm Belastung			
Erweichungsbeginn:	1450° C	1310° C	1320° C
Temperatur, bei der der Probezylinder unter Belastung um 4% zusammengedrückt ist:	1450° C	1400° C	1430° C

Die K ü h l ö f e n besitzen keine so hohe Temperatur wie die Glasschmelzöfen. Infolgedessen gehen die Ansprüche an das feuerfeste Material dieser Öfen nicht so weit. Eine Ausnahme machen nur die Kühl- und Strecköfen für Tafel- und Spiegelglas, weil hier eine durchaus ebene Unterlage verlangt wird. Deshalb müssen die Strecksteine eine ebene Fläche aufweisen, sich im Feuer nicht werfen, keine Teilchen absplintern lassen, die leicht in das erweichte Glas eindringen können. Hierfür werden naturgemäß Schamottmassen verwandt.

Bei den Hafenoöfen spielen sowohl im Budget als auch in der Leistungsfähigkeit einer Glashütte die Häfen eine außerordentliche Rolle, und zwar nicht allein wegen dem Wert jedes Hafens, sondern auch wegen dem Zeitverlust, mithin dem Produktionsausfall, der durch das Herausnehmen der unbrauchbar gewordenen und das Einsetzen der frischen Häfen verursacht wird. Die Anfertigung der Häfen geschieht durchweg auf den Glashütten

selbst, und zwar durch Handarbeit (neuerdings auch nach dem Gießverfahren; vgl. weiter unten). Nur vereinzelt werden Knet- und Schneidemaschinen zur Verarbeitung des Hafentons verwendet. Die mit großer Sorgfalt meistens aus freier Hand hergestellten Häfen werden einem sehr langsamen, viele Monate dauernden Trockenprozeß in der Hafentube unterworfen. Dadurch wird ermöglicht, daß dann der im Temperofen nur auf schwache Rotglut vorgewärmte frische Hafen direkt in den hochoverhitzten Betriebsofen eingesetzt werden kann. Ein eigentliches „Brennen“, wie es bei anderen feuerfesten Erzeugnissen der Fall ist, findet also bei den Häfen nicht statt. Die Anforderungen an Häfen sind folgende: außer Feuerbeständigkeit müssen sie eine große Widerstandsfähigkeit gegen den Einfluß der Glasschmelze, große Dichte, mechanische Festigkeit und Unempfindlichkeit gegen schroffen Temperaturwechsel aufweisen.

Glashäfen werden übrigens seit 15 bis 20 Jahren mittelst des Gießverfahrens nach Dr. *E. Weber*¹ hergestellt. Das Verfahren basiert auf der in der Porzellanindustrie schon lange bekannten Tatsache, daß Kaoline und Tone durch Einwirkung von Alkalien mit äußerst geringem Quantum Wasser in flüssige, gußfähige Masse übergeführt werden können. Die im Sprechsaal 1905, S. 124, beschriebene diesbezügliche Anlage für Schamottegüsse befindet sich in den Glashüttenwerken Aug. Leonardi in Schwepnitz in Sachsen. Über die Vorteile dieser Art der Hafentherstellung sind die Meinungen verschieden und verweisen wir daher die Interessenten auf die diesbez. Diskussion im Sprechsaal², ferner auf die besonders ausführliche Behandlung dieses Gegenstandes durch den Erfinder selbst in der 4. Auflage *Bischof*, Die feuerfesten Tone S. 130—144.

In den Fig. 33 bis 35 sind einige gebräuchliche Hafentypen gezeigt. In der Fig. 33 ist ein offener, in Fig. 34 und 35 zum Schutze der Glasschmelze, besonders gegen Rauch und Flugasche der Brennstoffe, geschlossene Häfen gezeigt. In der Fig. 35 ist ein Hafen für ununterbrochenen Betrieb dargestellt. Die Abmessungen der Glashäfen bewegen sich zwischen 0,6 und 1,3 m oberem Durchmesser und einer Höhe von 0,6 bis 1,2 m. Bei größeren Häfen (Tafelglasschmelzgefäße) müssen die Boden- und Wandstärken etwas reichlicher bemessen werden, weil der Glasdruck der in den Häfen enthaltenen größeren Glasmenge bei zu schwacher Wandstärke die Häfen leicht auseinandertreiben kann. Aus demselben Grunde dürfen die zur Bereitung der Häfen gelangenden Tone nicht weich werden. Überhaupt müssen diese Tone neben hoher Feuerfestigkeit eine niedere Dichtbrandtemperatur aufweisen, weil das dichte Brennen des Tones die Widerstandsfähigkeit des gebrannten Hafens gegen die chemischen Angriffe der flüssigen Glasmasse erhöht. Nicht zu verwechseln ist mit dem Dichtbrennen das Sintern. Derartige sinternde Tone besitzen in der Regel keine hohe Widerstandsfähigkeit gegen plötzlichen Temperaturwechsel und neigen leicht zum Erweichen.

¹ *Weber*, Die Verwendung gegossener Häfen im Glashüttenbetriebe. Spr. 1908, S. 258.

² *Walter*, Nochmals das Hafengießverfahren. Spr. 1908, S. 328.

Zu den Häfen gehören noch die Ringe, Kränze, Klammern und Schiffchen, an die meist dieselben Anforderungen gestellt werden wie an die Häfen selbst. Ein Haupterfordernis des Hafenkranzes besteht darin, daß er auf dem schmelzenden Glase im Hafen schwimmt. Er darf nicht untertauchen. Zur Vermeidung des Untertauchens muß auf eine dichte, nicht poröse Masse hingearbeitet werden, deren spez. Gewicht nicht ebenso hoch oder gar schwerer sein darf als das des Glases. Die Hafenkranze sollen von einem Teil der Oberfläche der Glasschmelze Unreinigkeiten des Glases fernhalten; ähnlichen Zwecken dienen die Schiffchen, an die folglich auch die gleichen Ansprüche wie an Kränze gestellt werden.



Fig. 33.

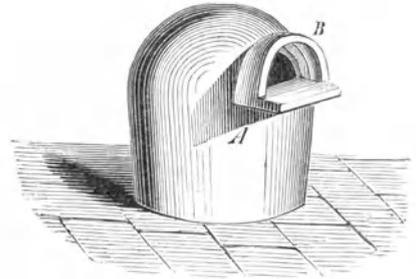


Fig. 34.

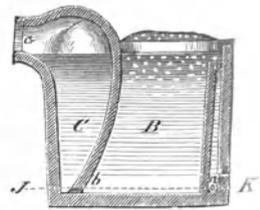
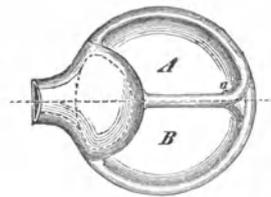


Fig. 35.

Fig. 33 bis 35. Verschiedene Glashafentypen.

Die Herstellung von Glashäfen erfordert große Erfahrung und ist im wesentlichen auf Überlieferung von Mund zu Mund in den Glashafenstuben aufgebaut. Man hält streng daran fest, daß Bindeton und Schamotte der gleichen Herkunft sind. Der wesentliche Gesichtspunkt dabei ist, daß die Masse gleichmäßig und gut gemischt zusammengesetzt ist, damit die fressende Glasmasse die Tiegelwände gleichmäßig verzehrt und nicht einzelne größere Teile der Wandungen losgelöst werden und in der Glasmasse schwimmen (*Siebel*, *Tonindustrie-Ztg.* 1920, Nr. 32). Die sog. Glassteine, mit denen das Glas häufiger durchsetzt ist, rühren in 99 von 100 Fällen von der Hafewandung her, von der sich aus irgendeinem Grunde kleine Teilchen abtrennen, die gewöhnlich schwer in der Glasmasse auflösbar sind. Es ist vielfach versucht, die Glashäfenmischung unter Anwendung von Tonschiefer aufzubauen, doch hat man damit wenig Erfolge zu verzeichnen, weil die Kittmasse der Bindetone tonerdeärmer ist und infolgedessen leichter von der Glasmasse aufgezehrt

wird. Es bleiben dann die schwer löslichen Schamottekörner an den Hafengewandungen ungelöst stehen und werden mit der Zeit durch die Glasmasse vollständig losgelöst. Die schwimmenden Tonschieferstückchen verlangen eine starke Überhitzung des Glases, was nicht erwünscht ist, da hierdurch die Hafengewandung in unnötiger Weise der heißen Glasmasse ausgesetzt ist. Gegen die Verwendung von Tonschiefer als Schamotte ist an und für sich nichts zu sagen, sie ist sogar als förderlich zu betrachten; jedoch muß darauf gesehen werden, daß der Bindeton von ganz ähnlicher Beschaffenheit ist, damit Bindeton und Schamottekörner die gleiche Auflösungsfähigkeit in der Glasmasse haben.

Auch bei den Glashäfen kommt es weniger auf die Schwerschmelzbarkeit des feuerfesten Materials als auf dessen Dichte an; so z. B. eignen sich zur Herstellung von Glashäfen die höchst schwer schmelzbaren kaolinhaltigen Massen nicht, weil sie auch im Ofenfeuer stets porös bleiben und der eindringenden Glasschmelze eine außerordentlich große Angriffsfläche bieten.

Überhaupt soll die Schamotte aus dem Ton von derselben Zusammensetzung wie der Grundton gewonnen und so lange und hoch genug gebrannt werden, daß jede merkbare Nachschwindung vermieden wird. Je härter die Schamotte gebrannt und je gleichmäßiger sie verteilt ist, desto besser ist das fertige feuerfeste Erzeugnis. Nach den seinerzeitigen Feststellungen von Dr. *Mellor* verlieren feuerfeste Tone bei hoher Temperatur Alkalien bzw. alkalische Erden (ca. 20 Proz. Alkaliverlust bei einem 7 maligen Brennen auf 1200° C), so daß wiederholt oder länger als sonst gebrannte Schamotte feuerfester als gewöhnliche Schamotte ist.

Zu den größten und unangenehmsten Betriebsstörungen¹ in der Glashütte gehört die Reißbildung in den Häfen, denn sie setzt nicht nur die Lebensdauer der Glashäfen herab und macht sie vorzeitig unbrauchbar, sondern sie wirkt auch ungünstig auf die Beschaffenheit des Glases, indem es im rissigen Hafen leicht „fadig“, „steinig“ oder „windig“ wird. Die Bildung von Rissen (oder Haarrissen) hat viele Ursachen. Diese können in dem ganzen Verlauf der Herstellung der Glashäfen zu suchen sein, so bei der Vorbereitung des Tones, beim Formen und Trocknen des Hafens, beim Tempern und im Glasofen selbst.

Als Folge falscher Zusammensetzung der Hafennasse tritt Reißbildung bei zu fetten Hafensätzen ein; andererseits darf aber auch das Magern nicht so weit gehen, daß die Bindekraft der Masse darunter leidet und leicht ein Lostrennen einzelner Stücke eintritt. Schwefelkies im Tone ist ebenfalls die Ursache von Rissen und zuweilen auch Löchern im Hafen. Ebenso müssen die zur Wiederverwendung gelangenden Hafenscherben sorgfältig von den anhaftenden Glasstückchen oder von der darauf gebildeten Glasurhaut befreit werden, weil diese sonst als Flußmittel wirken und die Lebensdauer des Hafens herabsetzen.

Daß durch eine ungenügende Mischung der Hafennasse Risse eintreten können, ist leicht erklärlich, da diejenigen Stellen, welche nur aus Rohton

¹ Vgl. *Schnurpfeil*, Die Tonindustrie im Glashüttenbetriebe. Verl. d. Tonind.-Z., Berlin 1908.

zusammengesetzt sind, Schwindrisse bekommen, während Magerrisse da auftreten, wo sich nur gebrannter Ton in der Masse befindet. Ist der Wasserzusatz zu groß, so neigen die Häfen zu sog. „Wasserrissen“, weil die feuchteren Teile langsamer trocknen als die weniger feuchten. Dadurch entstehen gefährliche Spannungen in dem Hafenkörper, welche sich unter Reißbildung auflösen.

Ferner können Risse durch die Zugluft oder einseitige Erwärmung beim Trocknen, bei zu raschem Temporn und durch falsche Behandlung der Häfen im Glasschmelzofen selbst entstehen.

Legt z. B. der Schmelzer das zur Herstellung des Glases bestimmte Gemenge zu kalt ein, so führt er dadurch eine plötzliche Abkühlung des heißen Schmelzgefäßes herbei, wodurch die innere Glasur abspringt und zahllose Risse auftreten. Deshalb soll das Gemenge zunächst einige Sekunden in dem Einlegeloch vorgewärmt werden. Sehr schädlich wirken auch Stichflammen, besonders oxydierende Flammen, d. h. kurze Flammen mit einem großen Überschusse stark überhitzter Luft. Eintretende Risse kann man schlecht beseitigen und verwendet hierfür Klammern über Hafensbord.

Die Lebensdauer der Häfen hängt von sehr vielen Umständen im Betriebe selbst ab¹. Im gut geleiteten Ofenbetriebe sollen die Häfen bei Verarbeitung von Sulfat mindestens 6 Wochen und beim Sodaglas ca. 10 Wochen halten.

Bei der Herstellung gerade des optischen Glases spielen die Schmelzhäfen eine wichtige Rolle. Das Material, aus dem sie bestehen, darf durch das Glas nur möglichst wenig angegriffen werden, da durch den aufgelösten Ton die Homogenität der Glasschmelze gestört wird², wodurch leicht Streifenbildung eintritt. Als erster Bestandteil wird aus dem Hafen Eisenoxyd durch das Glas aufgelöst; seine Farbkraft ist, besonders in den schweren Flint- und Bariumgläsern sehr groß, so daß ganz geringe Mengen genügen, um der Schmelze eine deutliche gelbe oder grüne Schattierung zu verleihen. Diese Färbung ist nicht nur aus optischen Gründen schädlich, sondern auch für Photographie nachteilig, weil sie die Lichtdurchlässigkeit stark herabsetzt. Da Entfärbungsmittel infolge ihrer großen Lichtabsorption bei optischem Glase nicht in Frage kommen, muß der Eisenoxydgehalt möglichst niedrig gehalten werden, indem man für Häfen praktisch reine und eisenarme Rohstoffe anwendet. Bei Benutzung der gewöhnlichen Glashäfen könnte in die Lösung leicht ein Eisengehalt gelangen, der mehrfach selbst bei den reinsten Rohstoffen größer als der Betrag ist, der ursprünglich in dem gesamten Glasgemenge vorhanden war.

Die Häfen zum Schmelzen optischen Glases müssen also einerseits, ebenso wie sonstige Glasschmelzhäfen, von der Glasschmelze möglichst wenig angegriffen werden und andererseits der hohen Ofentemperatur von annähernd 1475° C, sowie dem hydrostatischen Druck der Schmelze gut standhalten, außerdem möglichst wenig Eisenoxyd enthalten. Da die Häfen nur einmal ver-

¹ *Schnurpfeil*, Die Tonindustrie im Glashüttenbetriebe. Verl. d. Tonind.-Ztg., Berlin 1908.

² *Bleining*, Journ. Americ. Cer. Soc. 1918, S. 15—24.

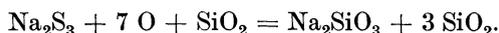
wendet werden, darf die Stärke des Bodens und der Wände auf ein Mindestmaß herabgesetzt werden. Angesichts des hohen Wertes des optischen Glases kann der Gesteigungspreis eines Hafens innerhalb angemessener Grenzen keine Rolle spielen.

11. Chemische Industrie.

In den Öfen der chemischen Industrie sind die Temperaturen (Rösten des Schwefels, Glaubersalzherstellung usw.) nicht so hoch, daß man ausgesprochen feuerfeste Steine verwenden muß. Hier spielt vielmehr die Säurefestigkeit eine Rolle. Wo in chemischen Öfen die Temperaturen höher steigen (Soda-schmelze, Schwefelnatriumöfen usw.), werden für die Öfen feuerfeste Steine verwendet, die alkalifest sind. Viele chemische Prozesse werden in Muffeln und Tiegeln durchgeführt. Ich verweise deshalb auf die entsprechenden Seiten dieses Buches: S. 96, 113—115 (Graphittiegel), S. 242 ff (Tiegel aus besonderen Stoffen), S. 104, 155, 160 (Muffeln) usw. usw. Über Tiegel aus Schamotte und Quarz befinden sich kurze Angaben in dem Abschnitt: „Metallurgische Öfen“.

Im folgenden mögen kurz einige Fälle der Verwendung feuerfester Materialien in der chemischen Industrie erwähnt werden.

In der Ultramarinfabrikation wird bekanntlich die aus Ton, Soda, Schwefel und Reduktionsmitteln bestehende Rohmischung in den Öfen gebrannt. Für diesen Zweck verwendet man Tiegel- und Muffelöfen. Wenn auch bezüglich Feuerfestigkeit beim Ultramarinbrande keine besonders hohen Anforderungen in Betracht kommen (durchschnittlich 700 bis 800° C), so muß doch die Wandung der Tiegel und der Muffeln eine gewisse Porosität haben, um das zum Blaubrennen nötige Luftquantum durchlassen zu können (*Bock*); diese Porosität muß für den jeweiligen Zweck genau angepaßt sein. Andererseits darf das Stein- und Muffelmaterial auch nicht zu porös sein, da sonst die Rohmasse verschlacken würde. Bekanntlich bilden sich im Ultramarinrohbrande zunächst Verbindungen aus Natrium und Schwefel von der Zusammensetzung Na_2S oder Na_2S_3 . Diese dürfen nicht oxydieren, ehe sie auf die Tonerde und Kieselsäure in der Mischung eingewirkt haben; sonst reagiert Kieselsäure auf die Alkalien, die Schwefelverbindungen werden angetrieben und es bilden sich Schlacken etwa nach der folgenden Gleichung:



In der Aluminiumindustrie wird Bauxit mit Soda bei etwa 1200° geglüht, die Schmelze mit Wasser behandelt und aus der wässrigen Lösung das Aluminiumhydroxyd ausgeschieden. Letzteres wird durch Calcinieren in Al_2O_3 (Tonerde) umgewandelt und zur weiteren Gewinnung des Aluminiums verarbeitet. Man benutzt hierfür verschiedenste Ofentypen, wie Flammöfen, Muffelöfen usw. In der neueren Zeit findet Verwendung der Drehrohrofen, in dem sowohl das Schmelzen als auch das Calcinieren erfolgt. Der Drehrohrofen wird mit Schamottesteinen ausgefüttert und hält bei kontinuierlichem

Betriebe monatelang; auch ein Anbacken der Beschickung ist nicht zu beobachten. Beim Calcinieren erfolgt ein chemischer Angriff auf das Ofenfutter noch weniger als beim Sodaaufschluß, da die Tonerde einer Sinterung nicht unterliegt und als staubfeines Material den Ofen verläßt.

Zu den Feuerungen der alten Gipsvorbrennöfen (Kammeröfen) finden Schamottesteine mittlerer Güte Verwendung. Bei den neueren Schachtöfen mit innerem Brennkegel müssen die Radialsteine des letzteren, welche mittels Nut und Feder ineinandergefügt sind, mechanisch äußerst fest sein, um die Reibungen der niedergehenden Gipssteine möglichst lange auszuhalten. Ferner wirkt ein Umstand besonders nachhaltig auf die Haltbarkeit der Kegelsteine ein, und zwar ist dies die einseitige Erhitzung derselben im Kegellinnern, während die andere Steinhälfte durch die bei den Auszugöffnungen heraufströmende atmosphärische Luft abgekühlt wird.

12. Elektrische Schmelzöfen.

In den elektrischen Öfen, wo sehr hohe Temperaturen herrschen (Kalkstickstoff, Carbide usw.), kommen in erster Linie Spezialmassen (*Marquardt'sche* Masse, Kohlenstoff, Magnesit, Dynamidon, Tonerde) usw. in Frage (vgl. S. 242 bis 247).

In der Ausfütterung der elektrischen Schmelzöfen der Eisen- und Stahlindustrie richtet man nach *Williams* (*Journ. of the Amer. Cer. Soc.* 1923, Heft 6) in neuerer Zeit das Augenmerk auf eine gesteigerte Verwendung hochtonerdehaltiger feuerfester Tone und auf höhere Brenntemperaturen derselben. Mit einem Zusatz von Al_2O_3 zum Ton bis zur Sillimanitformel ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) und darüber hinaus hat man häufig Erfolge erzielt, da die Erweichungstemperatur dadurch erhöht und auch die Einwirkung von Schlacke und Gasen zuweilen herabgedrückt wird. Voraussetzung ist dabei hohe Brenntemperatur, so daß die Schwindung des Bauxits schon im Herstellungsbrand beendet ist. Gut eingeführt sind einige Spezialerzeugnisse wie Siliciumcarbid sowie Magnesitfabrikate. Über geschmolzene Tonerde, Sillimanit, Spinell und Zirkon liegen dagegen praktisch verwertbare Resultate endgültig noch nicht vor.

Bei den elektrisch beheizten Messingschmelzöfen unterscheidet man: zwischen folgenden Arten¹: a) Öfen mit körnigem Widerstand; b) Öfen mit beweglichen mittelbaren Lichtbogen; c) Induktionsöfen.

a) Der Messingschmelzofen mit körnigem Widerstand enthält die Wärmequelle in einer Carborundummulde. Gekörnte Widerstände neigen zur Entwicklung heißer Stellen, so daß das Carborundum beinahe das einzige Futter ist, was an dieser Stelle in Betracht kommt. Die sonstige Lebensdauer der feuerfesten Ausfütterung in diesen Öfen ist bei niedrigem Kraftaufwand (105 kW) günstig. Der eingestampfte Herd aus Corundit oder aus Carborundum, feuerfestem Sand und feuerfestem Ton oder anderen für den Zweck

¹ *Gillett* und *Mack*, *Journ. Americ. Cer. Soc.* 1924, Heft 4, S. 288; Übersetzung: Chemische Apparatur XI (1924), Hefte 13 u. 14.

geeigneten Stoffen schmolz oft 500 t, aber die meisten Herde wurden schon früher abgerissen, weil die Widerstandsmulde öfter ersetzt werden mußte und die Besitzer gewöhnlich den Herd auch gleichzeitig auskleiden ließen, wenn der Ofen kalt war. Solche gestampften Herde haben sich nicht so gut bewährt, wie die aus Steinen gemauerten.

Die Mulden hielten in dem 105 kW-Ofen einen Durchsatz von 125 bis 500 t, durchschnittlich vielleicht 375 t aus. Die Pfeiler aus Corundit- oder Silikaziegel, die die Mulde stützten, wurden oft beschädigt beim Füllen oder Schüren, und manche schlechtere Ergebnisse gingen zu Lasten dieser Zwischenfälle.

Wände und Decke, gewöhnlich aus Corundit, überdauern meist mehrere Mulden.

Ein Verbraucher, der Aluminiumbronze in solchem Ofen schmolz, benutzte einen Herd, ausgemauert mit gemahlene feuerfesten Ziegeln, Corunditton und Aluminiumspänen. Die Oxydation der Späne bedingt das Zusammenschweißen des Herdes. Auf solchem Herde werden 750 bis 1000 t gewonnen. Die geschmolzenen Legierungen nahmen jedoch Aluminium auf, was für manche Arten von Messing verhängnisvoll werden kann.

b) Die Öfen mit beweglichen mittelbaren Lichtbogen sind meistens mit hochtonerdehaltigen feuerfesten Ziegeln, wie Corundit oder Suprafax, ausgefüttert. Die Lebensdauer der Auskleidung entspricht je nach der Ofengröße einem Durchsatz von 500 bis 600 t. Die Korrosionen der Auskleidung sind neben der Schädigung durch unachtsames Füllen hauptsächlich auf das Eindringen von Metall zurückzuführen. Die Auskleidung wird nicht nur durch die Ausdehnung des eingedrungenen Metalls beschädigt, sondern auch dadurch, daß das letztere die Wärmeleitfähigkeit der Auskleidung steigert. Das Eindringen von Zinkdampf in den Teil, der die Decke bildet, ist während der ersten Zeit der Erhitzung ebenso schlimm oder noch ärger als das Eindringen flüssigen Metalls.

Die tonhaltige Ausfütterung versagt meist infolge langsamer Verwitterung in der Decke und an den nicht ausgewaschenen Enden, vermutlich durch den Eintritt von Zinkdampf und darauf folgende Kondensation, wenn der Ofen auskühlt. Dies führt zu einem allmählichen Dünnerwerden der Decke, und schließlich folgt daraus der Zusammenbruch der inneren Schicht der Auskleidung. Der Herd wird weniger beschädigt als die Decke.

c) Für die Induktionsöfen benutzt man eine Stampfmischung von Asbest und feuerfesten Ton mit Zusatz von gemahlene feuerfesten Ziegeln. Die Asbestschnitzel dienen zur Ausfüllung etwa entstehender Sprünge und verhindern den Eintritt von geschmolzenem Metall in dieselben. Wenn die Sprünge sich weiter entwickeln und das Metall sich durch die Hülle hineinarbeitet, so daß Kurzschluß entstehen kann, sind die elektrischen Voraussetzungen gestört und der Ofen kann nicht mehr arbeiten. Asbest behält natürlich nicht seine Geschmeidigkeit, sondern wird bei höheren Temperaturen brüchig. Im allgemeinen herrschen aber hier keine hohen Tempera-

turen, so bei Zinkmessinglegierung 1125°C , bei Nickelmessing und roten Messing 1350°C .

Wenn die Auskleidungen hier zugrunde gehen, so ist ihr Versagen gewöhnlich die Folge eines Überzuges von Zinkoxyd oder Schlacke, der sich im Widerstandsrohr in so hohem Grade bildet, daß er nicht mehr auszukratzen ist.



Fig. 36. Elektrischer Widerstand von Schamotte.

Im allgemeinen unterscheiden sich die Ansprüche an das feuerfeste Material in den elektrisch beheizten Öfen nur wenig von den in gas-, kohle- oder ölbeheizten Öfen. Wir verweisen daher noch auf einige andere Elektroöfen, die in anderen Kapiteln (s. S. 96, 176 usw.) verstreut sind.

Die elektrische Leitfähigkeit der Schamotte haben *Maksimenko* und *Subtschaninoff* (Techn.-Ekonom.-Wjest. 1922, Heft 4 bis 5, S. 548), untersucht. Die Versuche wurden an zylindrischen Körpern von 40 mm Höhe und 16 mm Durchmesser vorgenommen. Die Resultate sind in der Fig. 36 graphisch dargestellt.

Für quarzhaltige Steine sind diese Werte nach *Jachontoff* (Techn.-Ekonom.-Wjest. 1922, Heft 4 bis 5, S. 544) bedeutend höher: bei $1300^{\circ}\text{C} = 9700\ \Omega$ pro Kubikzentimeter, bei $1500^{\circ}\text{C} = 710\ \Omega$ und bei 1565°C nur noch $18\ \Omega$.

13. Gasgeneratoren.

Hierher gehören die bekannten Gaserzeuger für Luftgas, Mischgas, Wassergas, Mondgas, Doppelgas, Trigas usw. Die vorkommenden Temperaturen betragen beim Luftgasprozeß etwa 1400°C , im Mischgasbetrieb etwa 1300° , so daß Temperaturen von über 1500°C in solchen Gaserzeugern kaum überschritten werden. Wenn also die rein thermische Beanspruchung als nicht besonders hoch bezeichnet werden kann, sind für die Wahl des feuerfesten Materiales die Einflüsse der Schlacken der Brennstoffe bedeutend wichtiger. In der Zusammensetzung der Asche bestehen sehr weitgehende Abweichungen, sowohl bezüglich des chemischen Verhaltens, wie auch hinsichtlich der Schmelztemperatur (vgl. S. 62—67). Das für die Schmelzbarkeit und den Charakter der Asche wesentliche Verhältnis $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$ wechselt bei verschiedenen Kohlen oder Koks sehr stark, desgleichen der Gehalt an Beimischungen, wie z. B. Fe_2O_3 . Deshalb muß das feuerfeste Material dem Charakter der Schlacke angepaßt werden. *Fischer*¹ berichtet, daß ein sonst ausgezeichnete Schamottestein einer Schlacke mit 26 Proz. Al_2O_3 , 62 Proz. SiO_2 , 7 Proz. MnO und Rest als Alkalien und Phosphorsäure nicht widerstehen konnte und deshalb durch andere Qualität ersetzt werden mußte. Vor allem aber muß dasselbe bei der

¹ Kraftgas. 1911. S. 89.

Verwendung in Generatoren sehr dicht, sowie mechanisch fest (wegen des Anpralles der Beschickung beim Füllen der Generatoren) sein. Im praktischen Betriebe pflegt man in dem unteren, dem Feuer hauptsächlich ausgesetzten Teile der Mischgas- und Wassergasgeneratoren mit Schamottesteinen von einem Segerkegelschmelzpunkt 32 bis 34, in den oberen Teilen mit solchen von Segerkegel 30 bis 31 auszumauern. Die Steine müssen glatte Flächen aufweisen, um den Schlacken möglichst wenig Angriffspunkte zu bieten. Die Zusammensetzung geeigneter Steine für Generatoren bewegt sich in folgenden Grenzen¹:

SiO ₂	61,29 bis 65,51	Proz.
Al ₂ O ₃	34,77 „ 29,71	„
Fe ₂ O ₃	1,81 „ 1,76	„
CaO	0,26 „ 0,45	„
MgO	0,17 „ 0,45	„
K ₂ O	1,22 „ 1,33	„
SO ₃	0,23 „ 0,61	„
Glühverlust	0,25 „ 0,18	„

In einem Ölgasgenerator, wo das feuerfeste Material etwas stärker beansprucht wird als in einem Wassergasgenerator, haben sich nach *Joung*² Steine mit etwa 55 Proz. Kieselsäure und 5 Proz. Gesamtflußmittel (Eisen, Kalk, Magnesia, Kali) bewährt. Ferner soll sich der folgende Anstrich dabei gut bewährt haben. Nach Fertigstellung des Generators wurde die Oberfläche der Ausmauerung des Mantels und der Kuppel mit einer Mischung aus feuerfestem Ton und 5 bis 10 Proz. Salz übertüncht. Beim Heißwerden des Generators kommt dieses Tonsalzgemisch zum Schmelzen und die Oberfläche des gesamten Mauerwerks, mit Ausnahme der Gittersteine, wird dadurch mit einer starken Glasur überzogen, welche dem Mauerwerk das Aussehen gibt, als ob es aus einem Stein hergestellt wäre. Eine seit 3 Jahren im Gebrauch befindliche Kuppel sah noch wie neu aus.

Die Anforderungen, welche das feuerfeste Material zu erfüllen hat, wachsen bei Schlackenabstichgeneratoren. Hier liegen ähnliche Verhältnisse vor wie beim Hochofen, und die Wahl des Ausmauerungsmaterials hätte besonders hinsichtlich des Verhaltens der Schlacke nach ganz ähnlichen Gesichtspunkten zu erfolgen.

Für das feuerfeste Material zum Auskleiden der Staubsäcke, Rohrleitungen und Gaskanäle zum Fortleiten des heißen Gases sind die Ansprüche gering, da die Temperatur des heißen Gases beim Austritt aus dem Generator höchstens 800° C beträgt. Die im Gas enthaltenen Teerbestandteile und Schwefelwasserstoffverbindungen sind für das Mauerwerk der Heißgasleitungen ungefährlich.

¹ *Oetken in Singer, Die Keramik im Dienste der Volkswirtschaft S. 586.*

² *Chem. Eng. 1914, Heft 1, S. 11.*

14. Dampfkesselfeuerungen.

Über die Anforderungen, die an einen zur Ausmauerung von Dampfkesselfeuerungen bestimmten feuerfesten Stein („Kesselqualität“) zu stellen sind, gehen die Ansichten weit auseinander, was durch die aus Verbraucherkreisen gestellten verschiedenartigsten Lieferungsbedingungen bewiesen wird. Die Hauptursache hierfür dürfte darin zu suchen sein, daß die gesamten, in der Industrie vorkommenden Kesselfeuerungen sehr verschiedener Art sind. Unter „Kesselqualität“ etwa nur ein einheitliches Erzeugnis mit gleichen Eigenschaften zu verstehen, ist deshalb untunlich.

Wenn man in Fachkreisen der feuerfesten Industrie unter „Kesselqualität“ tatsächlich Steine von minderer Feuerfestigkeit und geringerer Güte versteht, so ist zu berücksichtigen, daß eine solche Gütebezeichnung nur relativ aufzufassen ist, und zwar im Vergleich mit den für Ausmauerung von Hochöfen, Martinöfen, Koksöfen usw. zur Verwendung gelangenden hochwertigen feuerfesten Steinen. Bestellt man für Kesselausmauerung einfach Steine „Kesselqualität“, so ist man hierbei vor Überraschungen wenig geschützt. Die Mißerfolge, die in solchen Fällen auftreten, sind aber nicht immer auf die Qualität der Steine oder auf die unsachgemäße Bedienung der Feuerung durch Heizer zurückzuführen, sondern haben häufig ihren Grund mehr darin, daß die Wahl einer geeigneten Qualität nicht nach richtigen Gesichtspunkten geschehen ist, bzw. ist dabei den Faktoren (Temperaturen, Brennstoffart, Charakter und Menge der Brennstoffschlacke, Belastung der Kesselanlagen, Feuerungstypen usw.), welche in solchen Fällen von außerordentlicher Bedeutung sind, von vornherein nicht die nötige Aufmerksamkeit geschenkt worden.

Es ist schon aus dem Grunde falsch, allgemein von „Kesselqualität“ zu sprechen, weil beinahe für jede ortsfeste¹ Dampfkesselfeuerung mindestens zwei, häufig aber auch drei verschiedene Steinsorten in Frage kommen können:

1. Steine, die unmittelbar mit der glühenden Kohlschicht in Berührung kommen.
2. Steine, die von den Heizgasen mit Flammenentwicklung in Berührung kommen.
3. Steine, welche nur mit Heizgasen ohne Flammenentwicklung in Berührung kommen.

Es ist ohne weiteres klar, daß der Stein am Rost etwas ganz anderes auszuhalten hat als ein solcher am Fuchs.

Man hat aber bei den Dampfkesselsteinen nicht nur in bezug auf den Grad der Beanspruchung, sondern auch auf sonstige Anforderungen Rücksicht zu nehmen. Diese Anforderungen sind verschiedener Art und erstrecken sich auf den Widerstand der Steine gegen:

¹ Für nicht ortsfeste Kesselfeuerungen sowie für Schiffskessel oder Kesselfeuerungen für flüssige Brennstoffe erfahren die weiter gekennzeichneten Verhältnisse eine Verschiebung bzw. treffen nicht ganz zu (vgl. weiter unten).

1. Hohe Temperaturen,
2. mechanische Beanspruchung,
3. Temperaturwechsel,
4. Volumenveränderungen und
5. chemische Einflüsse.

Zu 1. Bezüglich der Feuerfestigkeit der Steine ist zu bemerken, daß deren Güte im allgemeinen den in Dampfkesseln herrschenden Temperaturen angepaßt werden muß. Wenn auch normalerweise die Temperaturen in den Dampfkesseln zwischen 950 und 1400° C schwanken, so können durch den zur Verwendung kommenden Brennstoff, durch die Bauart, sowie den Anstrengungsgrad der Feuerung, ferner durch Wärmestauung, Stichflammen usw. unter Umständen immerhin auch höhere Temperaturen bedingt werden. Nimmt man als Höchsttemperatur im Dampfkessel 1500° an, so folgt daraus noch keineswegs, daß Steine, die beim Segerkegel 18 (welcher dieser Temperatur von 1500° entspricht) „stehen“, für den vorliegenden Zweck absolut geeignet sind. Es muß beachtet werden, daß bei den im dauernden Feuer befindlichen Steinen noch lange vor dem sog. Schmelzpunkt eine Erweichung eintritt. Man muß sich aus diesem Grunde entweder über das wechselvolle Intervall zwischen dem Segerkegel-Schmelzpunkt und dem Erweichungspunkt des betreffenden Steines informieren oder für die Feuerung wenigstens solche Steine ausersehen, die bei einer Temperatur zu erweichen (also nicht schmelzen) beginnen, welche oberhalb der höchsten im Kessel auftretenden Temperaturen liegt. Im allgemeinen dürften die nachstehenden Feuerfestigkeiten genügen: Für die stärker beanspruchten Partien (die von Heizgasen mit Flamm-entwicklung berührt werden) etwa Segerkegel 31 bis 33 und für die weniger beanspruchten Partien der Kesselfeuerungen etwa Segerkegel 26. Für die feuerfeste Ausmauerung des Fuchses, wo bedeutend niedrigere Temperaturen herrschen, kommen naturgemäß andere, entsprechend minderwertigere und daher auch billigere Steine in Frage.

Zu 2. Bezüglich der mechanischen Festigkeit hat man bei Dampfkesselausmauerungen zwischen verschiedenen Sorten von feuerfesten Steinen zu unterscheiden. Es ist selbstverständlich, daß die Partien, die mit der glühenden Kohlschicht in Berührung kommen, in stärkerem Maße einer Abnutzung durch Reibung und Schürstangenbehandlung infolge der durch das Schüren hervorgerufenen Bewegung von Kohlen und Schlacken unterworfen werden als in den übrigen Teilen der Feuerung, die nur der Wirkung der Heizgase ausgesetzt sind, welche allerdings mit einer Geschwindigkeit von 2 bis 6 m/sek vorbeistreichen. Das Maß für die mechanische Festigkeit ist die Druckfestigkeit.

Die Druckfestigkeit der feuerfesten Baustoffe hängt von verschiedenen Umständen ab und zeigt weite Schwankungen (zwischen 60 und 200 kg pro qcm). Die Wahl einer Norm für Druckfestigkeit kann nur auf Grund der Untersuchung der jeweiligen lokalen Verhältnisse erfolgen. Im allgemeinen ist es bei der Lieferung feuerfester Steine überhaupt nicht üblich, eine be-

stimmte Druckfestigkeit vorzuschreiben. Bei den für Kesselfeuerungen bestimmten Steinen kann ohne weiteres davon Abstand genommen werden.

Zu 3. Die Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel wird nur von den unmittelbar für die Feuerung verwandten Steinen verlangt. Durch die kalte Zugluft beim Öffnen der Feuertür, sowie durch die rasche Temperaturerniedrigung beim Löschen des Feuers treten Temperaturschwankungen auf, denen das feuerfeste Material widerstehen muß. Steine mit grobkörnigen Magerungsmitteln widerstehen solchem Temperaturwechsel besser als dichte und nur aus feinkörnigen Stoffen hergestellte Steine. Aus dem gleichen Grunde kommt hier die Verwendung von hochkieselsäurehaltigen Kalk- bzw. Tonquarzsteinen (Silika, Dinas usw.) weniger in Frage, weil die guten Eigenschaften solcher Steine mehr im konstanten Feuer als im Feuer mit stark veränderlichen Temperaturen zutage treten.

Zu 4. Was die Raumbeständigkeit betrifft, so muß diese Forderung, da bei jeder Kesselausmauerung Gewölbe vorkommen, erfüllt sein. Dieses ist jedoch nur für die stärker beanspruchten Partien der Kesselausmauerung von Bedeutung. Von der früheren kaiserl. deutschen Marine wurde vorgeschrieben, daß Schamottesteine für Schiffskessel nicht mehr als 2 Proz. in jeder Maßrichtung wachsen oder schwinden. Unter den bei einer Kesselfeuerung herrschenden Verhältnissen kann diese Forderung von jedem besseren Erzeugnis erfüllt werden. Halbsaure Steine können in dieser Hinsicht gute Dienste leisten.

Es sei noch bemerkt, daß auch hier, wie in vielen anderen Fällen der Verwendung feuerfester Steine, häufig die eine Eigenschaft des Steines naturgemäß die andere verlangte Eigenschaft ausschaltet. So kann z. B. ein dichter Stein nicht raumbeständig sein, ein poröser Stein zeigt dagegen eine schlechtere Wärmeleitfähigkeit als ein dichter Stein; ein poröser Stein weist ferner eine niedrigere mechanische Festigkeit auf als ein dichtgebrannter Stein, ist aber widerstandsfähiger gegen Temperaturwechsel usw. Es ist also die Sache des Fabrikanten, einen Stein herzustellen, der den Eigenarten des jeweiligen Verwendungszweckes weitgehendst Rechnung trägt.

Zu 5. Die chemischen Einflüsse bestehen in den Einwirkungen der Schlacke und des Flugstaubes auf die feuerfesten Steine. Chemische Agenzien, basischer oder saurer Natur, finden sich in der sich verflüssigenden Schlacke, in der Asche der Kohlen, ferner können aber als solche auch sich verflüchtende bzw. zersetzende Salze des Brennmaterials, stark reduzierende Heizgase usw. auftreten. Durch alle diese genannten chemischen Stoffe kann unter Umständen eine mehr oder weniger schnelle Zerstörung des Mauerwerks herbeigeführt werden. Je dichter die Steine sind, um so besser widerstehen sie diesen Angriffen. Ein völlig dichter Stein kann nur an seiner Oberfläche angegriffen werden, bei einem porösen Stein dagegen dringt die Schlacke in das Innere und die Zerstörung geht in viel größerem Umfange vor sich. Das Maß der Dichtigkeit ist die Porosität bzw. die Wasseraufnahmefähigkeit, welche sich in den Grenzen zwischen 10 bis 20 Proz. bewegt. In der Porosität der feuerfesten Steine liegt auch der Grund, der zu der Übung

geführt hat, bei der Ausmauerung einer Kesselfeuerung, an der der Feuerung zugekehrten Seite, behauene Steine möglichst zu vermeiden. Ferner versucht man durch Überziehen der am meisten gefährdeten Steinschichten mit einer Mörtelschicht oder besonderen Anstrichmassen, wie Klebsande usw. (Vgl. S. 255) ihre Lebensdauer zu erhöhen. Je nach dem Charakter und der Zusammensetzung der Schlacke ist die Verwendung von sauren, basischen oder neutralen Steinen geboten. Unter „sauer“ oder „basisch“ versteht man in der feuerfesten Industrie ganz was anderes als in den sonstigen chemisch-technologischen Prozessen (vgl. S. 5—6). Als Regel gilt im allgemeinen, daß für Schlacke saurer Natur auch ein feuerfester Stein von saurer Beschaffenheit verwendet wird. Bei der Schlacke einer Kesselfeuerung handelt es sich meistens um eine solche sauren Charakters, woraus sich dann die Anwendung eines gleichartigen feuerfesten Steines ergibt, d. h. eines solchen mit verhältnismäßig hohem Kieselsäuregehalt. Andererseits hat man aber bei Schlackenbädern, wo also die Schlacke in äußerst weitgehender Form zur Einwirkung auf das Futter gelangt, die Erfahrung gemacht, daß sich Baustoffe mit möglichst hohem Tonerdegehalt am besten bewähren, gleichgültig, ob es sich um Schlacke basischer oder saurer Natur handelt. Steine, deren Bestandteile sich im Feuer in bezug auf Ausdehnung ungleich verhalten¹, sind im allgemeinen leichter der Zerstörung durch Schlacke, Asche u. dgl. ausgesetzt als solche aus gleichartigen Stoffen. Zu den Steinen aus ungleichartigen Stoffen sind solche aus Bindeton und Quarz bestehend, zu den aus gleichmäßigen Stoffen hergestellten solche aus Bindeton und Schamotte zu rechnen. Bei den aus ungleichmäßigen Stoffen hergestellten Steinen (hierzu gehören auch die Tondinassteine), wird durch die Ausdehnung der Quarzkörner während des betriebsmäßigen Gebrauches das Gefüge der Steine gelockert, wenn die Steine vorher im Brennofen der feuerfesten Fabrik nicht genügend hoch und lange gebrannt wurden. Auf der Berührungsfläche des Quarzes mit dem Tone entstehen dann feine Spalten, durch welche die geschmolzene Schlacke in das Innere des Steines eindringt. Der Querschnitt eines solchen Steines, der längere Zeit dem Angriff basischer Schlacke ausgesetzt war, zeigt, daß die Schlacke tief in den Stein eingedrungen und von dem porösen Bindeton aufgesogen worden ist, während die Quarzkörner unversehrt in dem von Schlacke geschwärtzten und zum Teil zur Schmelzung gebrachten Bindeton eingebettet liegen. Die Schlacke zerstört also, obgleich sie basisch ist, nicht den Quarz, sondern den Bindeton; aber der Quarz lockert durch seine Volumenänderung den Stein und ermöglicht so das Eindringen der Schlacke. Je nach der Zusammensetzung der Schlacke oder Asche wird man also zu erwägen haben, ob in dem besonderen Falle Tonquarzsteine anwendbar sind oder ob nicht eher reine Schamottesteine am Platze sind. Oftmals enthält das Brennmaterial, besonders Steinkohlen, nicht unbeträchtliche Mengen von Salzen. Dieses Salz verflüchtigt sich in der Hitze, verdampft zum Teil und wird durch die Kieselsäure der glühenden, feuerfesten Steine bei Gegenwart der

¹ Wärme- und Kältetechnik. 1922. Heft 16.

nie fehlenden Wasserdämpfe in Natron und Chlorwasserstoff zersetzt. Das Natron bildet mit den wichtigsten Bestandteilen der feuerfesten Steine (Kieselsäure und Tonerde) nach Art der Salzglasur eine leichtflüssige Schlacke, während die Chlorwasserstoffentwicklung ein schwammartiges Aussehen der Steine zur Folge hat. (*Ritter, Wärme u. Kältetechnik 1922, Heft 16.*) Letzteres macht sich besonders bei der Verfeuerung von Koks bemerkbar.

Die Dichte wie überhaupt die physikalischen Eigenschaften der Steine spielen also eine viel größere Rolle als ihre chemische Zusammensetzung.

Zum Bau von hochbeanspruchten Feuerbrücken werden hochwertige Schiefertone und zuweilen aus geschmolzener Tonerde (Korund) hergestellte feuerfeste Steine verwendet. Zu den Feuerbrücken verlangt man Schamottesteine von besonderer Güte, da durch das fortwährende Öffnen der Feuertüren bei der Rostbeschickung die Steine kolossal Not leiden und bald rissig werden und abbröckeln. Am besten halten sich besonders geformte massive Stücke mit vorn abgerundeter Kante und Falz für den Rostbalken. Feuerbrücken aus Normalformatsteinen, in Rollschicht gemauert, sind weniger zu empfehlen.

Bei der Ausführung der Einmauerung ist selbstverständlich den höchst beanspruchten Stellen, d. h. dem Feuergewölbe und den Wangen, die größte Aufmerksamkeit zu schenken. Die Verankerung der Gewölbe ist kräftig zu halten, um ein Nachgeben der Wandung zu verhüten. Die Fugen sind möglichst eng zu halten, und der Mörtel muß möglichst dieselbe Beschaffenheit der Steine besitzen. Der Feuerraum ist möglichst geräumig zu halten. Es sind gut passende Keilsteine, die keine Nacharbeit erfordern, zu verwenden. Starke Keilsteine und solche mit Nut und Feder sind nicht zu empfehlen, da eine Ausbesserung sehr schwierig ist. Dicke Steine sind gewöhnlich nicht durchgebrannt und schwinden im Betriebe. Die Zündgewölbe sind so kurz wie möglich zu halten. Um bei Ausbesserungen nicht das ganze Gewölbe erneuern zu müssen, führt man zweckmäßigerweise zwei oder drei voneinander unabhängige Teile aus, die für sich im Verband gemauert werden. Bei Kohlen, die rasch genug zünden, läßt man das Gewölbe möglichst hoch über dem Rost. Ein Behauen der dem Feuer ausgesetzten Flächen der Steine ist zu vermeiden. Die letzte Schicht am Ende des Gewölbes muß möglichst aus Steinen mit halbrunden Ecken bestehen, da eckig gebrannte Steine schneller abbröckeln. Das eigentliche Feuergewölbe, das schon durch die Hitze außerordentlich stark beansprucht ist, darf keine weiteren zusätzlichen Belastungen erhalten, um sich ungehindert ausdehnen zu können. Das darüberliegende Mauerwerk ist deshalb durch ein zweites feuerfestes Gewölbe anzufangen, das von dem unteren Gewölbe durch einen Ausdehnungsspalt von 30 bis 50 mm stark getrennt ist. Bei Fehlen eines solchen Spaltes, der zuweilen auch unachtsamerweise mit Steinresten ausgefüllt ist, wird das Gewölbe eingedrückt. Allgemein sind alle hoch erhitzten Mauerteile von zusätzlichen Kräften und Gewichten zu entlasten.

Besonders hochfeuerfeste Schamottesteine sind auch zur Auskleidung der sehr heißgehenden, mit Heizöl betriebenen Feuerungen erforderlich. An die

zur Ausmauerung der Dampfschiffskessel dienenden feuerfesten Steine wird noch die besondere Anforderung möglichst niedrigen spez. Gewichtes gestellt, um die tote Belastung des Schiffskörpers möglichst niedrig zu halten.

Die Art, Menge und Zusammensetzung der Schlacken, welche auf das feuerfeste Mauerwerk zerstörend einwirken, hängen in erster Linie von dem verwendeten Brennstoff ab. In holzreichen Gegenden verdient deshalb das Holz als Brennstoff in mancher Hinsicht den Vorzug gegenüber der Steinkohle. Aber auch Holz ist nicht immer der Brennstoff, der nur ausgesucht gute Eigenschaften in sich vereint. Bei einer Kesselfeuerung, die mit einer Vorfeuerung ausgestattet war, wurden in Brasilien¹ ganz eigenartige Erfahrungen gemacht. Die Rauchgase der Feuerung gingen in einen neben dem Kessel stehenden Kamin, der in seinem unteren Teil mit feuerfesten Steinen ausgekleidet war. Der Kamin hatte starken Zug, was an sich gern gesehen wird, der aber auch — wie leicht erklärlich — feinen Flugstaub und Aschenteile mit in den Schornstein hinüberzog. Da zeigte sich nun als eigenartige Erscheinung, daß sich der mit den heißen Rauchgasen mitgeführte Flugstaub, der zum größten Teil aus Pottasche bestand, auf den feuerfesten Steinen niederschlug und mit der Oberfläche der Steine eine Art Glasur bildete, bei der zweifellos die wirksamen Kalkverbindungen eine Rolle spielten. Die Glasur auf den feuerfesten Steinen wäre nicht schädlich, wenn sie nur haltbar wäre, die Rinde des Steines fällt aber nach kurzer Zeit ab und der Vorgang beginnt von neuem, und zwar in schneller Aufeinanderfolge. Nach etwa einem Monat mußte die ganze Ausmauerung erneuert werden.

Eine ähnliche Beanspruchung der feuerfesten Steine wie bei den mit Holz gefeuerten Kesseln haben die Koksofensteine auszuhalten bei Öfen, die mit stark kochsalzhaltiger Kohle beschickt werden. Hier hat man zunächst geglaubt, den alkalischen Angriffen durch Verwendung eines hochtonerdehaltigen Steines begegnen zu sollen, es zeigte sich aber, daß diese Steine verhältnismäßig schnell zerstört wurden, während ein Silikastein mit etwa 95 Proz. Kieselsäure der Einwirkung des Chlornatriums sehr gut widerstand (vgl. S. 132—136). Man kann annehmen, daß sich an der Oberfläche der Steine eine vollkommen dichte Haut von Natriumsilikat bildet, welche scheinbar beständiger ist als Natriumtonerdesilikat und welche das Innere des Steines gegen das Eindringen der weiteren Alkalidämpfe schützt.

Wenn man diese Frage von rein chemischen Gesichtspunkten betrachtet, so müßte ein stark basischer, also etwa ein Magnesitstein mit 70 bis 80 Proz. MgO das Geeignete für diesen eigenartigen Fall sein, aber, wie die Erfahrung bei den Koksöfen zeigt, kann nur der praktische Versuch ein richtiges Urteil ermöglichen. Die Zugverhältnisse spielen in solchen Fällen eine bedeutende Rolle. Es erscheint hierfür angebracht zu prüfen, ob der Zug unbedingt in der bisher gewählten Stärke eingehalten werden muß und ob es nicht etwa durch geeignete Änderung der Feuerung möglich gemacht werden kann, mit geringerem Zug auszukommen. Übermäßig starker Zug bewirkt, daß, abgesehen

¹ Tonind.-Ztg. 1922, Heft 62.

vom Mitschleppen von größeren Mengen alkalischen Flugstaubes, die Feuergase erst in weiter Entfernung von der eigentlichen Feuerung richtig verbrennen.

Hohe Ansprüche werden auch an die Qualität der Feuerschirme, Vorderwandschutzmauern bei Eisenbahnlokomotiven gestellt. In kleineren Feuerbüchsen lassen sich vorteilhaft entsprechend geformte Fassonstücke anbringen, größere Schirme mauert man besser aus einzelnen Gewölbsteinen von Normalformatgröße. Die Erfahrung hat auch hier gezeigt, daß Schamottesteine, welche plötzlichen Einwirkungen von kalten Luftströmen ausgesetzt sind, im Format nicht zu groß sein dürfen. Ein Gewölbe aus einzelnen Steinen, sorgfältig aneinandergefügt, wird sich in solchen Fällen stets länger halten als bei der Ausführung in großen Fassonplatten mit wenig Fugen. Gerade die letzteren erweisen sich hier nämlich insofern von Vorteil, als sie zur Ausgleichung der entstehenden Spannungen im Mauerwerk beitragen. Das Hauptaugenmerk bei Lokomotivsteinen ist also auf die Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturschwankungen zu richten, und erst in zweiter Linie kommt der Schmelzpunkt des Materials in Betracht. Steine mit dichtem Gefüge sind absolut unzweckmäßig, dagegen haben sich solche mit recht grobem Korn und genügender Festigkeit bewährt.

Bei Dampfkesseln, die mit den in der letzten Zeit sich immer mehr in Verbreitung befindlichen Kohlenstaubfeuerungen betrieben werden, sind die Ansprüche an das Kesselmauerwerk im großen und ganzen die gleichen wie bei rostgefeuerten Kesseln. Es ist hierbei, abgesehen von den höheren Temperaturen, besonderes Augenmerk den Angriffen der Schlacke zuzuwenden, weil die letztere infolge ihres oft flüssigen, äußerst feinverteilten Zustandes besonders gefährlich werden kann. Im allgemeinen nimmt die Widerstandsfähigkeit feuerfester Steine gegen Alkalien der Schlacke mit wachsendem Gehalt an Tonerde zu, wahrscheinlich aus dem Grunde, weil ein tonerereiches Material im Feuer sein Gefüge wenig ändert und dadurch das Eindringen der Schlacke erschwert. Im großen und ganzen ist jedoch ein dichtes Gefüge wichtiger als ein hoher Tonerdegehalt. Am höchsten werden (nach *Münzinger*) die Feuergewölbe und vor allem die Wangen beansprucht, die die Gewölbe tragen, sowie die Stellen, gegen die der Brenner bläst oder auf welche die flüssige Schlacke niedertropft. Während die an den Seitenwänden des Kessels gelegenen Feuerungswangen eine gewisse, wenn auch kleine Wärmemenge an das Kesselhaus abgeben und eine tiefere Temperatur als die des Feuers haben, nehmen Zwischenwände allmählich nahezu Feuerraumtemperatur an. Gänzlich verfehlt sind Steine mit Doppelnuten und -federn, weil sie zwischen den Nuten infolge gleichmäßiger Erwärmung reißen. Auch sonst verwickelte Ausführungsformen sind nicht so gut wie glatte Keilsteine. Im übrigen sind für die Haltbarkeit der Steine bei mit Kohlenstaub gefeuerten Dampfkesseln die Winke, die im Werk *Münzinger*, Kohlenstaubfeuerungen für ortsfeste Dampfkessel, Julius Springer-Berlin, 1921, S. 75—77 angegeben sind, zu berücksichtigen. Was die Angriffe der Kohlenschlacken bei kohlenstaubgefeuerten Dampfkesseln anbetrifft, so sei auf die Tab. 24 und 25 auf den S. 64 und 65 verwiesen, die ebenfalls demselben Werke entnommen sind.

Die Einführung der Hochleistungskessel mit ihren hohen Feuer-
räumen bereitete vielen Elektrizitätswerken große Schwierigkeiten in der
Herstellung haltbarer Feuergewölbe. Die Ursache war zunächst in der
Beschaffenheit der feuerfesten Baustoffe zu suchen, denn die bisher bei den

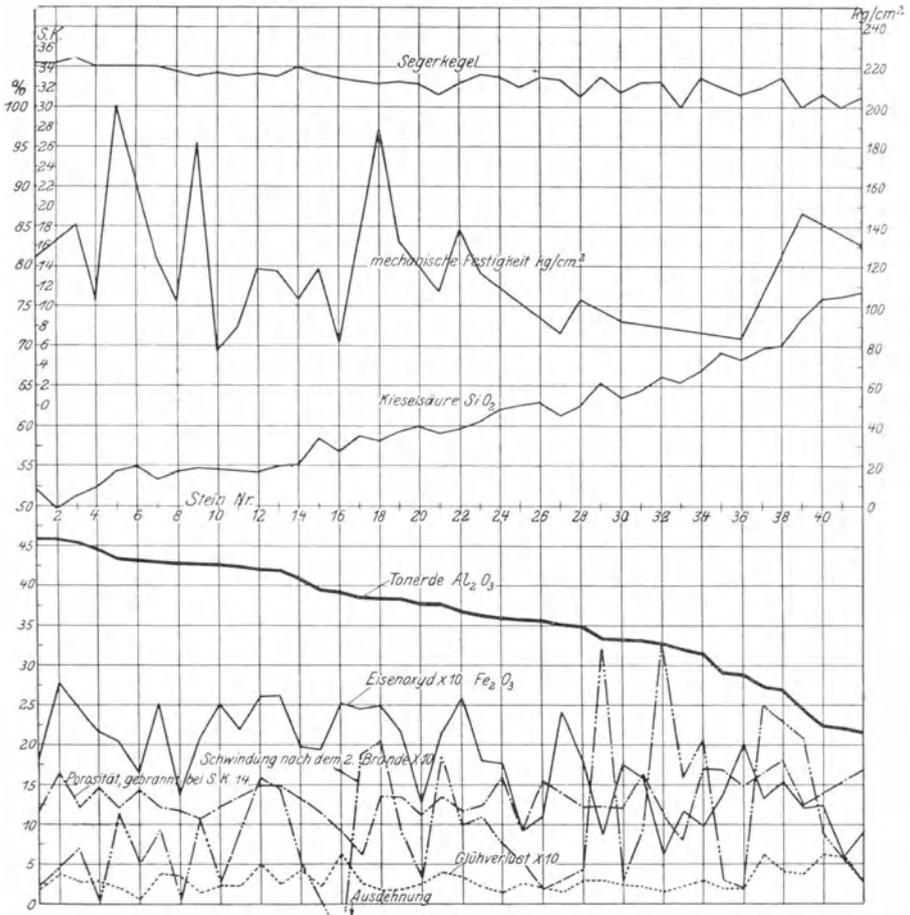


Fig. 37. Eigenschaften von Dampfkesselsteinen in Elektrizitätswerken.

alten Schrägröhrkesseln verwendeten feuerfesten Baustoffe waren den erheb-
lich höheren Beanspruchungen der Hochleistungskessel nicht gewachsen. Das
vom Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk verwandte Material, welches
nach den verschiedentlichen Untersuchungen bis zu 44 Proz. Tonerde aufwies,
hat sich allerdings sowohl mechanisch als feuerungstechnisch gut bewährt.

Einen Überblick über die in den Dampfkesseln verschiedener Elektrizitäts-
werke verwendeten feuerfesten Baustoffe gibt auf Grund einer Rundfrage des
Ausschusses IV der Vereinigung der Elektrizitätswerke die Fig. 37, die mir

liebenswürdigerweise zur Verfügung gestellt wurde. Wie die Schaulinien, in denen die Steine nach ihrem Gehalt an Al_2O_3 geordnet sind, zeigen, ist die Zusammensetzung der Steine außerordentlich verschieden, und trotzdem haben diese sich in den verschiedenartigsten Betrieben gut bewährt. Es ist daher kaum möglich, einen allgemein gültigen Wertmaßstab durch eine starre Regel aufzustellen, vor allem wegen der Verschiedenartigkeit der Kohlschlacke, sondern die vorstehenden Schaulinien können nur Richtlinien für die Beurteilung feuerfester Steine geben. Selbst bei hohen Beanspruchungen muß eine Lebensdauer der Einmauerung von Hochleistungskesseln von 40 000 Betriebsstunden ohne weiteres erreicht werden. Wo die Einmauerung schon in kürzerer Frist erneuert werden muß, dürfte die Wahl der Baustoffe nicht richtig getroffen sein. *Bußmann* schlägt in den „Mitt. d. Verein. d. Elektrizitätswerke 1923, Nr. 346/47, S. 384 Richtlinien für die Aufstellung von Lieferungsbedingungen über feuerfeste Baustoffe für Hochheizungskessel“ vor.

Die Lieferungsbedingungen erstrecken sich auf feuerfeste Materialien, die nicht mehr als 75 Proz. Kieselsäure enthalten.

a) **Feuerfestigkeit.** Die Steine werden in drei Sorten geliefert. Güte I: Solche Steine, welche einer dauernden Temperatur von 1750 bis 1770° C gewachsen sind, entsprechend einem S. K. Nr. 34/35; Güte II: solche Steine, welche einer andauernden Temperatur von 1690 bis 1730° C gewachsen sind, entsprechend einem S. K. Nr. 28/30; Güte III: solche Steine, die dauernd 1630 bis 1670° C ertragen können, entsprechend einem S. K. Nr. 28/30.

Die angegebenen Temperaturen müssen ohne Änderung der Form und Festigkeit dauernd ertragen werden können. Die Schmelzproben sind in oxydierendem Feuer auszuführen.

b) **Zusammensetzung und Beschaffenheit.** Diese soll umfassen: die chemische Zusammensetzung der Steine, die Priorität im Einlieferungszustande, nach dem Brennen bei S. K. 14 oder S. K. 17, die Raumbeständigkeit nach dem 1., 2., 3. oder 4. achtstündigen Brande bei S. K. 14, die Widerstandsfähigkeit gegen Angriff von Schlacke (Zustand der Schlacke, Angriffsfähigkeit). Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel bei langsamem und schnellem Erwärmen und Abkühlen in Luft und mit Wasser, die mechanische Festigkeit (mindestens 130 kg/qcm), die Struktur (der Bruch muß gleichzeitig ohne Risse oder Löcher sein) und die Wasseraufnahme (etwa 15 Proz. des Trockengewichtes).

Maße und Form. Die Steine müssen tadellos nach Maß geformt, die Kanten scharf, die Flächen eben sein. Sie dürfen keine Brandstellen haben. Abweichungen in den Abmessungen gegenüber den Maßen in der Zeichnung dürfen höchstens ± 2 Proz. betragen, jedoch nur bis zu einem Höchstwert von 15 mm. Bei Dimensionen unter 100 mm ist eine Abweichung bis zu ± 3 mm zulässig. Die Durchbiegung darf $1\frac{1}{2}$ Proz. der Länge nicht überschreiten. Die Steine müssen sich mit 3 mm Fuge vermauern lassen.

Raumbeständigkeit. Die Steine dürfen unter keinen Umständen wachsen. Ebenso darf ein Probestück, welches 2 Stunden bei S. K. 14 gebrannt wird, nicht mehr als 1 Proz. schwinden.

Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel im Betrieb. Bei plötzlichem Wechseln der Temperatur dürfen keine betriebsstörenden Risse entstehen, auch dürfen Kantenfestigkeit und Klang nicht beeinträchtigt werden.

Mörtel. Der Mörtel muß den Steinen angepaßt sein und darf keine geringere Feuerfestigkeit aufweisen.

Bezeichnung der Steine. Die Steine sind mit Firmenbezeichnung, Tabellenbezeichnung und Güteangabe zu versehen. Normalsteine brauchen nur Firmenmarke und Gütebezeichnung zu tragen. Die Buchstaben- und Zahlenlänge muß mindestens 25 mm betragen.

Verladung, Verpackung, Transport. Zum Transport zur Verwendungsstelle sind die Steine sorgfältig zu verladen und besonders empfindliche Steine vor Beschädigung zu schützen. Empfindliche Formsteine sind während des Transportes vor Schnee und Regen zu schützen. Gesamtbruch über 1 Proz. der einzelnen Lieferungen geht zu Lasten des Lieferanten. Die Sendung hat möglichst nach Steinsorten getrennt zu erfolgen.

Probesteine und Materialprüfung. Von jeder Steingüte bzw. anderer Mischung sind auf Verlangen fünf Steine in Reichsformat oder anderer rechteckiger Form zur Probe unentgeltlich zu liefern.

Der Abnehmer und seine bevollmächtigten Beamten haben jederzeit Zutritt in das Werk des Lieferanten und das Recht, sich über den Stand der Fabrikation zu unterrichten sowie Proben zu nehmen. Der Abnehmer hat das Recht, das Material ganz oder teilweise zurückzuweisen, wenn es den eingegangenen Bedingungen nicht entspricht.

Mehrlieferung. Die aus Fabrikationsrücksichten und wegen der Bruchgefahr beim Transport mehr angefertigten Steine bis zu 2 Proz. über die bestellte Menge hinaus sind vom Besteller mit abzunehmen. Bei kleineren Stückzahlen und schwierigeren Formaten ist es aus denselben Rücksichten gestattet, die mehr angefertigten Reservestücke, sofern sie den Abnahmebedingungen entsprechen, mitzuliefern und zu berechnen.

Gewährleistung. Der Lieferant haftet während der Dauer von 8000 Betriebsstunden für die Güte, Dauerhaftigkeit und Feuerbeständigkeit der gelieferten Materialien derart, daß er alle innerhalb dieser Frist infolge Lieferung von schlechtem oder fehlerhaftem Material zum Vorschein kommenden Schäden und Fehler beseitigt und alle zu diesem Zwecke erforderlichen Feuerungsarbeiten und Neubauten bewirkt.

Zum Vergleich mit diesen Richtlinien sei noch die folgende, sehr kurz gefaßte Spezifikation von *Hirsch*¹ erwähnt. Er faßt die Ansprüche an das feuerfeste Material der Kesselausmauerungen folgendermaßen zusammen: Möglichst gleichförmiges, rißfreies, festes Gefüge, Feuerfestigkeit nicht unter S. K. 14, Druckfestigkeit nicht unter 80 kg/qcm, Nachschwinden bei S. K. 14 nicht über 2 Proz. und eine dem Charakter der angriffsfähigen Schlacke entsprechende Dichtheit der Steine.

¹ Tonind.-Ztg. 1923, Heft 19—20.

In Frankreich hat *Bodin* Lieferungsbedingungen für feuerfeste Erzeugnisse für Dampfkesselfeuerungen, allerdings im Auftrage des „Syndicats des Fabricants de Produits Ceramiques, Section de Produit Refractaires“ ausgearbeitet, die hier im Auszuge (*La Céramique* 1923, S. 200) wiedergegeben werden. Die Lieferungsbedingungen erstrecken sich auf 1. feuerfeste Erzeugnisse für gewöhnliche Feuerungen, 2. für Unterwindfeuerungen, 3. für Lokomotivfeuerungen und 4. für Feuerungen zur Verwendung flüssiger Brennstoffe oder Windfeuerungen zur Erzielung besonders hoher Temperaturen. Für alle vier Gruppen gemeinsam gilt folgendes: Abweichung von den vorgeschriebenen Maßen nach oben oder unten höchstens 2 Proz. mit einem Minimum der zulässigen Abweichung von 2 mm bei der kleinsten Abmessung. Krümmung oder Biegung der geraden Fläche nach der einen oder anderen Seite höchstens 2 Proz. Auf keinen Fall darf nur das Aussehen der Steine, besonders die Farbe, für die Wertung der Güte bestimmend sein. In jedem Fall müssen die Erzeugnisse nachstehenden Bestimmungen entsprechen:

1. Feuerfeste Erzeugnisse für gewöhnliche Feuerungen; Schmelztemperatur mindestens 1580° C, Längenänderungen nach dreistündiger Erhitzung auf 1300° höchstens 1 Proz., Druckfestigkeit bei gewöhnlicher Temperatur mindestens 100 kg/qcm.

2. Feuerfeste Erzeugnisse für Unterwindfeuerungen: Schmelzpunkt mindestens 1650° C. Längenänderungen nach dreistündiger Erhitzung auf 1500° C, höchstens 1,5 Proz., Druckfestigkeit bei gewöhnlicher Temperatur mindestens 100 kg/qcm Wasseraufsaugung höchstens 14 Proz. des Trockengewichtes.

3. Feuerfeste Erzeugnisse für Lokomotivfeuerungen: wie unter 2., jedoch Druckfestigkeit bei gewöhnlicher Temperatur mindestens 125 kg/qcm.

4. Feuerfeste Erzeugnisse für Feuerung zur Verwendung flüssigen Brennstoffes oder für Windfeuerungen mit außergewöhnlich hoher Temperatur. Schmelztemperatur mindestens 1710° C, Längenänderungen nach zweistündiger Erhitzung auf 1600° C, höchstens 1,5 Proz., Druckfestigkeit bei gewöhnlicher Temperatur mindestens 100 kg/qcm, Wasseraufsaugung höchstens 15 Proz. des Trockengewichtes.

Die vorgeschriebenen Temperaturen dürfen in keinem Falle in weniger als 4 Stunden erreicht werden. Die Wasseraufsaugung wird bestimmt durch den Gewichtsunterschied zwischen dem im Trockenschrank auf 100 bis 110° getrockneten Steinen und denselben Steinen nach 48stündiger Lagerung im Wasser. Die Druckfestigkeit bei gewöhnlicher Temperatur wird an mindestens 4 Steinen bestimmt, die in der Mitte durchgeschnitten und deren beide Hälften mit einer dünnen Schamottemörtelschicht übereinander gekittet sind.

Bei den Schornsteinen kommen bekanntlich keine hohen Temperaturen in Frage. Der untere Teil des Schornsteines wird mit gewöhnlichen feuerfestem Material ausgekleidet. *Bulnheim*¹ berichtet über einen eigenartigen Vorgang,

¹ Tonind.-Ztg. 1922, S. 730; Feuerungstechnik 1922/23, Heft 13, S. 149.

der sich auf die Wirkung der Feuergase von stark sandhaltiger Rohkohle auf Schornsteinmauerwerk bezieht. Zur Befuerung der Kessel diente stark sandhaltige Rohkohle. Infolge des starken Sandgehaltes der Kohle wurden durch den Schornstein so große Mengen Flugasche mitgerissen, daß die Umgebung durch den sehr starken Aschenregen sehr stark belästigt wurde. Die im Fuchskanal und Schornsteinfuß sich ansammelnde Asche verengte den freien Querschnitt. Infolge der sich hierdurch erhöhenden Luftgeschwindigkeit wirkten die mitgerissenen Aschekörnchen wie ein Sandstrahlgebläse und zerstörten nach und nach den der Fuchsmündung gegenüberliegenden Teil des Futters. Zur Verhütung weiterer derartiger Vorkommnisse wurde um den Schornsteinfuß ein schraubenförmig steigender Ringkanal als Flugaschenfänger angebaut. Der lästige Ascheregen hatte aber aufgehört. Da später zu einer weniger sandhaltigen Rohkohlenart übergegangen wurde, ist auch die Menge der jeweils vorgefundenen Aschenmassen bedeutend geringer geworden.

Prüfung.

Allgemein anerkannte und überall gleichmäßig durchgeführte Verfahren zur Prüfung feuerfester Steine, trotzdem es an Vorschlägen und Bemühungen nicht mangelte¹, gibt es noch nicht.

Es ist bei der Prüfung von feuerfesten Steinen die größte Rücksicht auf die Tatsache zu nehmen, daß das Verhalten eines einzelnen Steines in manchen Fällen ein anderes ist als das eines Mauerwerkes, welches aus derselben Steinsorte hergestellt ist. Es ist deshalb zu empfehlen, manche Prüfung, wo es möglich erscheint, an ganzen Mauern durchzuführen. Ist das nicht möglich, so haben die angegebenen Prüfungsmethoden trotzdem einen immensen Wert schon allein aus dem Grunde, weil sie hocheinzuschätzende Vergleichswerte liefern.

Im folgenden sind nur die für praktische Verhältnisse in Betracht kommenden Prüfungsmethoden angegeben. Aus diesem Grunde sind Untersuchungsmethoden für spezifische Wärme, Wärmeleitfähigkeit usw. nicht aufgenommen, weil sie nicht zu den alltäglichen Bestimmungen gehören.

1. Kegelschmelzpunkt.

Die zum Vergleich mit den Segerkegeln herangezogenen Probestücke müssen aus den Steinen herausgeschlagen werden; sie dürfen nicht dadurch hergestellt werden, daß man die Steine pulverisiert und aus dem Pulver Probekörper macht, weil die pulverisierten Proben noch eine Feuerfestigkeit zeigen, die um einen bis anderthalb Segerkegel niedriger ist als die derjenigen Proben, die in den vorliegenden Korngrößen geprüft werden.

Die Segerkegel sind keine Pyrometer, sondern vielmehr Pyroskope. *Sege* schritt zur Aufstellung dieser pyroskopischen Skala für keramische Betriebe, indem er eine Anzahl mit laufenden Nummern bezeichneter tonhaltiger Massen derartig zusammensetzte, daß beim Erhitzen jede mit nachfolgender Nummer bezeichnete Masse etwas später als die vorgehende Nummer niederging. Wie er dabei ausdrücklich hervorhob, lag es ihm völlig fern, seine Kegelskala mit der Celsiusskala in Verbindung zu bringen; er wies vielmehr darauf hin, daß die Anwendung der Normalkegel „ein analoges Verfahren sein würde wie die Messung des Lichtes durch Normalkerzen, d. h. Lichtkerzen von ganz bestimmten Dimensionen, bestimmter Konstruktion

¹ *Cosmo Johns*, Die Vereinheitlichung der Untersuchungsmethoden für feuerfeste Materialien. Eng. Bd. 106 (1918), S. 340 bis 342 u. 369 bis 372.

des Dochtes, von bestimmtem Verbrauch der die Verbrennung unterhaltenden Stoffe in der Zeiteinheit. Das Licht derartiger, immer in gleicher Weise, an derselben Stelle hergestellter Kerzen bildet für die Messung die Einheit; hier würde es sich darum handeln, aus denselben Rohmaterialien bestimmte Glasuren von möglichst gleichmäßiger Zusammensetzung an derselben Stelle herzustellen und den Schmelzpunkt dieser für die Bestimmung der erreichten Temperaturen im Ofen zu benutzen.“

Die Zusammensetzung, chemische Formel, annähernder Schmelzpunkt in Celsiusgraden der verschiedenen Segerkegel ist in der Tab. 41 angegeben.

Tabelle 41.

Zusammensetzung und annähernde Schmelztemperaturen der Segerkegel.

Nr.	Schmelzpunkt in °C	Chemische Zusammensetzung								
		0,25 MgO	0,25 CaO	0,50 Na ₂ O	—	1 B ₂ O ₃	0,02 Al ₂ O ₃	1,04 SiO ₂		
021	650	0,25 MgO	0,25 CaO	0,50 Na ₂ O	—	1 B ₂ O ₃	0,02 Al ₂ O ₃	1,04 SiO ₂		
020	670	0,25 „	0,25 „	0,50 „	—	1 „	0,04 „	1,08 „		
019	690	0,25 „	0,25 „	0,50 „	—	1 „	0,08 „	1,16 „		
018	710	0,25 „	0,25 „	0,50 „	—	1 „	0,13 „	1,26 „		
017	730	0,25 „	0,25 „	0,50 „	—	1 „	0,2 „	1,4 „		
016	750	0,25 „	0,25 „	0,50 „	—	1 „	0,31 „	1,61 „		
015a	790	0,136 „	0,432 „	0,432 „	—	0,86 „	0,34 „	2,06 „		
014a	815	0,230 „	0,385 „	0,385 „	—	0,77 „	0,34 „	1,92 „		
013a	835	0,314 „	0,343 „	0,343 „	—	0,69 „	0,34 „	1,78 „		
012a	855	0,314 „	0,341 „	0,345 „	—	0,68 „	0,365 „	2,04 „		
011a	880	0,311 „	0,340 „	0,349 „	—	0,68 „	0,4 „	2,38 „		
010a	900	0,313 „	0,338 „	0,338 „	0,011 K ₂ O	0,675 „	0,423 „	2,626 „		
09a	920	0,311 „	0,335 „	0,336 „	0,018 „	0,671 „	0,468 „	3,087 „		
08a	940	0,314 „	0,369 „	0,279 „	0,038 „	0,559 „	0,543 „	2,691 „		
07a	960	0,293 „	0,391 „	0,261 „	0,055 „	0,521 „	0,554 „	2,984 „		
06a	980	0,277 „	0,407 „	0,247 „	0,069 „	0,493 „	0,561 „	3,197 „		
05a	1000	0,257 „	0,428 „	0,229 „	0,086 „	0,457 „	0,571 „	3,467 „		
04a	1020	0,229 „	0,458 „	0,204 „	0,109 „	0,407 „	0,586 „	3,860 „		
03a	1040	0,204 „	0,484 „	0,182 „	0,130 „	0,363 „	0,598 „	4,199 „		
02a	1060	0,177 „	0,513 „	0,157 „	0,153 „	0,314 „	0,611 „	4,572 „		
01a	1080	0,151 „	0,541 „	0,134 „	0,174 „	0,268 „	0,625 „	4,931 „		
1a	1100	0,122 „	0,571 „	0,109 „	0,198 „	0,217 „	0,639 „	5,320 „		
2a	1120	0,096 „	0,599 „	0,085 „	0,220 „	0,170 „	0,652 „	5,687 „		
3a	1140	0,067 „	0,630 „	0,059 „	0,244 „	0,119 „	0,667 „	6,083 „		
4a	1160	0,048 „	0,649 „	0,043 „	0,260 „	0,086 „	0,676 „	6,339 „		
5a	1180	0,032 „	0,666 „	0,028 „	0,274 „	0,056 „	0,684 „	6,565 „		
6a	1200	0,014 „	0,685 „	0,013 „	0,288 „	0,026 „	0,693 „	6,801 „		
7	1230	—	0,7 „	—	0,3 „	—	0,7 „	7,0 „		
8	1250	—	0,7 „	—	0,3 „	—	0,8 „	8,0 „		
9	1280	—	0,7 „	—	0,3 „	—	0,9 „	9,0 „		
10	1300	—	0,7 „	—	0,3 „	—	1 „	10,0 „		
11	1320	—	0,7 „	—	0,3 „	—	1,2 „	12,0 „		
12	1350	—	0,7 „	—	0,3 „	—	1,4 „	14,0 „		
13	1380	—	0,7 „	—	0,3 „	—	1,6 „	16,0 „		
14	1410	—	0,7 „	—	0,3 „	—	1,8 „	18,0 „		

Tabelle 41. Fortsetzung.

Nr.	Schmelzpunkt in °C	Chemische Zusammensetzung										
15	1435	—	0,7	CaO	—	0,3	K ₂ O	—	2,1	Al ₂ D ₃	21,0	SiO ₂
16	1460	—	0,7	„	—	0,3	„	—	2,4	„	24,0	„
17	1480	—	0,7	„	—	0,3	„	—	2,7	„	27,0	„
18	1500	—	0,7	„	—	0,3	„	—	3,1	„	31,0	„
19	1520	—	0,7	„	—	0,3	„	—	3,5	„	35,0	„
20 ¹	1530	—	0,7	„	—	0,3	„	—	3,9	„	39,0	„
26	1580	—	0,7	„	—	0,3	„	—	7,2	„	72,0	„
27	1610	—	0,7	„	—	0,3	„	—	20	„	200	„
28	1630	—	—	—	—	—	—	—	1	„	10	„
29	1650	—	—	—	—	—	—	—	1	„	8	„
30	1670	—	—	—	—	—	—	—	1	„	6	„
31	1690	—	—	—	—	—	—	—	1	„	5	„
32	1710	—	—	—	—	—	—	—	1	„	4	„
33	1730	—	—	—	—	—	—	—	1	„	3	„
34	1750	—	—	—	—	—	—	—	1	„	2,5	„
35	1770	—	—	—	—	—	—	—	1	„	2	„
36	1790	—	—	—	—	—	—	—	1	„	1,66	„
37	1825	—	—	—	—	—	—	—	1	„	1,33	„
38	1850	—	—	—	—	—	—	—	1	„	1,0	„
39	1880	—	—	—	—	—	—	—	1	„	0,66	„
40	1920	—	—	—	—	—	—	—	1	„	0,33	„
41	1960	—	—	—	—	—	—	—	1	„	0,13	„
42	2000	—	—	—	—	—	—	—	1	„	—	„

Die Segerkegel erweichen mit dem Fortschreiten der Hitze allmählich mehr und mehr und neigen schließlich ihre Spitze. Sie gelten als geschmolzen, wenn die sich umbiegende Spitze die Unterlage leicht berührt. (Vgl. Segerkegel Nr. 8 in der Fig. 38.)

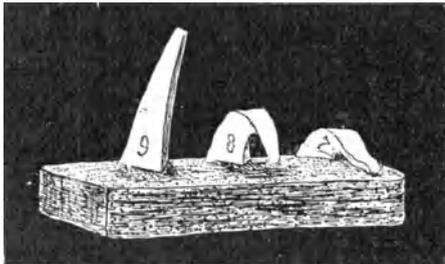


Fig. 38. Bestimmung des Kegelschmelzpunktes.

Die Angaben der Segerkegel in oxydierender und reduzierender Ofenatmosphäre unterscheiden sich etwas voneinander. Versuche von *Bradshaw* und *Emery*² mit Segerkegeln im elektrischen Ofen ergaben die eigenartige Erscheinung, daß in einer Kohlengasatmosphäre die Kegel weit über ihren Erweichungs-

punkt hinaus noch standen. Die Prüfung zeigte, daß die erhitzten Kegel aus einer hohlen Schale von hoher Feuerfestigkeit bestanden, deren Inhalt als Schmelzfluß ausgeflossen war. Die Schale war mit Kohlenstoff überzogen und durchsetzt, worauf wohl die hohe Feuerfestigkeit zurückzuführen ist.

¹ Die Kegel Nr. 21 bis 25 werden nicht mehr hergestellt.

² Engl. Gas-Journ. 1921, Bd. 155, Nr. 3036, S. 159.

Es ist deshalb auf den Charakter der Beheizung des Prüfofens entsprechende Rücksicht zu nehmen.

Die zur Prüfung der Kegelschmelzpunkte dienenden Öfen lassen sich in drei Gruppen einteilen, und zwar je nachdem a) Graphit, b) Gas oder c) Elektrizität zur Erzeugung der Wärme benutzt werden.

a) Bis vor ungefähr 20 Jahren wurden zu dieser Bestimmung nur Öfen verwendet, bei denen Graphit oder Gas zur Heizung diente. Wohl am meisten gebräuchlich war der mit Retortengraphit beheizte Devilleofen. (Fig. 39) Dieser Ofen besteht aus einem unten durch eine starke eiserne Platte begrenzten Zylinder aus hochfeuerfestem Material von 35 cm Höhe, der von einem Eisenblechmantel umgeben ist. Der Innenraum ist schwach konisch und hat unten etwa 9 cm, oben etwa 11 cm Durchmesser. In der Mitte der Bodenplatte befindet sich eine Öffnung von 3 cm Durchmesser, welche von mehreren Reihen in gleichem Abstand befindlicher Löcher von 6 mm Weite umgeben ist. Unter der Bodenplatte befindet sich ein Windkessel, in welchen die mittels Gebläse eingepreßte Verbrennungsluft strömt.



Fig. 39. Deville-Ofen.

Die Bestimmung der Feuerfestigkeit wird in Tiegeln von ca. $4\frac{1}{2}$ cm Durchmesser, 5 cm Höhe und 5 mm Wandstärke vorgenommen. Die Tiegel werden aus einer Schamotte von Aluminiumoxyd und Zettlitzerton geformt. Die Deckel bestehen aus dem gleichen Material. Die Tiegeluntersätze bestehen aus einer Schamotte, die bei Segerkegel 35 noch steht.

Die Bestimmung der Feuerfestigkeit erfolgt in der Weise, daß man auf den Boden des Tiegels eine mehrere Millimeter hohe Schicht von Aluminiumoxyd festdrückt. Dann wird ein Prisma aus Tiegelmateriale (V_1 , V_2 u. s. w.) in diese Bodenschicht gesetzt, neben dieses ein Segerkegel z. B. 26, dann ein Versuchskegel, weiter Segerkegel 27, ein weiterer Versuchskegel, Segerkegel 28 usw., bis man wieder zum Prisma kommt. Alle Kegel sollen gleich weit von der Tiegelwand entfernt stehen. Die Reihenfolge der Segerkegel und Versuchskegel wird genau aufgezeichnet (siehe Fig. 40).

Ist der Tiegel beschickt, so setzt man einen Tiegeluntersatz auf die große Öffnung der Bodenplatte in den noch kalten Ofen und stellt den bedeckten

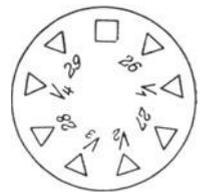


Fig. 40. Schmelzpunktermittlung.

Tiegel darauf. Nun bringt man 100 g glühende und ebensoviel kalte Holzkohle in den Ofen und bläst Luft ein. Ist die gesamte Holzkohle in voller Glut, so füllt man je nach Jahreszeit 900 bis 1200 g genau abgewogenen Retortengraphit nach. Unter genauer Beobachtung des Druckes wird Luft eingeblasen, bis der Graphit heruntergebrannt ist; dies soll in ungefähr $\frac{1}{2}$ Std. erfolgen. Der Tiegel wird hierauf herausgenommen, und man überzeugt sich durch Besichtigung des Äußern, ob die Erhitzung gleichmäßig war oder ob verschiedene Färbungen oder gar Schmelzerscheinungen aufgetreten sind. Schmelzerscheinungen machen den Versuch wertlos. Der Tiegel wird vorsichtig geöffnet, und man sieht nach, ob schon Schmelzung eingetreten ist. Mit 1000 g Graphit kann man auf diese Weise Segerkegel 26 umschmelzen; sind schon weitere Segerkegel umgeschmolzen, so war die Graphitmenge zu groß. Ist der Prüfkegel noch nicht umgeschmolzen, so wird ein neuer Tiegel beschickt, wobei man mit Segerkegel 27 beginnt. Da der Ofen schon heiß ist, wird nunmehr 600 g Graphit zu dem neuen Versuch zugegeben und der Versuch wiederholt. Für jeden höheren Segerkegel rechnet man 50 g Graphit mehr. Man fährt mit der Prüfung auf diese Weise fort, bis entweder der Prüfkegel umgeschmolzen oder der Segerkegel 36 erreicht ist.

Der Devilleofen hat verschiedene Nachteile: 1. eine Beobachtung der Kegel ist während des Versuches nicht möglich und 2. die Regelung der Temperatur ist sehr mangelhaft. Infolgedessen erfordert das Arbeiten mit demselben große Übung und Erfahrung. Die Nachteile des Devilleofens führten deshalb zum Bau der gasbeheizten Öfen.

b) Ein neuerer Ofen, der die Anwendung besonders hoher Temperaturen gestattet und auch die Beobachtung des Probestückes während des Versuchs ermöglichen, was bei dem meist angewendeten Devilleofen nicht der Fall ist, entstammt der Staatl. Porzellanmanufaktur Berlin und ist ein Rundofen für höhere Temperaturen nach *Segers* System mit Gasheizung und Preßluftzufuhr. Fig. 41 zeigt den Gasofen im Querschnitt. Die alten Öfen dieser Bauart hatten den Mangel der ungenügenden Mischung zwischen Gas und Luft und der Unmöglichkeit, die Zusammensetzung der Feuergase nach Wunsch zu regeln. Das Gas strömte bei diesen Öfen den Bunsenbrennern unter dem Drucke zu, der in der Gasleitung herrscht, während die Verbrennungsluft nur unter dem Atmosphärendrucke steht. Innige Mischung zwischen Gas und Luft und die vollständige Verbrennung tritt also nicht sofort beim Zusammentreffen, sondern erst allmählich unter Ausgleich des Druckes ein. Der neue Ofen benutzt an Stelle des Bunsenbrenners ein System einfacher Gebläsebrenner. Man führt dem Heizgase einen Teil der Verbrennungsluft unter einem Überdruck von etwa $\frac{1}{10}$ Atm. zu, der noch um ein Mehrfaches größer ist, als der Druck in der Heizgasleitung. Dadurch werden die Heizgase innig gemischt und man erzielt gleichmäßigere und höhere Heizwirkung.

Bei dem in Fig. 41 dargestellten runden Ofen ist die allgemeine Anordnung der Muffel und der Feuerbrücke dieselbe, wie sie schon von *Seeger* bei seinen Versuchsofen angegeben ist; ebenso die Führung der Feuergase, soweit sie

durch die Anordnung der Feuerbrücke und der Muffel bedingt ist. Auch die Abmessungen dieser Teile sind beibehalten, da sie den Bedürfnissen des Laboratoriums entsprechen.

Der Ofen besteht in seinen wesentlichen Teilen aus feuerfester Schamotte, nämlich aus Bodenplatte 1, Mantel 2 bis 5, Deckel 6, Feuerbrücke 7, Feuerbrückenbogen 10, Muffel 8 und 9 und dem Abzugsrohre 11. Der Mantel ist in einzelne Abschnitte 1, 2, 3, 4, 5 zerlegt, die je mit einer 1 cm starken Asbestschicht und einem eisernen Ringmantel 15 montiert sind und leicht ausgewechselt werden können. Zur besseren Zentrierung sind sie mit einer Nut versehen, in die eine Wulst eingreift. Diese Teilung des Mantels gestattet, den Ofen im Bedarfsfalle durch die Einlage eines oder mehrerer Ringstücke zu erhöhen. Der Mantel ist mit einer Umhüllung von Eisenblech 20 umgeben, die auf der den Ofen tragenden Grundplatte, in die Brenner 18, 19 mit einer Asbestplatte dicht eingepaßt sind, unverrückbar aufsteht. Der Zwischenraum 21 wird durch Schamottekörner ausgefüllt, die die horizontalen Fugen, die sich durch die Erhitzung des Ofens erweitern können, gegen Eintritt störender Außenluft abschließen und die beim Abnehmen des Deckels teilweise und bei dem Auseinandernehmen des Ofens vollständig durch die mit Schiebern verschlossenen Öffnungen 22 in der Bodenplatte abgelassen werden. Die Füllung des Raumes mit den porösen Schamottekörnern und die von ihnen eingeschlossene Luft erschwert auch den Wärmeverlust nach außen.

Da Eisenblech der Wirkung der abziehenden Feuergase nicht lange widerstehen kann, ist das Abzugsrohr aus reinem Nickelblech angefertigt, das lange haltbar ist, wenn man es vermeidet, mit stark kohlenoxydhaltigen Gasen zu arbeiten. Muß man derartige Gase verwenden, so muß das Rohr im Innern eine vollständige Auskleidung durch ein genügend dichtes, dünnes Schamotterohr erhalten.

Die Mischung von Gas und Luft und die Verteilung des Gemisches hinter der Feuerbrücke wird durch die Vorsprünge der Mantelringe 1 und 5 und durch die Feuerbrücke selbst so gefördert, daß bei dem Eintritte in den Verbrennungsraum unter dem Deckel eine fast vollständige Durchmischung erzielt ist und gleichmäßig zusammengesetzte Gase die Muffel umspülen, die durch die Abzugsrohre 17 dem Schornsteine zugeführt werden.

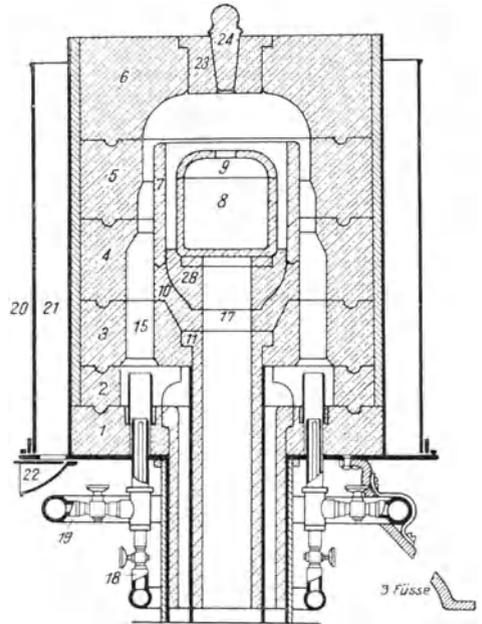


Fig. 41. Gas-Prebluft-Ofen der Staatl. Porzellan-Manufaktur Berlin.

Ein Muffelträger 28, der gleichzeitig durch die eingebauten Tragerippen die Feuerbrücke zentriert, ist zu dem Zwecke angebracht, etwa aus der Muffel oder einem statt dieser eingesetzten Schmelztiegel auslaufende oder überlaufende Schmelzen aufzufangen und den wichtigsten Teil, den ringförmigen Mantelteil 3, der, durch kleine Trageplättchen unterstützt, die inneren Ofenteile trägt, sowie auch den Kopf des Schamotterohres 11 zu schützen.

Der Ofendeckel ist mit einem Einsatzstück 23 und einem Stöpsel 21 versehen, nach dessen Entnahme der Brennvorgang beobachtet werden kann.

In ungefähr 5 bis 6 Stunden kann auf eine Temperatur von Segerkegel 33 und 34 gebrannt werden, wobei vorausgesetzt ist, daß die Schamotteteile des Ofens genügend hoch gebrannt sind oder öfters erneuert werden. Bei Anwendung eines hoch feuerfesten Materials, das genügend hoch vorgebrannt werden kann, ist eine Segerkegel 34 noch übersteigende Temperatur zu erreichen, so daß die meisten feuerfesten Steine in einem solchen Ofen besser als in dem alten Devilleofen auf Schmelzbarkeit im Vergleich mit Segerkegeln geprüft werden können.

Ähnliche Öfen mit Gasbeheizung unter Verwendung von Mékerbrennern und Druckluft werden von *F. Dujardin*, Düsseldorf, in den Handel gebracht. Die Ausfütterung dieser Öfen für Temperaturen bis 1500° besteht aus gewöhnlicher Schamotte, für Temperaturen bis 1850° wird eine Spezialschamotte oder eisenhaltige Magnesia benutzt. Mit letzterer Masse kann man aber bei Verwendung von Sauerstoffgasbrennern Temperaturen von 2200° erreichen.

c) Zur Gewinnung zuverlässiger Aufschlüsse über das Verhalten der verschiedenen feuerfesten und schwer schmelzbaren Stoffe bei hohen Temperaturen ist der elektrische Versuchsofen unentbehrlich; denn nur er erlaubt die unmittelbare Beobachtung der Brennprobe selbst bei den höchsten Temperaturen während des Versuches. Er gestattet, den Versuch zu unterbrechen, sobald die gewünschte Temperatur erreicht ist, und gewährt so Einblick in den Fortgang der Sinter- und Schmelzvorgänge. Von den elektrischen Öfen haben sich die sog. Kohlengrießwiderstandsöfen eingebürgert. Die unten folgende Beschreibung dieses Ofens ist etwas ausführlicher aus dem Grunde gehalten, weil ähnliche Öfen auch für die viel wichtigere Prüfung der Steine auf Erweichung bei hohen Temperaturen unter Druck benutzt werden. Ein solcher Ofen ist in der Fig. 42 dargestellt. Der Ofen¹, der im wesentlichen aus dem Brennrohr *R*, der Kohlengrießschicht *H*, den Elektroden E_1 und E_2 und den Schamottekörpern K_1 und K_2 besteht, steht auf einem eisernen Tisch *T*, dessen kreisförmige Platte in der Mitte ein kreisrundes Loch von 7 cm Durchmesser hat. Dieses Loch kann von unten mit Hilfe einer Bajonettvorrichtung *B*, die sich in der Mitte zwischen den Beinen des Tisches befindet, durch einen kreisrunden eisernen Abschlußteller *A* von etwa 12 cm Durchmesser geschlossen werden. Durch die Bajonettvorrichtung *B* kann der Abschlußteller *A* nach Bedarf um etwa 30 cm gehoben und gesenkt werden. Diese Einrichtung gestattet, die Brenn-

¹ Beschreibung auf Grund einer Broschüre des Tonindustrielaboratoriums.

proben von unten aus in das Brennrohr R einzuführen, ohne Belästigung durch die aufsteigende Hitze. Der Ofen selbst besteht im einzelnen aus den beiden eisenblechummantelten Schamottekörpern K_1 und K_2 , den Schamotteabschlußplatten S_1 und S_2 , den beiden Elektroden E_1 und E_2 sowie dem, den Brennraum bildenden Rohr R . Der Raum H zwischen dem Rohr R und dem Schamottekörper K_2 bildet den Heizraum und ist mit Kohlengrieß ausgefüllt. Der untere Schamottekörper K_1 umschließt in seinem Hohlraum U die untere Elektrode E_1 , deren Zuleitung für den elektrischen Strom durch ein Loch im Mantel von K_1 geht. Im übrigen ist der Raum U gleichfalls mit Kohlengrieß ausgefüllt. Auf den unteren Schamottekörper K_1 stützt sich der obere, K_2 , aus hochfeuerfester Schamotte. Dieser zeigt je nach der Höhe verschiedene Wandstärken. Um den eigentlichen Heizraum H in der Mitte des Ofens ist die Wand am dicksten; darüber springt sie wieder um einige Zentimeter zurück. In dem oberen erweiterten Hohlraum O befinden sich vier aus der Schamottewand hervorspringende Stützen für die obere Elektrode E_2 , deren Zuleitung die Deckplatte S_2 durchbricht. Auch der Raum O enthält außer der Elektrode E_2 Kohlengrieß.

Das Brennrohr R besteht aus drei Teilen: zwei Schamotterohren und einem hochfeuerfesten Rohr. Diese drei Rohre werden so aufeinandergekittet, daß das hochfeuerfeste Rohr in die Mitte kommt und die beiden Schamotterohre an die beiden Enden. Das in die Mitte kommende Rohr, das beim Betriebe des Ofens der größten Hitze ausgesetzt wird, ist aus so feuerfestem Stoffe hergestellt, daß es Hitzegraden, bei denen Segerkegel 37 bereits umschmilzt, noch widersteht. Um ein Zerbrechen beim Verschicken zu vermeiden, werden die Rohre nicht fertig zusammengesetzt geliefert, sondern sie sind erst an Ort und Stelle mit dem beigegebenen grauen Schamottepulver, das mit Wasser zu einem Brei anzumachen ist, zusammenzukitten. Dadurch, daß der von dem Kohlengrieß ausgefüllte Raum um das

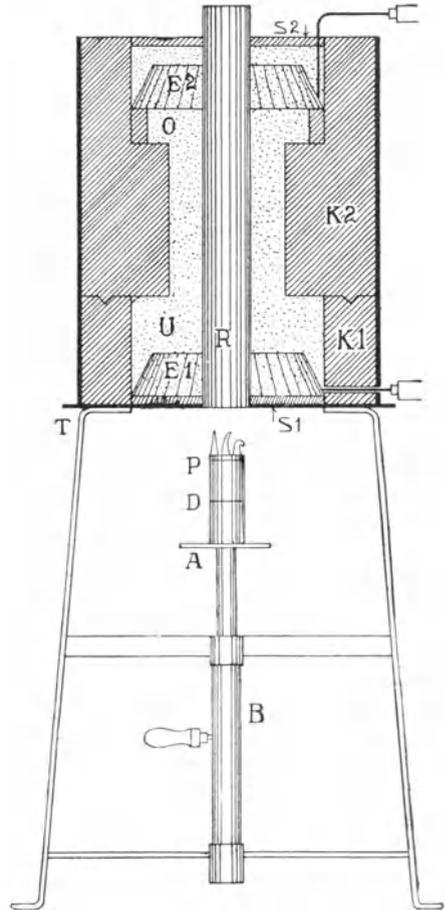


Fig. 42. Elektrischer Kohlengrießwiderstandsofen des Tonindustrie-Laboratoriums.

Rohr im oberen und unteren Teile des Ofens, bei O und U , einen viel größeren Querschnitt hat als im mittelsten Teile H , entsteht, wie schon gesagt, die hohe Glut allein in dem letztgenannten, da hier der elektrische Strom den größten Widerstand zu überwinden hat. Es braucht also auch nur der mittelste Teil des Brennröhres R hochfeuerfest zu sein.

Die als Kegelstumpfmäntel ausgebildeten und aus Eisenblech bestehenden Elektroden E_1 und E_2 sind infolge der eben beschriebenen Bauart des Ofens vor jeglicher starken Erwärmung geschützt.

Der Aufbau des Ofens wird folgendermaßen bewerkstelligt: Nachdem der dreibeinige eiserne Tisch T mit der Bajonettvorrichtung B , der zu dem Ofen gehört, an der Anschlußstelle der elektrischen Leitung auf feuersicherer Unterlage aufgestellt worden ist, wird auf dessen in der Mitte durchlochte Tischplatte eine gleichfalls in der Mitte durchlochte Asbestplatte und auf diese der Schamottering S_1 gelegt. Dabei muß um das Loch in der Tischplatte ringsherum so viel Raum frei bleiben, daß man später das Rohr R unmittelbar auf die Tischplatte setzen kann. Man steckt nun die Zuleitung der Elektrode E_1 durch das dazu bestimmte Loch in der Wandung des unteren Schamottekörpers K_1 von innen hindurch und setzt diesen Teil des Ofens samt der Elektrode auf die Asbestplatte. Sodann füllt man den Raum zwischen der Elektrode E_1 und der Schamottewandung K_1 mit Kohlengrieß und setzt nun erst den Schamottekörper K_2 fest auf den unteren. Um vollständig sicher abzudichten, streut man in die ringförmige Nut auf der oberen Fläche des Ofenteiles K_1 , in die beim Aufsetzen des Ofenteiles K_2 die an dessen Unterfläche angebrachte Ringleiste eingreift, etwas Schamottepulver. Hierauf stellt man das Brennrrohr R in den Ofen und füllt nun den Zwischenraum U und H zwischen dem Rohr R und der Schamottewandung bis zur Höhe der zweiten Elektrode mit Kohlengrieß. Dann setzt man diese zweite Elektrode E_2 in den Ofen ein und füllt O nun gänzlich mit Kohlengrieß.

Um den Kohlengrieß möglichst gleichmäßig zu verteilen, muß man ihn von oben her tüchtig mit einem 50 cm langen und 4 mm dicken, unten angespitzten Draht durchstechen, der mit einem isolierenden hölzernen Handgriff versehen ist. Erst wenn der Kohlengrieß nicht mehr weiter zusammensackt und man vollkommen sicher ist, daß sich in ihm keine Hohlräume mehr befinden, kann man nach Ergänzung der durch dichtere Lagerung infolge des Durchstechens etwas eingesunkenen Kohlengrießschüttung die obere Schamotte-deckplatte S_2 auflegen. Man braucht dann nur noch die beiden Anschlüsse mit der Leitung des elektrischen Stromes zu verbinden, so ist der Ofen betriebsfertig.

Der elektrische Widerstandsofen kann sowohl mit Gleichstrom wie auch mit Wechselstrom oder dreiphasigem Drehstrom betrieben werden; jedoch ist bei Verwendung von Drehstrom darauf zu achten, daß man für den Ofen, da er nur zwei Anschlüsse besitzt, nur immer zwei Leitungen verwenden kann, so daß der Stromverbrauch nicht gleichmäßig auf die drei Phasen verteilt wird.

Etwas anders liegen die Verhältnisse, wenn ein elektrischer Widerstandsofen in ein nur kleines Fabrikdrehstromnetz, etwa in den Stromkreis der elektrischen

Lichtanlage eingeschaltet werden soll. Will man dann gleichzeitig Ofen und Lichtanlage betreiben, so können infolge der ungleichmäßigen Belastung der verschiedenen Phasen durch den Ofen unter Umständen insofern Schwierigkeiten entstehen, als die Beleuchtung nicht in vollem Umfange aufrechtzuerhalten ist. Man kann sich dann dadurch helfen, daß man entweder, wenn genügend Strom vorhanden ist, noch einen zweiten Ofen einschaltet, der nun auch der dritten Phase Strom entzieht, oder daß man eine die Stromentnahme des Ofens ausgleichende Verteilung der Lichtanlage vornimmt, die Lichtanlage also gegen den Ofen schaltet.

Zum Betriebe des Ofens ist ein Strom von 70 bis 80 Volt und 80 bis 100, in Ausnahmefällen bis 130 Ampere nötig. Besitzt der zur Verfügung stehende elektrische Strom höhere Spannung, dann ist die Vorschaltung eines Regulierwiderstandes oder eines Transformators erforderlich. Ist die Spannung wesentlich höher als 80 Volt, dann ist wegen des durch Vorschaltung eines Widerstandes eintretenden Stromverlustes bei Wechsel- oder Drehstrom ein Transformator unbedingt vorzuziehen. Bei Drehstrom von höherer Spannung als 80 Volt empfiehlt sich je nach den Umständen die Vorschaltung eines Einphasentrockentransformators mit Beruhigungswiderstand oder eines Drehstromtransformators mit drei Beruhigungswiderständen. In manchen Fällen ist auch die Anschaffung eines Drehstrom-Gleichstrom-Umformers angebracht.

Bei Vorhandensein einer Spannung von etwa 80 Volt ist ein Regulierwiderstand nicht unbedingt nötig. Wird der Ofen ohne Regulierwiderstand betrieben, dann steigt allerdings die Temperatur in ihm allmählich, aber stetig immer höher. Will man nun trotzdem die Temperatur eine Zeitlang auf ungefähr gleicher Höhe halten, dann kann man sich dadurch helfen, daß man eine viertel bis halbe Minute lang den Bajonettverschluß offen läßt und durch den während dieser Zeit im Brennrohre entstehenden Luftzug die Rohrwandungen etwas abkühlt, oder auch dadurch, daß man den Ofen zeitweilig ausschaltet. Bequemer und besser ist es aber natürlich, die Stromzufuhr zum Ofen in solchen Fällen durch Einschaltung eines Widerstandes zu regeln. Für Zeitraumausgleich genügt ein selbstzusammenzubauender Wasserwiderstand.

Zwecks Durchführung eines fehlerfreien Betriebes des elektrischen Widerstandsofens ist zunächst darauf zu achten, daß der Kohlengrieß die richtige Korngröße hat und nicht zuviel feinkörnige Kohle und Staub enthält. Ferner ist durch tüchtiges Durchstechen der Kohlengrießbeschiebung mit dem schon beschriebenen Eisendraht dafür zu sorgen, daß der Kohlengrieß nicht zu locker lagert; da bei zu großem Staubgehalt und zu lockerer Lagerung infolge Bildung von Hohlräumen leicht Lichtbögen entstehen, die stellenweise zu Überhitzung und zu Anschmelzungen führen. Andererseits darf der Kohlengrieß auch nicht zu dicht lagern, wie dies etwa durch Einstampfen des Kohlengrießes bewirkt werden würde, da der Widerstand des Ofens dann zu gering und infolgedessen der Stromverbrauch bei niedriger Volt- und hoher Amperezahl zu groß sein würde.

Nachdem das Brennrohr R unten durch den an der Bajonettvorrichtung B befindlichen Abschlußsteller A geschlossen worden ist, wird der Strom eingeschaltet. Es ist nun zu beachten, daß sich ein neuer Ofen beim ersten Anheizen in bezug auf Stromverbrauch und Zeitdauer bis zum Eintreten hoher Temperaturen etwas ungünstiger verhält wie ein schon ein- oder mehrmals gebrauchter, und daß auch bei späteren Versuchen der Stromverbrauch etwas schwankt, wenn auch in engen Grenzen. Beim ersten Anheizen tritt die erste Rotglut des Brennrohres etwa dreiviertel bis eine Stunde nach dem Einschalten ein, bei späteren Versuchen geschieht das schon viel früher.

Es ist nun genau festzustellen, welche Stelle des Brennrohres zuerst glühend wird. Das ist sehr leicht dadurch möglich, daß man entweder unmittelbar von oben in das Rohr hineinsieht oder oberhalb des Brennrohres unter entsprechendem Winkel ein mit Blech hinterlegtes dunkelblaues oder -braunes Glas als Spiegel anbringt, und in diesem Spiegel die Erscheinungen im Brennrohr beobachtet. Die Stelle im Ofen, die zuerst glüht, ist diejenige Stelle, die auch später beim Ofenbetriebe am heißesten wird. Diese Stelle liegt nicht bei allen Öfen gleich hoch; kleine Abweichungen kommen vor.

Ein schwacher Luftstrom muß das Brennrohr auch während der Schmelzversuche durchströmen, damit in ihm kein Kohlenoxydgas sich sammelt, durch das die Proben schwarz gefärbt werden. Der Luftstrom darf aber auch andererseits nicht zu stark sein, damit das Innere des Brennrohres nicht zu stark abgekühlt wird.

Zu achten ist während des Betriebes darauf, daß das Brennrohr nicht einseitig oder an einer Stelle der heißesten Zone höher erhitzt wird als an anderen Stellen der gleichen Zone. Es ist deshalb nötig, von Zeit zu Zeit das Innere des Brennrohres R daraufhin zu prüfen. Der Strom ist dann zu unterbrechen und der Kohलगrieß rings um das Brennrohr herum in der ganzen Länge des Ofens mit dem schon genannten angespitzten Draht tüchtig zu durchstechen.

2. Chemische Analyse.

Die chemische Analyse feuerfester Steine erstreckt sich auf Feststellung ihres Gehaltes an SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO und Alkalien, die einfachheits halber als K_2O angegeben werden. Der folgende Analysengang hat sich sehr gut bewährt und möge hiermit empfohlen werden.

Die vorher feingeriebene¹ und gebeutelte Substanz wird etwa 2 Stunden bei 120° getrocknet und 1 g zur Analyse in einem Platinschälchen, dessen Tara vorher bestimmt ist, abgewogen. Den Glühverlust bestimmt man, indem das Ganze eine Viertelstunde über einem Bartelsbrenner stark geglüht wird.

Zum Aufschluß gibt man Flußsäure und 2 bis 3 ccm konzentrierte Schwefelsäure in das Schälchen und läßt das Ganze auf dem Wasserbad eindampfen. Nachdem die Schwefelsäure auf einem Drahtnetz und zuletzt über freier Flamme sorgfältig abgeraucht ist, setzt man konzentrierte Salzsäure zu,

¹ *Schreiber*, Aufbereitung, Brikettierung und Verkokung der Steinkohle. Verl. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1914, S. 35—36.

dampft auf dem Wasserbad bis fast zur Trockene ein, setzt abermals Salzsäure und Wasser zu und sieht, ob alles gelöst ist, indem man mit einem Platindraht umrührt, wobei kein Knirschen etwa noch vorhandenen Sandes oder unaufgeschlossener Substanz stattfinden darf. In diesem Falle müßte eine Wiederholung des Aufschlusses mit Flußsäure, evtl. auch mit Fluorammonium stattfinden.

Die Flüssigkeit wird in eine Porzellanschale gespült, einige Tropfen Bromwasser zur Oxydation des Eisens zugesetzt und das Ganze auf ein geringes Volumen eingedampft. Hiernach setzt man etwas Filterschleim hinzu, damit sich die Tonerde besser filtrieren läßt und nachher nicht solange geglüht zu werden braucht. Um überschüssiges Ammoniak bei der Fällung von $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Al}_2\text{O}_3$ zu vermeiden, setzt man zur besseren Wahrnehmung einige Tropfen Lackmustinktur zu. Zur Verhinderung von Kalkfällung gibt man einige Tropfen Essigsäure in die Flüssigkeit, kocht das Ganze ordentlich auf und filtriert mittels Saugpumpe. Das Filtrat wird bis zu einem geringen Quantum eingedampft und abermals mit Ammoniak, Tonerde und Eisen gefällt, deren Filter mit dem ersten Filter vereinigt wird.

Nachdem das Filtrat wiederum bis zu einem geringen Volumen eingedampft ist, fällt man den Kalk mit Oxalsäure und Ammoniak und bestimmt ihn als CaO.

Das Filtrat der Kalkfällung läßt man in eine weite Platinschale laufen und bringt dasselbe nach voraufgegangener guter Auswaschung des Filters auf dem Wasserbad zur Trockne. Nunmehr erwärmt man den Rückstand bis zur vollständigen Entfernung der Feuchtigkeit auf einer Eisenplatte und raucht dann die Ammonsalze zuerst auf dem Drahtnetz und dann über der Flamme ab. Um ein Emporklettern der Salze über den Rand der Platinschale zu verhindern, bezieht man denselben zweckmäßig mit einer feinen Schicht Vaseline.

Nach dem Abrauchen bringt man einige Tropfen konzentrierte Schwefelsäure in die Schale und raucht die Schwefelsäure ab, nimmt mit Salzsäure und Wasser auf, spült das Ganze in ein kleines Becherglas und fällt den letzten Rest Tonerde und Eisen mit Ammoniak.

Das Filtrat bringt man in eine vorher genau tarierte Platinschale aufs Wasserbad, dampft ein, setzt dann zur vollständigen Trocknis etwas Alkohol zu und dampft abermals zur Trockne und raucht wie vorher die Ammonsalze erst auf dem Drahtnetz und zuletzt über der Flamme ab. Nunmehr setzt man konzentrierte Schwefelsäure zu, führt somit das Ganze in Sulfat über, raucht die Schwefelsäure ab und zieht vorsichtig zwecks Verjagung der Bisulfate kurze Zeit die Platinschale durch die offene Flamme. Das Ganze wird dann als Magnesium und Alkalisulfat gewogen. Zur Gewißheit, ob keine sauren Salze mehr vorhanden gewesen sind, prüft man die mit Wasser aufgenommenen Salze mit Lackmuspapier. Bei saurer Reaktion muß der Vorgang wiederholt werden, evtl. unter Zusatz einiger Körnchen Ammoniumcarbonat.

Der mit Wasser aufgenommene Rückstand wird dann weiter unter Zusatz einiger Tropfen Salzsäure in ein kleines Becherglas gespült und das Magnesium mit Ammoniumphosphat ausgefällt. Das gewogene Pyrophosphat wird auf Magnesiumsulfat umgerechnet und aus der Gewichts Differenz der vorher

bestimmten Gesamtsulfate das Alkalisulfat bestimmt. Da das Alkali in frischen Schamottesteinen vorwiegend das Kali der Muttersubstanz darstellt, so erübrigt sich die weitere kostspielige Trennung auf Kali und Natrium mittels Platinchlorid. Es wird also das Alkali, wenn nicht besonderer Wert auf die Prüfung etwa vorhandenen Natriums gelegt wird, zweckmäßig auf K_2O umgerechnet, indem man die Summe des Alkali als K_2SO_4 auffaßt.

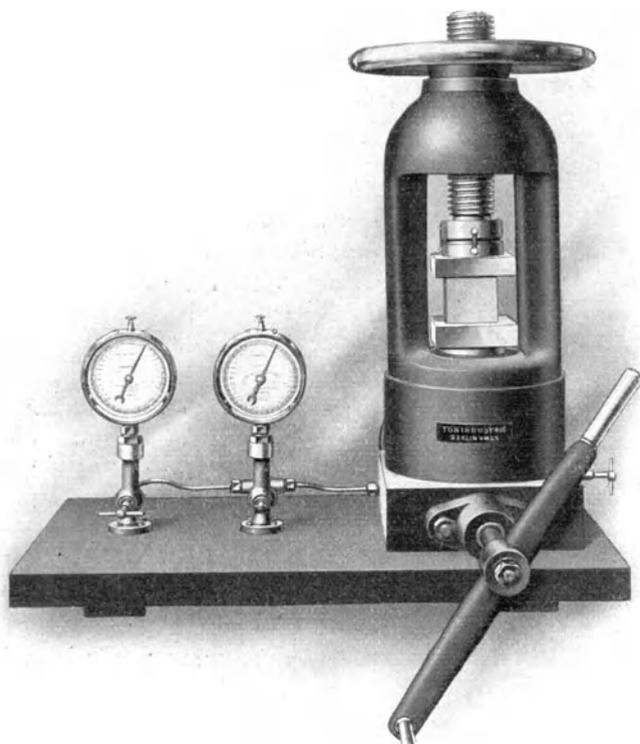


Fig. 43. 50 t Baustoffprüfer, Bauart *M. A. N.* des Chemischen Laboratoriums für Tonindustrie. Prof. Dr. *H. Seger* und *E. Cramer*, G. m. b. H., Berlin.

Zur Bestimmung des Eisenoxyds löst man das geglühte Filter des $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ -Niederschlags in Schwefelsäure 8 : 3, reduziert mittels Zink das Oxyd zu Oxydul und titriert mit $KMnO_4$.

Die bei Aufschluß mit Flußsäure aus der Differenz erhaltene Kieselsäure wird durch Aufschluß einer neuen Substanz mit Natrium-Kaliumcarbonat nachgeprüft, wobei die in der bekannten Weise erhaltene Kieselsäure nachträglich mit Flußsäure behandelt werden muß, weil geringe Mengen Aluminium- und Eisenoxyd in der Schmelze unaufgeschlossen bleiben und so die Kieselsäure zu hoch ausfallen würde.

Zur Vermeidung der auf S. 26 geschilderten Mißstände empfiehlt sich, stets dieselbe Methode für Ermittlung der chem. Zusammensetzung anzuwenden.

3. Mechanische Festigkeit.

Die Druckfestigkeit der Schamotte- und Silikasteine wird in der gleichen Weise ermittelt, wie es bei der Prüfung von gewöhnlichen Ziegeln der Fall ist. Zur Prüfung der Probekörper dient die hydraulische Versuchspresse (Fig. 43), welche ein gleichmäßig fortschreitendes Steigen der Belastung zuläßt, so daß Stöße vermieden werden. Die

zu prüfenden Würfel müssen auf den beiden Druckflächen parallel und eben geschliffen werden. Da aber Würfel aus gebrannten keramischen Massen nur unter Überwindung beträchtlicher Schwierigkeiten mit der erforderlichen Genauigkeit hergestellt werden können, ist der Ausschuß 18 des deutschen Verbandes¹ nach umfangreichen Vorversuchen dazu übergegangen, Zylinderchen von 16 mm Höhe, die mit der Diamantsäge aus zylindrischen Stäben geschnitten und auf den Schnittflächen planparallel geschliffen werden, zu benutzen. Der Druck wird in der Zylinderachse ausgeübt. Gewöhnlich erfolgt die Prüfung bei völliger Trockenheit der Probe. Zur Druckprüfung kann natürlich jede Presse mit ausreichender Genauigkeit der Lastanzeige benutzt werden. Solche Pressen werden von den verschiedensten Maschinenfabriken gebaut. Für kleine Körper empfiehlt sich die bis 50 t Last benutzbare Pumpenpresse, die von der *M. A. N.* (*Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg*) für das Chemische Laboratorium für Tonindustrie gebaut wird (Fig. 43). Bewährt hat sich auch die Presse von *Amsler-Laffon* mit Quecksilber oder Pendelmanometer (Fig. 44); sie wird von Hand durch Drehen einer Kurbel betätigt.

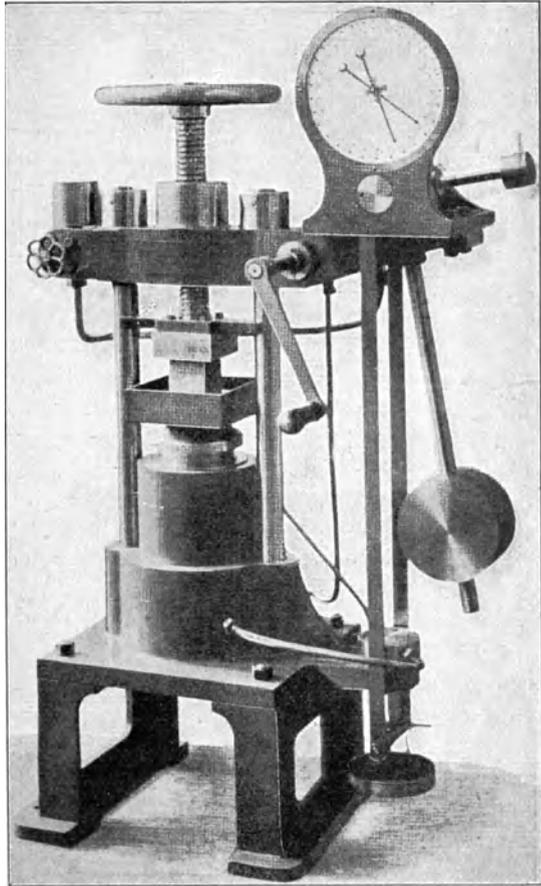


Fig. 44. Presse von *Amsler-Laffon*

empfehlen sich die bis 50 t Last benutzbare Pumpenpresse, die von der *M. A. N.* (*Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg*) für das Chemische Laboratorium für Tonindustrie gebaut wird (Fig. 43). Bewährt hat sich auch die Presse von *Amsler-Laffon* mit Quecksilber oder Pendelmanometer (Fig. 44); sie wird von Hand durch Drehen einer Kurbel betätigt.

¹ *Singer*, Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft.

Le Chatelier, der bei der Prüfung von ganzen bzw. halbierten Steinen auf Druckfestigkeit ebenfalls auf Schwierigkeiten gestoßen ist, weil man hierbei zu starke Pressen benötigen würde, über die Werks-Laboratorien meist nicht verfügen, schlägt die Anwendung der *Brinell*schen Kugeldruckprobe vor. Die Resultate sind gleichmäßiger und die Versuche viel leichter zu bewerkstelligen. Die Stahlkugel hat 20 mm Durchmesser, der Druck beträgt 500 kg. Um den Eindruck, der annähernd 10 mm beträgt, zu messen, legt man zwischen Stein und Kugel eine dünne, mit H_2S geschwärzte Folie. Da die Schwärze an den Berührungsflächen mit der Kugel verschwindet, kann der Eindruck mit Leichtigkeit gemessen werden.

Die Prüfung auf Abnutzbarkeit geschieht durch Schleifversuche, z. B. mit der Schleifmaschine, Bauart *Böhme*. Sie besteht nach Fig. 45 und 46 aus einer wagerechten eisernen Planscheibe *A*, gegen die das Versuchsstück *B*, ein Würfel von 70 mm Seitenlänge, gedrückt wird. Der Hebel *C*, der mit 5 kg belastet wird, drückt bei einer Hebelübersetzung von 1:5 mit 25 kg auf das Versuchsstück. Die Scheibe wird durch eine Kurbel oder Riemen-

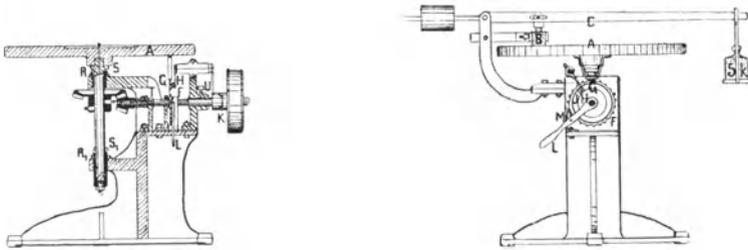


Fig. 45 und 46. Maschine zur Prüfung der Steine auf Abnutzbarkeit.

scheibe in Umdrehungen versetzt und die Zahl der Umdrehungen durch ein mit Zähnen versehenes Zählrad *F* festgelegt. Um die schleifende Wirkung der Scheibe zu erhöhen, wird sie mit Schmirgel bestreut, und zwar zu Beginn der Drehung und nach je 22 Umgängen mit je 20 g Naxos-Schmirgel Nr. 6. Nachdem die Scheibe die 22. Umdrehung vollendet hat, springt die Rolle *H* in die Nute *J*, wodurch die Klauenkuppelung *K* gelöst wird und die Maschine stillsteht. Ist dann der Schmirgel aufgegeben, so wird durch Heben des Hebels *L* durch die Sperrklinke *M* das Rad *F* weitergeschoben, wobei die Rolle *H* aus der Nute *J* tritt und die Kuppelung zum weiteren Betriebe wieder eingreift. Bei jeder Umdrehung schiebt der Daumen *G* das Zählrad weiter. Die Ölung erfolgt durch die Ölrinnen *R* und *R*₁, die mit beweglichen Deckelringen *S* und *S*₁ versehen sind, und ferner bei *F* und *U* durch Ölkanne oder Schmierbüchse. Nach je 110 Umgängen wird das vorher gewogene Versuchsstück aufs neue gewogen und der Gewichtsverlust festgestellt. Dies wird viermal wiederholt, so daß zur Prüfung eines Körpers die Scheibe 440 Umgänge macht. Die Größe der Abnutzung wird in Kubikzentimeter angegeben. Diese Zahl wird dadurch gefunden, das der Gewichtsverlust, welchen der Körper durch das Schleifen erlitten hat, durch das Raumgewicht geteilt wird. — Die Ab-

nützung von Schamottewürfeln beträgt im Mittel nach 110 Umläufen 5,6 cm, nach 400 Umdrehungen 20,7 cm. Die richtige Feststellung der Abreibung oder gar Abquetschung im heißen Zustande ist leider auf dieser Maschine nicht feststellbar.

4. Verhalten unter Belastung in der Hitze.

Die Schmelzpunktbestimmung von feuerfesten Steinen liefert zwar unter Umständen Vergleichswerte, die auf deren Brauchbarkeit einige Schlüsse zu ziehen gestatten; die trägt jedoch der wirklichen Beanspruchung des feuerfesten Materials in der Hitze des industriellen Ofens nur zum Teil Rechnung. Hier tritt zu der rein thermischen Beanspruchung eine mechanische, nämlich der Druck, den das Mauerwerk des Ofens auf den Stein ausübt. Die Prüfung eines Steines auf Feuerfestigkeit unter Belastung stellt demnach gegenüber der Feuerfestigkeitsprüfung durch Vergleich der Erweichungstemperatur mit der von Segerkegeln ein Verfahren dar, das über die Brauchbarkeit der feuerfesten Erzeugnisse einen besseren Aufschluß gibt.

Zur Bestimmung und zahlenmäßigen Festlegung der Erweichungstemperatur feuerfester Materialien unter Belastung sind verschiedene Vorrichtungen konstruiert worden, in Amerika von *Bleining* und *Brown*, in England von *Mellor*, in Frankreich von *Le Chatelier* und seinen Schülern, in Schweden von *Sieurin* und *Carlsson* und in Deutschland von *Gary*, *Endell* und *Hirsch-Hecht*. Sie bestehen aus einem geeigneten Ofen mit Gas- oder elektrischer Heizung, in dem die Proben unter gleichzeitiger Temperaturkontrolle erhitzt werden, und einem Apparat, um die Proben zu belasten und den Beginn der Erweichung außerhalb des Ofens sichtbar zu machen.

Das Maß für die Erweichung unter Belastung wird von den Forschern in verschiedener Weise angegeben. *Bleining* und *Brown* bestimmen diejenige Belastung, unter der der Versuchskörper bei 1350° C zu erweichen beginnt; ähnlich verfahren auch die französischen Forscher. Nach der in Nordamerika seit 1920 allgemein anerkannten Prüfungsmethode der Amerikanischen Gesellschaft für Materialprüfungen der Technik werden hochkant gestellte Schamottesteine im Normalformat in 5 Stunden bis 1100° C, 1300° C oder 1350° C, Silikasteine in 8 Stunden bis 1500° C unter einer konstanten Belastung von 25 engl. Pfund auf den Quadratzoll, entsprechend 1,765 kg/qcm, erhitzt. Nach dem Erkalten innerhalb wenigstens 5 Stunden wird der Deformationsgrad durch Längenmessung festgestellt. *Sieurin* und *Carlsson* bezeichnen als Maß die Temperatur, bei der ein Probewürfel von 3 cm Kantenlänge unter einer Belastung von 1 kg/qcm eine lineare Zusammendrückung von 0,3 Proz. erfährt und *Endell* die Temperatur, bei der ein Zylinder von 5 cm Durchmesser und 5 cm Höhe unter einer konstanten Belastung von 1 kg/qcm zu erweichen beginnt; außerdem sollen auch die Temperaturen charakteristisch sein, bei welcher der Versuchskörper um 4 Proz. seiner Höhe zusammengedrückt ist. Erfahrungsgemäß stellt der letztere Wert den Grad einer Erweichung dar, welche für den praktischen Gebrauch des Steines bereits bedenklich ist.

Wie schon vorhin erwähnt wurde, besteht keine direkte Beziehung zwischen der Schmelztemperatur, d. h. dem Kegelschmelzpunkt, und der Temperatur, bei welcher ein Material bei Belastung zu deformieren beginnt. Man ist also in jedem Falle darauf angewiesen, ein Material nach dieser Richtung besonders zu prüfen. Man kann nun, wie es an manchen Stellen geschieht und auch z. B. in Amerika als Prüfungsverfahren eingeführt ist, ganze Steine zu diesem Versuche verwenden oder auch kleinere Zylinder oder Würfel aus den Steinen herauschneiden und diese der Prüfung unterwerfen. Das erstgenannte Verfahren scheint zwar auf den ersten Blick den praktischen Anforderungen mehr angepaßt zu sein, kann jedoch von Nachteil sein, wenn es nicht gelingen sollte, den ganzen Stein bis ins Innere gleichmäßig zu erhitzen. Man

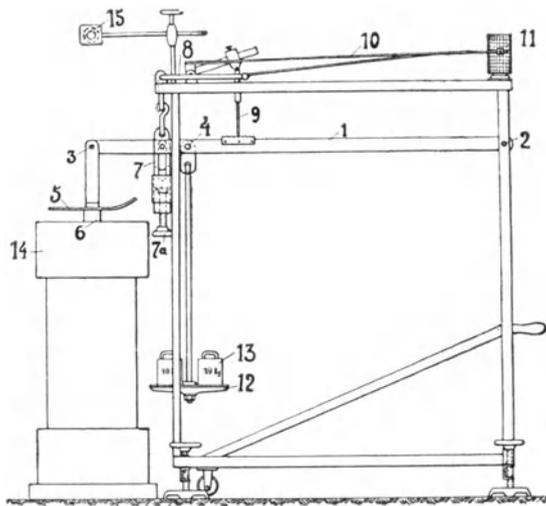


Fig. 47. Vorrichtung (nach *Endell*) zur Ermittlung der Erweichungstemperatur feuerfester Steine unter Belastung. (Maßstab 1: 25.)

muß sich deshalb bei solchen Untersuchungen immer den Grad und die Tiefe des Wärmeeindringens in den Probekörper vergegenwärtigen.

Es mögen hier einige Vorrichtungen zur Prüfung auf Erweichung unter Druck bei hohen Hitzegraden beschrieben werden.

Eine für diesen Zweck eingerichtete Hebelpresse ist unter Benutzung der bisherigen Erfahrungen von *Endell* konstruiert¹. Sie gestattet nicht nur die Bestimmung der Erweichung feuerfester Materialien unter Belastung, sondern zeich-

net auch selbsttätig den Verlauf der thermischen Ausdehnung vor der Erweichung und der Zusammendrückung nach dem Beginne der Erweichung auf einer Registriertrommel auf. Die Vorrichtung (Fig. 47) besteht aus einem elektrischen Kohlengrießwiderstandsofen 14, der Hebelpresse und den Kohlenstempeln. Der Ofen ist für eine Spannung von 100 bis 120 Volt berechnet und verbraucht bis zu Temperaturen von 1600° C etwa 6 Kilowatt. Das senkrechte Heizrohr hat einen lichten Durchmesser von etwa 10 cm. In dieses Heizrohr ragt von unten ein Druckstempel von 30 cm Länge und 6 cm Durchmesser aus harter Elektrodenkohle hinein; auf diesen wird der zu drückende Probekörper von 5 cm Durchmesser und 5 cm Höhe, der mit einem Diamantbohrer aus dem zu prüfenden Stein von Normalformat herausgeschnitten wird, gestellt. Es können natürlich auch

¹ Prospekt der „Atomgesellschaft“ Berlin.

Würfel benutzt werden, die aus fertigen Steinen herausgesägt sind und deren zwei Endflächen glatt geschliffen werden. Falls es sich um die Auffindung und Prüfung neuartiger feuerfester Massen handelt, werden derartige Probekörper zweckmäßig in Stahlmatrizen gepreßt und dann gebrannt. Der obere Druckstempel 6 von 48 cm Länge und ebenfalls 6 cm Durchmesser aus Kohle wird belastet. Dazu dient der einarmige Hebel 1, der in 2 seinen Drehpunkt hat und am anderen Ende in einer Gabelung ausläuft, die zwei Zapfen 3 trägt. An diesem hängt der abnehmbare Teller 5, welcher auf den oberen Druckstempel 6 drückt. Am Punkt 4 des Hebels 1 hängt die Schale 12, auf welche verschiedene Gewichte 13 aufgelegt werden können, so daß die Belastung an den Zapfen 3 innerhalb 20 und 40 kg verändert werden kann. Das Gehänge 7 und der Hebel 8 dienen zur Feststellung des Hebels 1 in einer oberen Ruhelage, wobei der Teller 5 von dem Stempel 6 abgehoben wird. Die Bewegung des oberen Druckstempels und des Hebels 1 infolge der Ausdehnung und Erweichung des Probekörpers während der Erhitzung wird durch Übertragung auf den Stab 9 und dem 1 m langen Zeiger auf den 20fachen Betrag vergrößert.

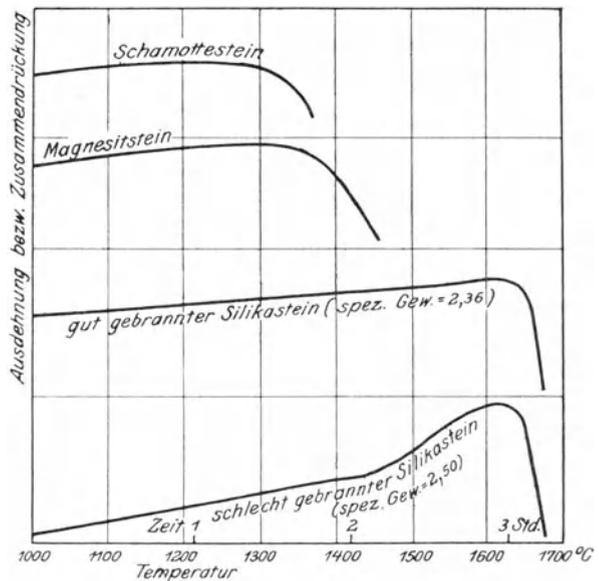


Fig. 48. Charakteristische Erweichungskurven von Schamotte-, Magnesit- und Silikasteinen, aufgenommen mit der Prüfvorrichtung von Endell. (Vgl. Fig. 47.)

Für die Messung der Temperatur des Probekörpers ist der obere Druckstempel 6 in der Achse mit einem Loch von 2 cm Durchmesser versehen. Durch dieses kann man die Mitte der oberen Fläche des Versuchskörpers durch ein optisches Pyrometer nach *Holborn-Kurlbaum* oder *Wanner* anvisieren und seine Temperatur messen. Um das Pyrometer nicht der strahlenden Hitze des Ofens auszusetzen, wird der Strahlengang durch das totalreflektierende Prisma 15 rechtwinklig gebrochen. Bis etwa 1400° C kann man durch den oberen Druckstempel hindurch die Temperatur ohne Fehler messen; oberhalb dieser Temperatur entwickeln sich jedoch in der Bohrung Dämpfe, die den Strahlengang stören und zu niedrige Werte für die Temperatur liefern. Um diesem Übelstand abzuhelpen, steckt man die Bohrung des Kohlerohres ein feuerfestes dichtes Rohr (Pyrometerrohr), das unten geschlossen ist, und visiert dann die Innenfläche des Bodens dieses Rohres mit dem Pyrometer an. Man kann natürlich auch die Temperatur in einem Thermolement messen

und sie entweder an einem Zeiger-Galvanometer ablesen oder in einem Registrierapparat aufzeichnen lassen.

Die ganze Vorrichtung ist in ein Rahmengestell von Winkeleisen eingebaut. Sie kann auf zwei Rollen an den elektrischen Ofen herangefahren werden. Vier Fußschrauben dienen dazu, den Apparat auf den Fußboden fest aufzustellen.

Eine wertvolle Ergänzung des Apparates bildet eine Registriertrommel, die an Stelle der Skala *II* angebracht wird. Befestigt man auf dem Zeiger *10* eine Schreibfeder, so zeichnet diese auf der Trommel entsprechend der Aus-

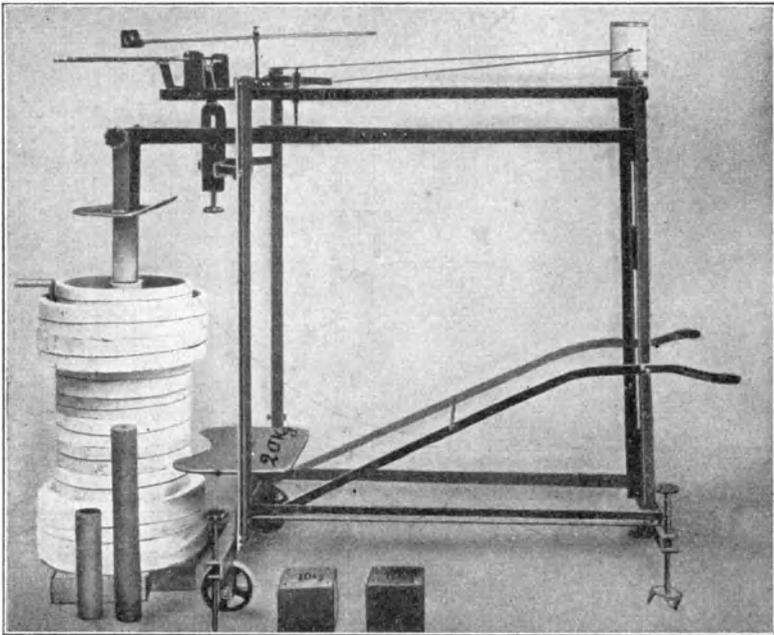


Fig. 49. Photographische Aufnahme der in der Fig. 47 dargestellten Hebelpresse.

dehnung des Probekörpers und der Kohlestempel bei gleichmäßig steigender Temperatur eine Kurve auf. Fig. 48 zeigt eine Zusammenstellung derartig aufgenommener Kurven von bekannten feuerfesten Materialien. Auf der horizontalen Achse ist entsprechend der Drehung der Trommel die Zeit aufgetragen. Alle Kurven sind mit einer gleichmäßigen Temperatursteigerung von etwa 20°C in 5 Minuten aufgenommen. Dementsprechend ist unter der Zeitlinie auch eine Temperaturlinie gezeichnet. Die senkrechte Achse entspricht der Ausdehnung und Zusammendrückung des im Ofen erhitzten Probekörpers plus der Ausdehnung und der im Ofen befindlichen Teile des Druckstempels. Der aufsteigende Ast der Kurven entspricht der Periode der Temperaturzunahme und Ausdehnung vor der Erweichung. Sobald diese einsetzt, läuft die Kurve zunächst der Horizontalen parallel, um dann mehr oder minder

schnell in den absteigenden Ast überzugehen. Den verschiedenen Arten feuerfester Materialien entsprechen charakteristische Kurven: Schamottesteine beginnen bei einer Belastung von 1 kg/qcm etwa zwischen 1200 und 1300° C zu erweichen. Die Zusammendrückung bei weitersteigender Temperatur erfolgt nur langsam; ähnlich verläuft die Kurve bei Magnesitsteinen, nur liegt die Erweichungstemperatur höher, etwa bei 1400° C. Die beiden unteren Kurven entsprechen einem Ia und einem mittelmäßigen Silikastein. Diese, von der *Atomgesellschaft* in Berlin vertriebene Presse, die auch unter dem Namen Stegerpresse bekannt ist, ist in der Fig. 49 in photographischer Darstellung gezeigt.

Eine neuere Prüfmaschine zur Bestimmung des Erweichungsverhaltens unter Belastung bei hohen Temperaturen ist nach *Dr. Hirsch*schen Anregungen von *Dr. Hecht* konstruiert und in der T.J.Z. 1924, Heft 12, folgendermaßen beschrieben (vgl. Fig. 50).

Als Versuchsofen, dessen Aufbau in der Figur angedeutet ist, wird zweckmäßig der Kohlengrießwiderstandsofen (S. 198ff.) in bekannter Bauart für elektrische Beheizung mit senkrecht angeordnetem Heizrohr verwendet, in das ein Kohlestempel aus Elektrodenkohle eingebaut ist. Die Prüfmaschine ist derart am Ofen aufgebaut, daß der Druckstempel 2 mit dem oberen Elektrostempel genau zentriert über dem unteren Kohlestempel steht. Der Prüfkörper 10 wird von oben her mit Hilfe einer Zange genau zentrisch auf den unteren Kohlestempel gesetzt. Die kranartige, um die Achse 1 schwenkbare Prüfmaschine trägt den Belastungstempel 2, der durch zwei über vier Rollen laufende Seile mit den Zugstangen am Teller 4 mittels der scheibenförmigen Gegengewichte 3 und 4 gehalten wird. Die Rollen selbst laufen in Kugellagern. Der Angriffspunkt der Seile am Druckstempel liegt oberhalb des Schwerpunktes des Druckstempels, der durch zwei Führungsringe läuft. Das Gewicht des Druckstempels ist etwas kleiner als das Gesamtgewicht der Positionen 3 und 4. Die beweglichen Gewichtsscheiben 3 tragen außer einer Mittelbohrung vier weitere Bohrungen. Durch zwei dieser Bohrungen gehen frei beweglich die Zugstangen hindurch. Durch die beiden anderen geht eine Vorrichtung, die es ermöglicht, beliebig viele Gewichtsscheiben 3 mit Hilfe von Knebeln, die am unteren Rande der Gewichtsscheiben 3 angedeutet sind, zusammenzuschließen (abzustecken) und durch den Hebel bei 5 an der Hülse 5 zu befestigen, so daß die abgestochenen Gewichte 3 den Teller 4 nicht mehr belasten. Zur Belastungserzeugung auf dem Probekörper werden jeweils so viel von den beweglichen Gewichtsscheiben 3 abgestochen, als der gewünschten Größe der Belastung entspricht, so daß lediglich noch der Rest der Gewichte 3 den Teller 4, der mit den Zugstangen fest verbunden ist, belastet. Hiernach wird der Druckstempel 2 auf den Prüfkörper 10 herabgesenkt und mittels des Hebels unterhalb 5 die abgestochenen Gewichte 3 an der Hülse 5 befestigt. Die Hülse 5 ist an einer durch die Gewichte 3 und den Teller 4 gehenden, feststehenden Spindel mit Flachgewinde geführt, die einerseits in Höhe der Meßvorrichtung zwischen den Rollen, andererseits in der Position 8 festgelagert ist. Durch Drehen des an der Hülse 5 befindlichen Handrades werden die

abgestochenen Gewichte 3 vom Rest der Gewichte 3 und dem Teller 4 abgehoben und hierdurch das gewünschte und berechnete Gewicht des Druckstempels zur Einwirkung auf den Probekörper gebracht. Zur genauen Einstellung des berechneten Gewichtes dienen die bei 4 auf dem Teller 4 angedeuteten Tariergewichte. Die Hülse 5 wird dann durch Drehen des Handrades so hoch geführt, als es der gewünschten Größe der Zusammendrückung des Probekörpers entspricht. An einer Skala auf den Zugstangen wird diese Größe abgelesen.

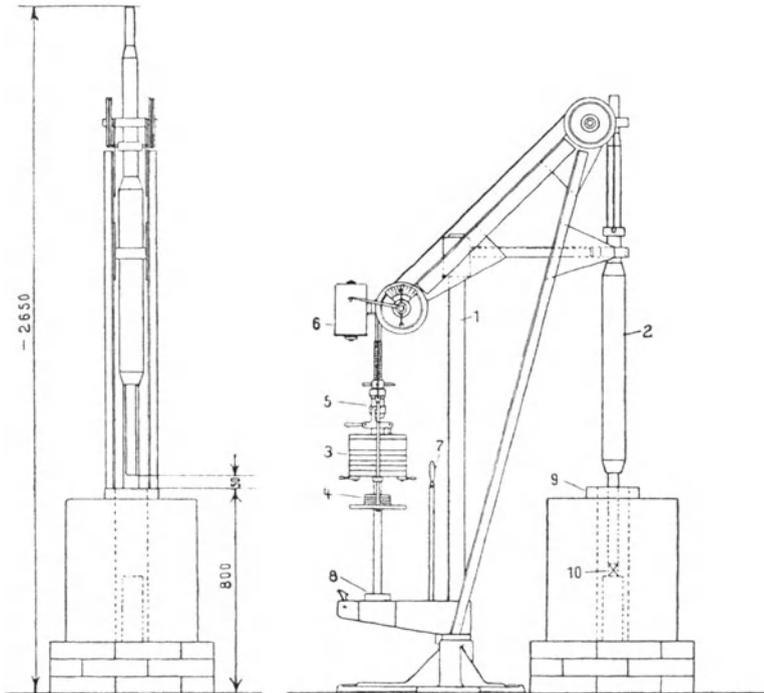


Fig. 50. Prüfmaschine zur Bestimmung des Erweichungsverhaltens von feuerfesten Stoffen unter Belastung bei hohen Temperaturen nach *Hirsch-Hecht*. (Vgl. Fig. 51.)

Wird der Körper 10 zusammengedrückt, so heben sich entsprechend der Rest der Gewichte 3 und der Teller 4 mit den Tariergewichten. Ist der gewünschte Grad der Zusammendrückung des Körpers 10 erreicht, so kommen der Rest der Gewichte 3 und der Teller 4 mit den Tariergewichten wieder zur Anlage an die abgestochenen Gewichte 3 und lösen dadurch die Befestigung an der Hülse 5 aus, so daß der Hebel zurückklappt. Hierdurch kommen auch die abgestochenen Gewichte wieder als Gegengewicht zur Geltung. Da nunmehr dieser Teil der Prüfungsvorrichtung insgesamt wieder schwerer als der Druckstempel ist, so wird dieser infolge des Übergewichtes selbsttätig aus dem Ofen gehoben und nach oben bewegt. Bei 8 ist eine Aufnahmevorrichtung mit einer Bremsfeder eingebaut, um die herabgleitenden Gewichte 3

und 4 aufzufangen und abzufedern. Der Druckstempel mit der eingebauten Kohle befindet sich dann in der oberen Stellung. Sobald der Druckstempel in der oberen Lage festgehalten ist, wird er durch seitliche Schwenkung aus dem Bereich des Ofens gebracht. Um den oberen Kohlenstempel vor dem Abbrennen zu schützen, wird eine graphitierte Blechhülse über ihn geschoben und am Druckstempel befestigt. Die Ofenöffnung ist frei, so daß das Innere des Ofens zugänglich ist. Sobald nach genügender Abkühlung des Ofens ein neuer Probekörper eingebaut ist, wird die Prüfmaschine wieder über den Ofen zurückgeschwenkt, mit Hilfe des Hebels 7 die Festhaltevorrückung bei 8 gelöst und der Stempel auf den Probekörper herabgesenkt, nachdem durch entsprechenden Ausgleich der Gewichte 3 und 4 die gewünschte Belastungsgröße wieder in der gleichen Weise hergestellt ist, dann die Größe der Zusammendrückung durch Einstellen der Hülse 5 festgelegt und der neue Versuch begonnen. Es werden den einzelnen Prüfmaschinen Krafttabellen beigegeben, aus denen hervorgeht, wie die Gewichtsverhältnisse zu gestalten sind, um bei Vorhandensein einer bestimmten Oberfläche des Prüflings die gewünschte Belastung zu erzielen.

Bei 6 ist die Zeiger- und Schreibvorrichtung zur Beobachtung der Ausdehnungs- und Erweichungskurve angebracht, die von der oberen Rolle der Prüfvorrichtung mit Hilfe eines Indikatorfadens dergestalt bedient wird, daß sie in dem Augenblick, in dem der Druckstempel sich selbsttätig hebt, ebenfalls selbsttätig ausgelöst wird und in der Endstellung stehenbleibt. Die Trommel der Schreibvorrichtung dreht sich in drei Stunden einmal um ihre Achse, kann jedoch auch für andere Umdrehungsgeschwindigkeiten hergestellt werden. In der Fig. 51 ist die Photographie der in der Fig. 50 schematisch dargestellten Prüfmaschine gezeigt, welche im Laboratorium einer großen feuerfesten Fabrik aufgenommen wurde. Diese Maschine kann gleichzeitig auch

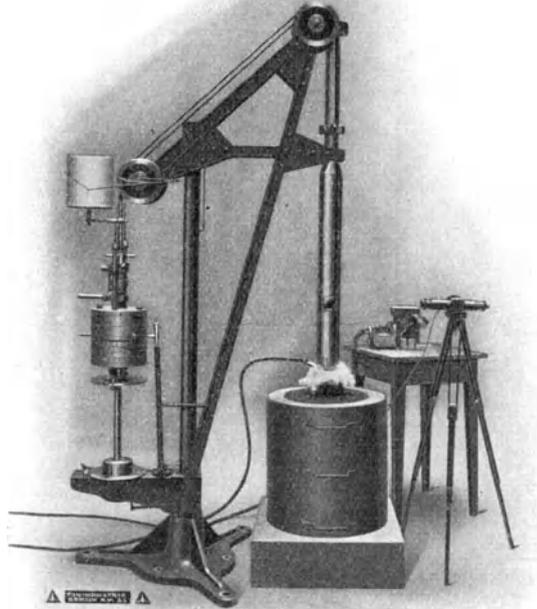


Fig. 51. Prüfmaschine nach *Hirsch-Hecht* zur Untersuchung von Steinen auf Erweichung unter Belastung in der Hitze. (Vgl. Fig. 50.)

zwei andere Prüföfen bedienen, so daß in einem Tage mehrere Bestimmungen von verschiedenen Probekörpern vorgenommen werden können.

Die Messung der Temperatur geschieht beispielsweise mit Hilfe eines Pyrometers nach *Holborn-Kurlbaum* dergestalt, daß von oben in den Ofen hineingeschaut und die Außenfläche anvisiert wird.

Die Vorteile der neuen Prüfmaschine bestehen zunächst darin, daß während eines Veruches die senkrecht wirkende Belastungsgröße dauernd unveränderlich

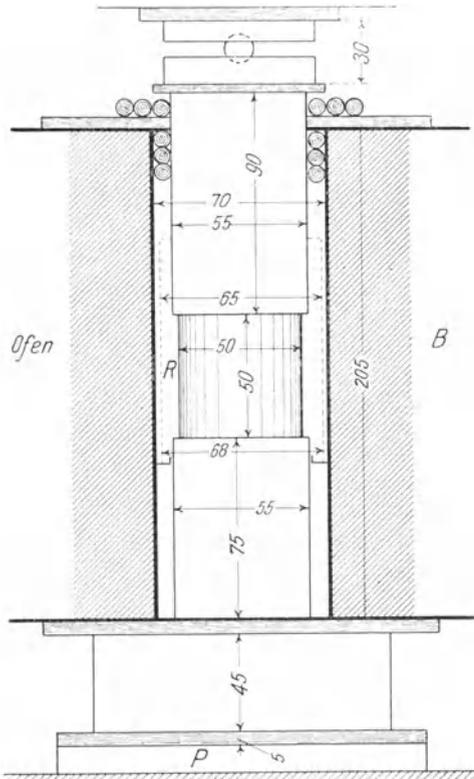


Fig. 52. Einrichtung zur Prüfung erhitzter Schamottekörper auf Druckfestigkeit nach *Gary*.

wirksam bleibt. Ferner ist die Maschine einmal ordnungsgemäß aufgebaut, stets verwendungsbereit. Es kann mit einer einzigen Maschine ohne Unterbrechung — die sonst durch die erforderliche Abkühlung des Ofens nach jedem Einzelversuch unvermeidlich ist — gearbeitet werden, wenn mehrere Öfen auf dem Schwenkkreis des Druckstempels angeordnet werden.

Die Versuchseinrichtung ist die in Fig. 52 dargestellte. Über die untere Preßplatte *P* der Maschine kommt eine Scheibe Asbestpappe, auf diese eine

Eine ältere, ebenfalls elektrisch beheizte Prüfeinrichtung nach *Gary*, die übrigens durch die oben beschriebene Hebelpresse von *Endell* und Prüfmaschine nach *Hecht-Hirsch* überholt ist, ist in den Fig. 52 und 54 gezeigt. Sie wurde im Materialprüfungsamt in Lichterfelde benutzt. Für die Versuche auf Druckfestigkeit der zylindrischen Schamottekörper während der Erhitzung wird hier ein elektrischer Ofen von *Heraeus* in Hanau verwendet, der mit Gleichstrom von 220 Volt Spannung geheizt wird. Der Ofen ist ein gewöhnlicher Röhrenofen mit Heizrohr aus schwer schmelz-

barer *Marquardt'scher* Masse, der die Erwärmung des Schamottekörpers auf 1200° C zuläßt. Durch eingehende Versuche ist die Geschwindigkeit der Erwärmung des Ofens und seiner wichtigsten Teile, die Wirkung der strahlenden Wärme und die Geschwindigkeit des Wärmedurchganges durch den Versuchskörper erprobt worden¹.

¹ *Gary*, Prüfung erhitzter Schamottesteine auf Druckfestigkeit. Mitteilungen aus d. Königl. Materialprüfungsamt 1910, S. 31 ff.

geschliffene Klinkerplatte und darüber wieder eine Asbestpappe, die dem Ofen *B* als Unterlage dient. In das Ofeninnere werden zentrisch eingebaut: Ein Porzellanzylinder von 75 mm Höhe, der den zu prüfenden Schamottekörper trägt, und über diesem ein zweiter Porzellanzylinder von 90 mm Höhe, der wieder mit einem Asbestplättchen und dem Kugellager abgedeckt ist. Zwischen Kugellager und obere Preßplatte der Maschine wird nochmals eine Asbestplatte zur Wärmeisolierung gelegt. Um die strahlende Wärme des Ofens nach oben möglichst zu mildern, wird der obere Preßzylinder mit Asbestschnur umwickelt und durch eine Asbestplatte durchgeführt.

Damit bei der Zerstörung des Schamottezylinders keine abfallenden Steinkörnchen mit den inneren Ofenwandungen in Berührung kommen und diese anschmelzen können, ist ein Hohlzylinder *R* aus dünnem Platindrahtgewebe über den Körper geschoben, der von einem Ring aus Platinblech getragen wird. Auf diesem Blech sammeln sich etwa abfallende Splitter.

Die getroffenen Einrichtungen gestatten es, bei Anwendung einer gleichbleibenden Stromstärke von etwa 10 Amp. innerhalb einer Stunde die für den Ofen höchstens anzuwendende Wärme von 1200° C im Körperinnern zu erreichen. Die Wärme wird durch Pyrometer kontrolliert (s. Fig. 53).

Der zu prüfende Körper nimmt sehr schnell die Wärme der ihn umgebenden Luft an. Seine Erhitzung nimmt gleichmäßig mit der steigenden Wärme des Ofeninnern zu, wie durch Versuche festgestellt wurde.

Die als Druckplatten benutzten Klinkerplatten erhitzen sich langsam innerhalb der Versuchsdauer bis auf höchstens 160° C, die Außenwärme des Ofens wird während des Versuchs nicht so hoch, daß der noch durch mehrere Eisenplatten von dem Ofen getrennte Druckzylinder der Maschine, die übrigens ohne Manschettendichtung arbeitet, dadurch beeinflußt würde.

Die Einrichtung erscheint somit zur Durchführung der Druckversuche mit erhitzten Schamottekörpern wohl geeignet.

Fig. 54 zeigt die Art, in welcher der Ofen in die Presse eingebaut und die vorhandenen Widerstände und das Ampèremeter in den Strom eingeschaltet werden.

Der Einbau des Versuchskörpers mit seinen Druckzylindern in den Ofen erfolgt auf der an die Presse angehängten Konsole, von der aus der Ofen mit der unteren geschliffenen Klinkerplatte und deren Einbau auf den Preßkolben geschoben wird. (Die Pole am Ofen werden bei jedem Versuche vertauscht, um elektrolytische Wirkungen in der Ofenbewicklung zu vermeiden.) Nachdem der Ofen in der Presse die richtige Lage hat, wird das Kugellager aufgesetzt, mit Asbestpappe isoliert und die obere Preßplatte angedrückt. Dann wird der Strom eingeschaltet. Nach Erreichung der Höchstwärme wird der Druck-

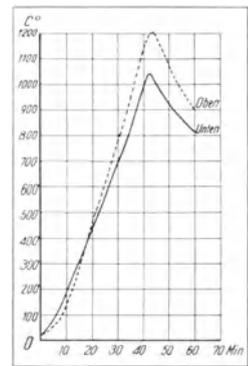


Fig. 53. Messung der Ofenwärme über und unter dem Probekörper bei 10 Amp. Stromstärke.

versuch ausgeführt und sofort nach Absinken der Quecksilbersäule der Presse der Strom ausgeschaltet. Hierauf wird die obere Preßplatte so weit als möglich zurückgezogen, Kugellager und Asbestpappe oben entfernt und der Ofen für

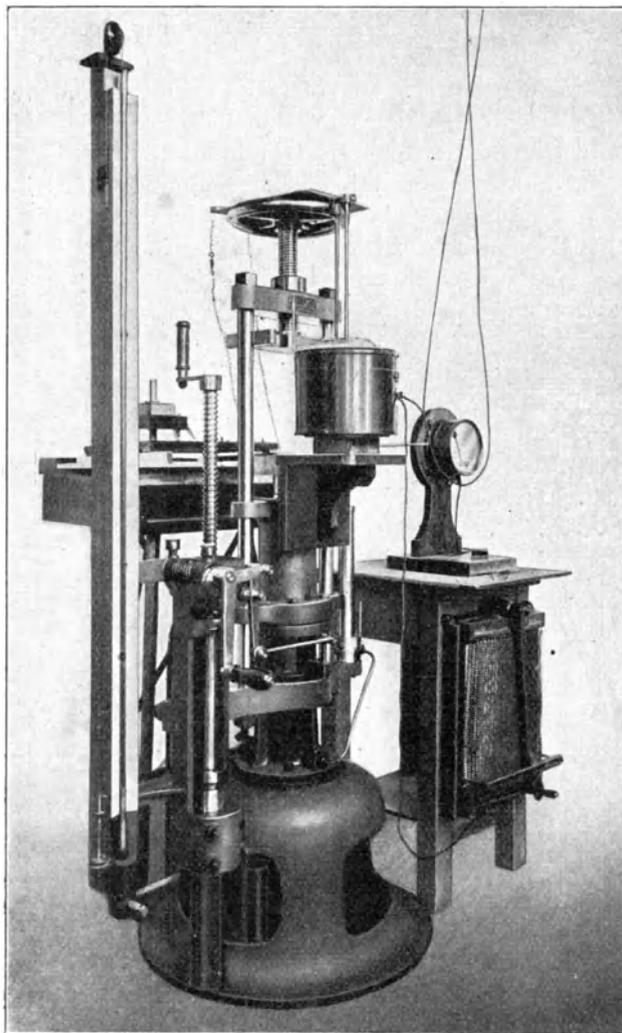


Fig. 54. Arnslers-Press, vorbereitet zum Druckversuch mit erhitzten Schamottekörpern nach Gary.

den Rest des Tages sich selbst überlassen, um abzukühlen.

Einen mit Gas und Preßluft betriebenen Versuchsofen zum Prüfen feuerfester Materialien unter Druck bei hohen Temperaturen, wie denselben die Koppers Company und die Pittsburgh By.-Produkt Coke Company seit 1916 verwendet, beschreibt *Montgomery*¹ folgendermaßen.

Die Ofenkammer (Fig. 55) ist kreisrund und kann aus keilförmigen Steinen gebaut werden, welche an verschiedenen Stellen Schaulöcher zur Beobachtung der Versuchskörper lassen. Die Kammer wird durch zwei Brenner erhitzt, welche mit Gas und komprimierter Luft gespeist werden. Diese sind in der Ebene *C* tangential zu der Kammer angebracht. Dieser Brennertyp entwickelt eine wirbelnde

Flamme und bewirkt eine sehr gute Wärmeverteilung. Die Gase entweichen durch den vierzölligen, runden Abgaskanal *D* in der Mitte des Untergrundes, zwischen dem Versuchskörper, welche zum Schornstein führt. Um sicher zu sein, daß der Ofen mit Gas gefüllt ist und um die Mischung von Luft und

¹ Met. Chem. Eng. 1918, Bd. XVIII, Nr. 1, S. 18.

Gas zu regulieren, sind kleine Wind- oder Beobachtungslöcher auch oben an der Spitze offengelassen, oberhalb eines jeden Brenners in der Ebene *E*.

Die Art, wie der Prüfstein eingesetzt wird, ist aus der Fig. 55 zu ersehen. Der Stein wird mit dem einen Rand auf einen feststehenden Block *FF* gestellt, auf den Stein werden Tassen *GG* gestellt, dann die feststehenden Stäbe *HH*, welche sich durch das obere Ende des Ofens erstrecken. Diese Tassen und Stabanordnung wurden für nötig befunden, wenn Versuche unter schweren Bedingungen durchgeführt werden (wie z. B. 100 Pfund/Quadratzoll Be-

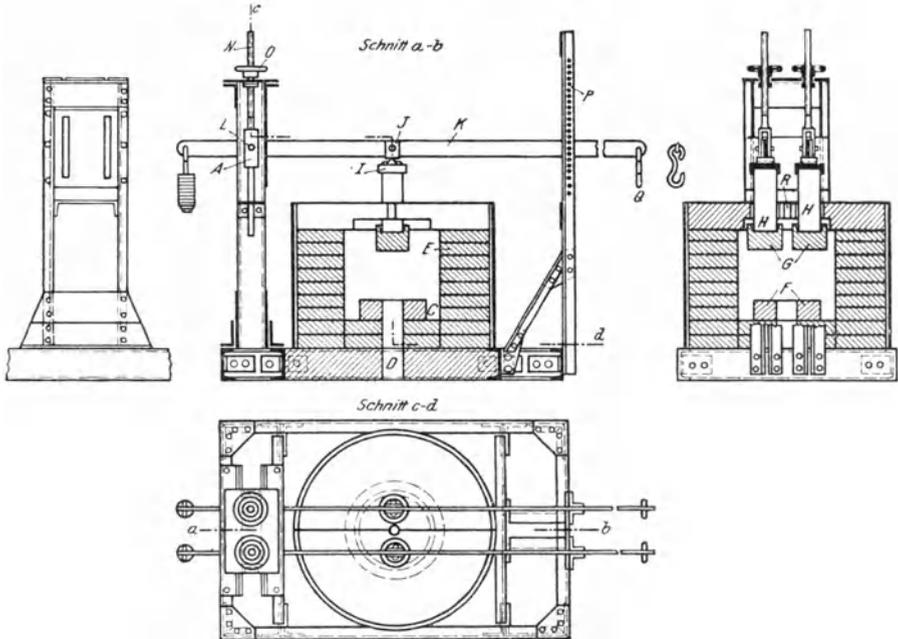


Fig. 55. Mit Gas und Preßluft betriebener Versuchsofen zum Prüfen feuerfester Stoffe in der Hitze unter Belastung.

lastung bei 1500°C). Die Tasse nimmt die höchsten Temperaturen des Ofens auf und hält nicht viele Versuche durch, aber die schützt den Stab, welcher ziemlich lange vorhalten wird. Der Querschnitt des Stabes muß etwa $1\frac{1}{2}$ mal soviel betragen, wie der des Versuchskörpers, um schwierigen Bedingungen standzuhalten. Die Anordnung kann etwas geändert werden, wenn besondere Arten von feuerfesten Materialien zu prüfen sind.

Auf den feuerfesten Stab ist eine eiserne Kappe *J* gesetzt, welche eine messerförmige Schneide aus Stahl enthält, welche die mit einer Rinne versehene Platte *J* auf dem Balken *K* berührt. Dieser Balken ist in *L* unterstützt und durch das Gegengewicht *M* im Gleichgewicht gehalten. Die Höhe des Balkens kann durch die Spindel *N* und das Handrad *O* reguliert werden. Der Balken wird in der richtigen Lage gehalten durch die

vertikale Führung P , diese Führung trägt Bohrungen in je 1 Zoll Entfernung zur Unterstützung des Balkens mit Hilfe eines Stiftes, wenn der Ofen nicht in Gebrauch ist. Der Balken wirkt als Hebel im Verhältnis $1 : 4$, die Last wird am Ende des Balkens an einem Haken befestigt. Ein Balken von $\frac{3}{4}$ Zoll kann eine Last von 25 bis 35 Pfund/Quadratzoll auf einen normalen Stein ausüben ohne ungehörige Durchbiegung, und einer von $3\frac{1}{4}$ Zoll bis $3\frac{1}{2}$ Zoll kann eine Belastung von 75 bis 100 Pfund/Quadratzoll ausüben. Der Balken

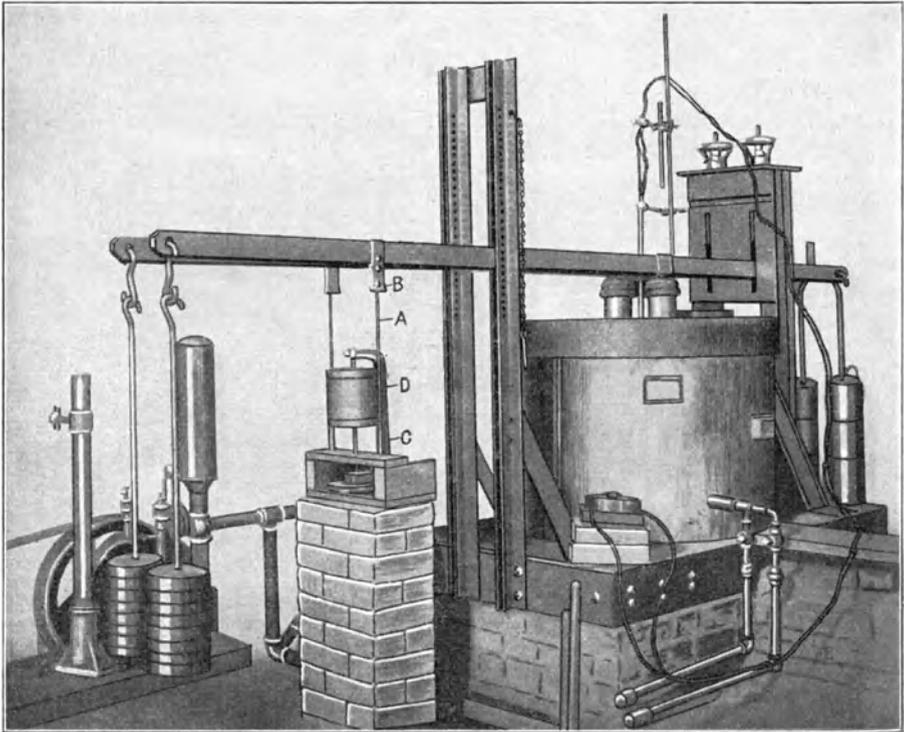


Fig. 56. Photographische Darstellung des in der Fig. 55 abgebildeten Ofens.

wird zu Beginn des Versuchs eingestellt, und es ist nicht nötig, später zu regulieren. Die Entfernung zwischen Unterstützungspunkt und der Messerschneide ist groß genug, um eine merkliche exzentrische Belastung zu verhindern. Bei 15 Proz. Schrumpfung des Versuchssteines verschiebt sich die ursprüngliche Belastungsebene nicht stark. Wenn man den Balken nicht reguliert, kann man einen Trommelschreiber gebrauchen, um ein vollständiges Diagramm des Probeversuches zu erhalten. Ein Pyrometer mit einem 3 Fuß langen Thermoelement wird durch das Loch R eingeführt und erstreckt sich bis zum Mittelpunkt des Verbrennungsraumes. Die kalte Lötstelle des Elementes wird durch einen Asbestschutz geschützt und eine Korrektion angebracht, indem man zu den Ablesungen des Galvanometers die Hälfte der

Temperatur der kalten Lötstelle hinzufügt. Die Photographie Fig. 56 zeigt den Ofen mit einem Gebläse für die Luft im Hintergrund, die Wind- oder Beobachtungslöcher kann man an den Seiten des Ofens sehen. Die Schreibvorrichtung, welche die Bewegung des Steines dreimal vergrößert, ist aus der Fig. 56 ebenfalls ersichtlich. Der Erzstab *A* ist in *B* unterstützt, so daß er sich nicht an der Erzführung *C* reibt. Eine Feder *D* ist an *A* angebracht und steht mit dem Trommelschreiber in Verbindung. Eine horizontale Röhre *E* läuft vom Ofen zum Schornstein.

Nach *Montgomery* zeichnet sich dieser Ofen durch folgende Vorzüge aus:

1. Man kann zwei Steine zu gleicher Zeit untersuchen, woraus sich eine besondere Ersparnis ergibt.
2. Ein nach unten gehender Zug vermehrt die Gleichförmigkeit der Temperatur in der Verbrennungskammer.
3. Die ringförmige Verbrennungskammer und die tangential angeordneten Brenner geben eine bessere Wärmeverteilung als die Brenner, die rechteckig zum Ofen angebracht sind.
4. Eine geeignete Anordnung der feuerfesten Tasse und Stäbe erlauben ein Maximum von Temperatur und Belastung für die Versuchskörper anzuwenden.
5. Eine einfache Art und Weise, die Last anzubringen und einen fortlaufenden Bericht über den Versuch zu erhalten.

Ein ähnlicher Versuchsofen zur Untersuchung feuerfester Stoffe in der Hitze unter Belastung ist in der Fig. 57 gezeigt und möge im folgenden kurz beschrieben werden. Dieser Ofen ist vom Laboratorium der Städtischen Gaswerke Stockholm konstruiert und wird mit Leuchtgas beheizt. Die Verbrennungsluft wird im unteren Teil des Ofens vorgewärmt, was für die Erzielung von Temperaturen von über 1350°C unumgänglich ist. Der Verfasser machte mit diesem Ofen gute Erfahrungen. Auf einem Untergestell ist ein schmiedeeiserner Mantel von 520 mm Höhe montiert, welcher mit bestem feuerfestem Material ausgefüttert ist. Zwischen der Ausfütterung und dem Blechmantel ist eine Isolierschicht vorgesehen. Der zylindrische Hohlraum, in welchem die Steine erhitzt werden, hat einen lichten Durchmesser von 270 mm. Zur Unterstützung des Probestückes und zur Abdeckung desselben dienen feuerfeste Steinplatten, von welchen die untere Tragplatte mit etwas geringerem Durchmesser, wie der lichte Durchmesser ausgeführt ist. Auf der Abdeckplatte des Hohlraumes sitzt ein zylindrischer Belastungsstempel aus feuerfestem Material von 200 mm Durchmesser, welcher durch einen entsprechenden Ausschnitt in der Ofendecke hinausragt. Die Ofendecke besteht aus einem Blechdeckel mit einer Ausfütterung von feuerfestem Material.

Die Belastung des Probestückes erfolgt mittels Hebelübersetzung, wobei der Druck auf die Flächeneinheit beliebig groß gewählt werden kann.

Die Beheizung des Ofens erfolgt durch zwei Brennerreihen, welche oberhalb und unterhalb des Probestückes in den Heizraum eingeführt werden. Jede Brennerreihe besitzt vier Brenner, welche tangential angeordnet sind. Durch

diese Anordnung wird eine intensive Durchmischung der Verbrennungsprodukte erreicht, wodurch eine Überhitzung einzelner Stellen vermieden wird. Die tatsächlichen Temperaturunterschiede an verschiedenen Stellen des Verbrennungsraumes betragen nur etwa 10°C . Die Verbrennungsluft

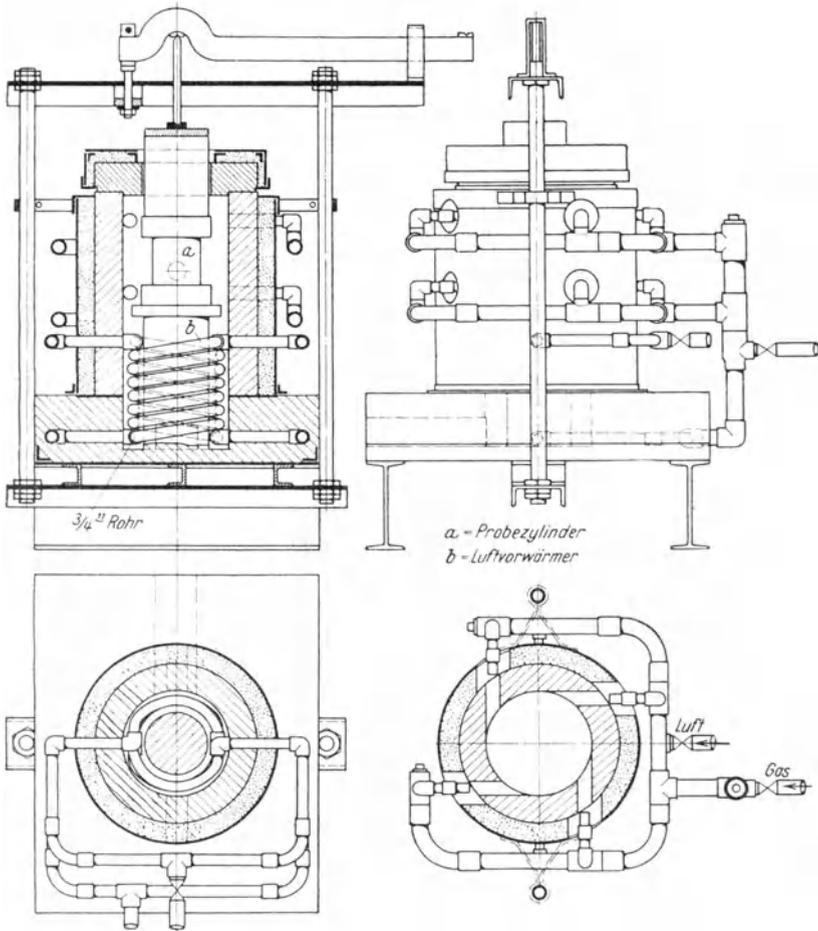


Fig. 57. Versuchsofen des Gaswerks Stockholm zur Prüfung der Steine in der Hitze unter Belastung.

wird von einem Gebläse mit einer Pressung von 1400 mm W. S. zugeführt. Das Heizgas steht unter normalem Leistungsdruck (ca. 40 mm) und wird durch einen in der Luftleitung eingebauten Injektor abgesaugt. Zur Herstellung eines richtigen Gas-Luftgemisches ist in jeder Leitung ein Regulierhahn eingebaut. Um ein Zurückschlagen der Flammen zu verhüten, sind die einzelnen Brennerköpfe mit gußeisernen Kappen, welche von zahlreichen kleinen Löchern durchbohrt sind, versehen.

Die Prüfung wird folgendermaßen ausgeführt. Aus einem größeren feuerfesten Stein wird ein zylindrisches Probestück von ca. 100 mm Durchmesser und Höhe hergestellt. Der Durchmesser muß genau eingehalten werden und wird mittels Leere beim Abdrehen des Steines festgestellt. Die Druckflächen werden sauber abgeglättet und kleine poröse Stellen mit einer hochfeuerfesten Masse ausgeglichen. Nach Feststellung der genauen Maße wird das Probestück genau zentrisch im Verbrennungsraum eingesetzt. Nach

Abdeckung des Probesteines werden an dem Gewichtshebel die dem Querschnitt des Probestückes entsprechenden Gewichte angehängt. Das Anwärmen des Ofens erfolgt zunächst nur mittels Leuchtgas. Die Verbrennungsluft wird bis zu einer gewissen Temperaturhöhe durch die Schaulöcher des Ofens ausgesaugt, während die Verbrennungsgase nach unten entweichen und in einem Schornstein abgeführt werden. Die Temperatursteigerung soll allmählich erfolgen, so daß innerhalb 4 Stunden die gewünschte Temperatur von 1400° erreicht wird. Die Erhitzung des Probestückes unter der Höchsttemperatur und unter Druck soll mindestens 3 bis 4 Stunden dauern, während die Abkühlung in einer Stunde vorgenommen werden kann. Zur Messung der Temperatur dienen Segerkegel, welche auf der Tragplatte aufgesetzt werden und durch das Schauloch beobachtet werden können. Zur Kontrolle der Segerkegel wird die im Ofen herrschende Temperatur außerdem mit einem Thermoelement gemessen.

Die Erweichung des Steines ist schon während des Versuches aus dem Ausschlag des Gewichtshebels ersichtlich. Durch Anordnung einer Zeigervorrichtung kann die Höhenveränderung des Steines noch besser festgestellt werden.

Nach dem Versuch werden die Probestücke nach allen Richtungen wieder sorgfältig gemessen und so die effektive und prozentuale Zusammendrückung und Ausbauchung festgestellt, die beide zusammen zur Beurteilung der Steingüte dienen.

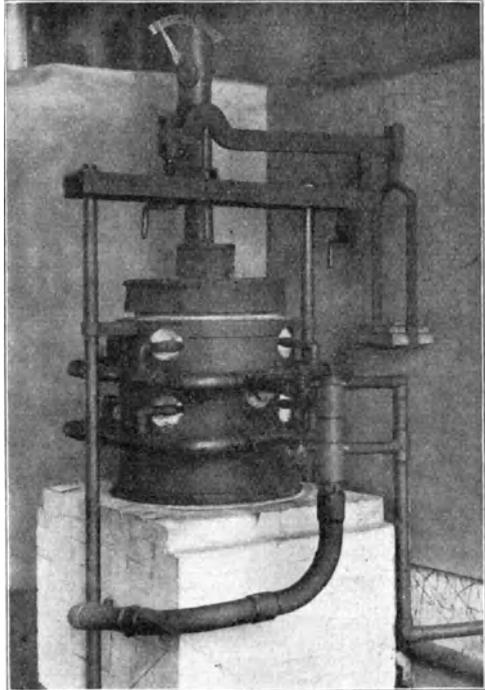


Fig. 58. Photographische Darstellung des in der Fig. 57 abgebildeten Versuchsofens.

Nachfolgend noch einige praktische Winke:

1. Die Stundenleistung des Gebläses ist ca. 60 cbm, bei einer Tourenzahl von 500 mm i/Min. und $1\frac{1}{2}$ PS.
2. Das Abzugsrohr für die Rauchgase hat einen Durchmesser von 100 mm, derselbe kann jedoch ruhig größer sein.
3. Um Explosionen zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Brenner nicht zu tief in den Ofen hineinragen zu lassen.
4. Die Abmessungen der Luft- und Gasanschlüsse sind 25 mm.
5. Der Ofen ist mit zwei Injektoren versehen, und zwar mit je einem für die obere und untere Brennerreihe.
6. Es empfiehlt sich, die Brenner aus Gußeisen herzustellen.

Bei der Ausführung von Versuchen zur Ermittlung des Erweichungspunktes von feuerfesten Fabrikaten muß man sich, besonders bei der Wahl des Materials für den Druckstempel, genau über die Formveränderung des Materials zu unterrichten und dabei die vorübergehende und bleibende Volumenveränderung (wenn der Druckstempel z. B. aus Silikamaterial angefertigt ist) unterscheiden. Es kann bei der Prüfung eines Schamottesteines vorkommen, daß derselbe zu erweichen beginnt, während der Druckstempel im Wachsen begriffen ist, so daß der Zeitpunkt der Erweichung an der Anzeige- oder Registriervorrichtung erst später wahrgenommen wird, als es in Wirklichkeit der Fall ist. Die bis heute bekanntgegebenen Resultate zeigen nicht den Erweichungsbeginn, sondern den Umkehrpunkt, bei welchem die Erweichung die Dehnung ausgleicht.

Ein von der obigen Methode etwas abweichendes Verfahren, welches von *Linbarger* und *Geiger*¹ angewendet wird, um die Bruchfestigkeit von Kapselmassen bei hohen Temperaturen zu bestimmen, sei hier kurz skizziert. Stäbe von $20 \times 6,2 \times 5$ cm sind auf zwei Unterlagen, die 15 cm voneinander entfernt sind, aufgelegt. Die Belastung wirkt auf die Mitte. Die ganze Vorrichtung befindet sich in einem Ofen und wird bis zu einer bestimmten Temperatur erhitzt. Die erreichte Temperatur wird dann etwa 45 Min. konstant gehalten. Während dieser Zeit läßt man die Belastung wirken. Sie ist so eingerichtet, daß sie in der Minute um etwa 0,9 kg steigt bis zu dem Punkte, bei dem der Stab durchbricht. Aus dem Druck wird dann der Brechmodul berechnet. Ein ähnliches Verfahren wurde von *Hartmann* angewandt und auf S. 35 dieses Buches erwähnt.

5. Raumbeständigkeit.

Die Raumbeständigkeit des Steinmaterials während und nach der Erhitzung kann nach verschiedenen Methoden ermittelt werden. Meistens

¹ Journ. Am. Cer. Soc. Bd. III (1920), S. 543.

wird sie durch Nachmessen von einzelnen Steinen bestimmt, die wiederholt hohen Hitzeegraden ausgesetzt werden.

Im Materialprüfungsamt Lichterfelde werden mit Hilfe eines Diamantkernbohrers je 8 Zylinder von 5 cm Durchmesser aus einem Normalstein herausgebohrt (Fig. 59). Diese Zylinder werden zu den Messungen der Raumänderung nach Erhitzung benutzt.

Die Feststellung der Raumänderung selbst geschieht¹ nach mehrmaligem Erhitzen auf Segerkegel 0,5 bis 16 (1050 bis 1450° C) und Messung mit der Schublehre oder im Volumenometer.

Der Wechsel zwischen Erhitzung und Abkühlung muß so lange fortgesetzt werden, bis entweder die Raumbeständigkeit festgestellt ist oder die Steine durch Risse und Sprünge gelockert sind. Die Messung

mit der Schublehre läßt nur Ablesungen bis auf 0,1 mm zu, diese Genauigkeit ist aber ausreichend, wenn man in folgender Weise verfährt: Der in der oben angegebenen Art hergestellte Schamottezylinder wird auf eine ebene Platte gestellt und mit Hilfe einer Schublehre gemessen, indem man die Lehre flach auf die Platte legt, mißt, den Körper um einige Zentimeter dreht und auf diese Weise drei Messungen ausführt (Fig. 60). Dann legt man zu beiden Seiten des Zylinders Eisenplättchen von 1 cm Dicke und mißt in gleicher Weise. Dasselbe wird noch 3 mal wiederholt. Nach Er-

hitzen des Körpers wird er nochmals gemessen und so fort nach Bedarf. Die Längenänderung des Zylinders kann in gleicher Weise gemessen werden, und daraus berechnet sich leicht die Raumänderung des Körpers. Im allgemeinen interessiert aber die Raumänderung des Steines weniger als seine Maßänderung in der Richtung der Dicke des Steines, die für den Bestand von Gewölbemauerwerk oft von ausschlaggebender Bedeutung ist. Die Längenänderung kann je nach der Art der Herstellung des Steines nach den drei Richtungen im Raume verschieden sein. Deshalb ist es nötig, daß man vor der Prüfung

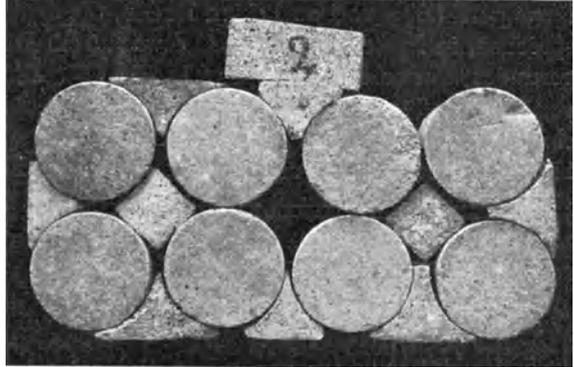


Fig. 59. Zerteilung eines Schamottesteines in zylindrische und prismatische Probekörper.

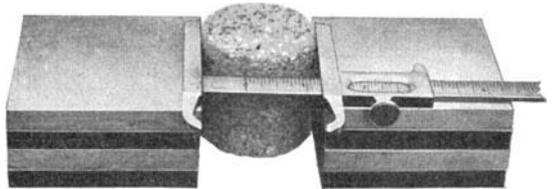


Fig. 60. Messung der Raumänderung mit der Schublehre.

¹ Feuerungstechnik II. Jahrg. (1913/1914), S. 178.

die Art der Verwendung des Steines berücksichtigt und darnach die Gestaltung der Versuchskörper einrichtet.

Zur Messung der Schwellung oder Schwindung der Steine in der Richtung ihrer Pressung, in der sie die größte Verdichtung erfahren haben, werden nach *Garys*¹ Verfahren die bei dem Bohren zwischen den Zylindern verbleibenden Stücke benutzt, nachdem sie auf der Karborundumscheibe und mit Schmirgel zu Stäben von quadratischem Querschnitt bei 2,5 cm Seitenlänge geschliffen und an beiden Enden, die den Lageflächen des Steines entsprechen, in Zylinderflächen mit etwa 3,5 cm Durchmesser des Zylinders abgerundet worden sind (Körper 2 in Fig. 59). Die Stäbe erhalten so zwischen den Zylinderflächen 6 cm Länge und werden nun in einem wagrecht liegenden elektrischen Ofen in der Mitte des Ofenraumes quer zur Ofenachse auf einem kleinen Porzellanblock so gelagert, daß sie sich bei der Erhitzung frei ausdehnen und zusammenziehen können.

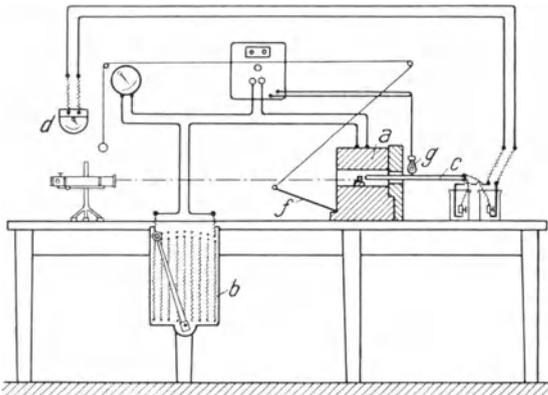


Fig. 61. Einrichtung zur Messung der Längenänderungen von Schamotte in der Hitze nach *Gary*.

Die Versuchsanordnung ist aus Fig. 61 ersichtlich.

a ist ein elektrischer Ofen von *Heraeus*, Hanau, mit Heizrohr aus schwer schmelzbarer *Marquardt*scher Masse, der die Erwärmung der Schamottekörper bis auf 1200°C zuläßt. Mittels Gleichstromes von 220 Volt Spannung wird die Hitze mit Hilfe eingeschalteter Widerstände *b* allmählich gesteigert und, nachdem 1200° erreicht

sind und einige Minuten eingewirkt haben, langsam vermindert. Darauf steht der Ofen unberührt bis zur völligen Abkühlung. Die Wärmemessung erfolgt mit Hilfe eines *Le Chatelier*-Pyrometers *c*, welches von hinten in den Ofen bis dicht an den Versuchskörper herangeführt ist. Die Wärme wird am Galvanometer *d* abgelesen.

Die Längenänderung der Körper wird in der Art gemessen, daß die Fadenzweige zweier Nonienfernrohre auf die beiden gewölbten Endflächen des Stabes so eingestellt werden, daß der senkrechte Faden als Tangente zu der Zylinderfläche der Endwölbung des Probestückes erscheint. Die Verschiebung der Endpunkte des Versuchskörpers gegen den Faden der Fernrohre wird mit Hilfe der in das Okular der Fernrohre eingebauten Nonien gemessen.

Um die Wärme im Ofen möglichst zusammenzuhalten, ist eine Asbestpappe *f* so angeordnet, daß sie mit Hilfe eines Rollenzuges vom Sitze des Beobachters aus leicht niedergelegt und wieder an die Ofenöffnung angedrückt werden kann. Die Beleuchtung des Ofeninnern liefert eine Glühbirne *g*. Die Fig. 62

¹ Feuerungstechnik II. Jahrg., S. 178.

und 63 zeigen die Schwellung zweier feuerfester Steine, berechnet in Millimeter auf 1 m Stablänge während der Erhitzung und die Schwindung bei langsamer Abkühlung in je drei Versuchen. Aus den Figuren ist ersichtlich, daß die an je drei verschiedenen Stäben ausgeführten Messungen ausreichend miteinander übereinstimmen. Während das Material in Fig. 62 keine bleibende Schwindung erlitten hat, ist das Material in Fig. 63 nach Erhitzung bis auf 1200° C bei der Abkühlung bis 400° C schon wieder auf seiner ursprünglichen Länge angekommen und erleidet bei völliger Abkühlung eine bleibende Schwindung von etwa 0,2 Proz. Durch wiederholte Versuche, auch bei höherer Erwärmung, kann festgestellt werden, ob es dabei sein Bewenden behält, oder ob noch weitere Schwindung eintritt.

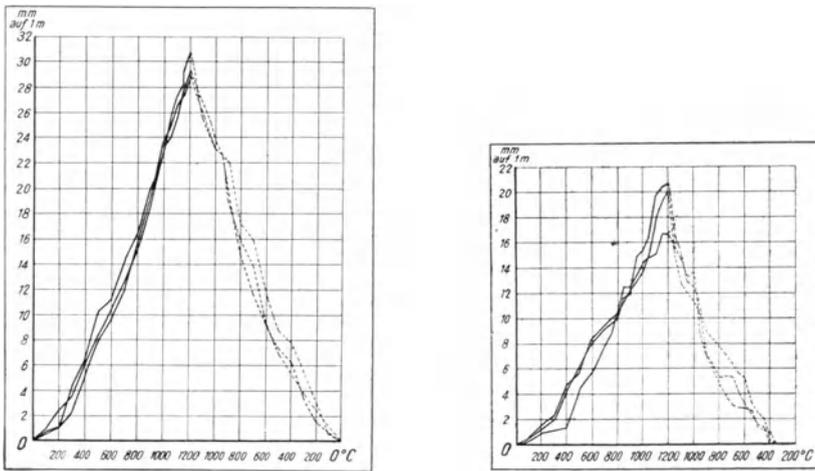


Fig. 62 u. 63. Dehnungskurven zweier Schamottesteine bei Erhitzung bis 1200° C und Abkühlung.

Das Material in Fig. 62 dehnt sich beträchtlich, das in Fig. 63 nur wenig. Diese beiden Beispiele werden genügen, um die Nützlichkeit solcher Messungen darzutun. Weitere Versuchsergebnisse sind an andere Stelle veröffentlicht¹.

Coppée benutzt zum Prüfen feuerfester Steine auf ihre Ausdehnung in der Hitze die folgende Einrichtung². In einem Ofen *a* (Fig. 64) wird der zu untersuchende Stein erhitzt. In 1,5 m Entfernung steht ein Kathetometer *b*, bei welchem um eine vertikale Achse ein Metallstab in genau horizontaler Ebene drehbar ist. Auf ihm sind zwei Teleskope mit je einem festen Fadenkreuz horizontal verschiebbar und mit Klammern zu befestigen. An einem der Teleskope ist außerdem noch ein bewegliches Fadenkreuz durch eine sehr feine Mikrometerschraube in horizontaler Richtung zu verschieben. Unter

¹ Gary, Über die Prüfung feuerfester Steine nach den Vorschriften der Kaiserlichen Marine, insbesondere auf Raumbeständigkeit in der Hitze. Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. Verein deutsch. Ingenieure. 1912. Heft 116.

² Feuerungstechnik II. Jahrg., Heft 11, S. 185; Iron Coal Tr. Rev. vom 29. März 1913.

einem Winkel von 90° steht in ebenfalls 1,5 m Entfernung vom Kathetometer ein fester Normalmaßstab *c* aus möglichst unveränderlichem Metall. Er hat eine sehr genaue Einteilung und gestattet Ablesungen bis 0,01 mm. Die nötigen Thermometer und Pyrometer nach *Le Chatelier*, *Ferry* oder *Wanner* dienen zur jederzeitigen Ablesung der Temperaturen. Der Ofen ist so eingerichtet, daß er Steine von 10'' Länge aufnehmen kann. Für Temperaturen bis 1000 oder 1100° C wird er mit Gas geheizt. Zur Erreichung höherer Temperaturen dient ein Gasolingebläse.

In den Seitenwänden des Ofens sind, wie aus der Figur ersichtlich, zwei kleine Öffnungen, deren Abstand voneinander etwas kleiner ist, als die Länge des zu untersuchenden Steines beträgt. Soll nun eine Messung vorgenommen werden, so werden in den zu prüfenden Stein auf einer Längsseite

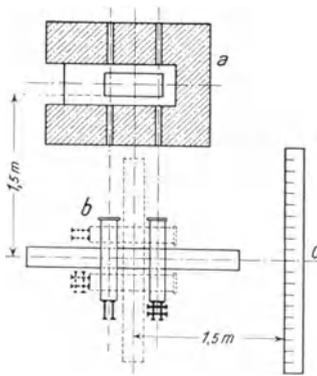


Fig. 64. Apparat zum Messen der Ausdehnung feuerfester Steine.

mindestens 1 cm von jedem Ende entfernt mit einer Säge oder Schmirgelscheibe Einschnitte von etwa 5 mm Tiefe gemacht und darin je ein dicker Platindraht so befestigt, daß die scharfen Spitzen der Drähte oben etwa 2 bis 3 mm über den Stein hervorragen. Diese Spitzen nun werden durch die beiden Öffnungen in der Ofenwand hindurch vor der Erhitzung des Steines genau auf die Vertikalfäden der festen Fadenkreuze in beiden Teleskopen eingestellt, während die Horizontalfäden mit der Oberfläche des Steins in einer Ebene liegen müssen. Dadurch wird der Abstand der Platinspitzen genau festgelegt und durch Drehung des Kathetometers um 90° am Normalmaßstab abgelesen. Der Ofen wird alsdann erhitzt und unter genauer Beobachtung der Temperaturen

von 100 zu 100° bis zu 1500° die Messung des Abstandes der Platinspitzen voneinander in obiger Weise wiederholt.

Nach den englischen Normen¹ zur Prüfung feuerfester Steine für Gaswerksöfen erfolgt die Bestimmung des Nachschwindens und des Nachwachsens feuerfester Steine im Gebrauch an Stücken von etwa $7\frac{1}{2}$ cm Länge und $2\frac{1}{2}$ bis 5 cm Breite, von denen eines aus der Oberfläche, das andere aus der Mitte des Steines geschnitten wurde. Die beiden Endflächen der Probekörper werden glattgeschliffen, die Länge mit einer Schubleere gemessen und die Proben im Gebläsegasofen oxydierend erhitzt, bis der entsprechende Kegel niederschmilzt; darauf wird die Temperatur 2 Stunden lang gleichbleibend gehalten, wobei etwaige Temperaturschwankungen mit einem Pyrometer gemessen werden. Nach Abkühlen wird gemessen und der Längsunterschied berechnet. Die Normen der englischen Gas-Ingenieur-Vereinigung geben als Höchstschwund oder -wachsen an: Für Silikasteine oder quarzhaltige Erzeugnisse (siliceous materials) 0,75 Proz., für Retorten 1,25, feuerfeste Schamottesteine

¹ Mellor, Transact. Instit. of Gas Eng. 1917/1918.

1. Sorte 1 Proz., 2. Sorte 1,25 Proz.; als Prüfungstemperatur für quarzhaltige Steine gilt Segerkegel 12, für feuerfeste Schamotteerzeugnisse Segerkegel 14. Eine Anzahl Verbraucher sollen diese Versuchstemperaturen nicht für hoch genug halten. Besonders erscheint die Prüfungstemperatur entspr. Segerkegel 12 für Silikasteine als kaum ausreichend.

Ein anderes Prüfverfahren wurde später von Dr. *Mellor* ausgearbeitet und vorgeschlagen¹. Er versieht die kleinen Probestücke von $7\frac{1}{2} \times 5$ cm Kantenlänge mit vier etwa $1\frac{1}{2}$ mm tiefen, scharf eingeschnittenen Rillen, die nahe den Längs- und Querrändern der Steinoberfläche zu je zwei genau gleichlaufen,

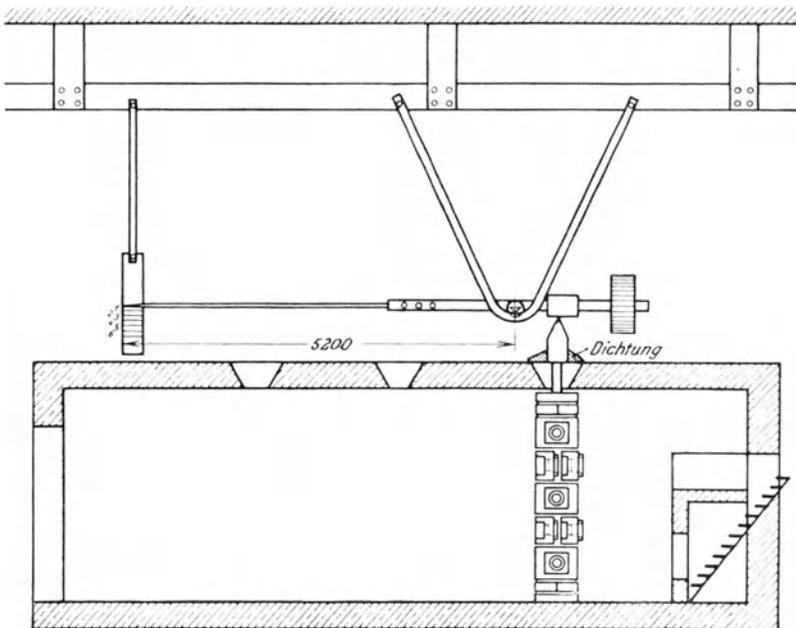


Fig. 65. Einrichtung zum Prüfen von Steinen und Wänden auf Ausdehnung.

so daß vier Kreuzungspunkte entstehen. Die Abstände dieser Kreuzungspunkte voneinander werden vor und nach dem Brennen optisch gemessen. Es werden auf diese Weise für die Länge und Breite des Probestückes je zwei Messungen ausgeführt. Vergleichsversuche zwischen ganzen Steinen und den oben genannten kleinen Probestücken haben ergeben, daß die kleinen Stücke im allgemeinen genauere Ergebnisse zeitigten, vor allem bei Silikasteinen. Die ganzen Steine geben infolge von Spannungen leicht zu Rißbildung Anlaß. Schwieriger ist bei den kleinen Stücken die Messung infolge der kleinen zu messenden Entfernung.

Die durch das Nachmessen einzelner Steine gewonnenen Werte sind jedoch nicht unbedingt maßgebend für die Ausdehnung, die bei einem aus den be-

¹ British Clay-Worker 1922, Bd. 31, Nr. 365.

treffenden Steinen hergestellten Mauerwerk in die Erscheinung tritt. Denn die Ausdehnung der Steine wird zum Teil durch die Zwischenräume ausgeglichen, die zwischen den einzelnen Steinen vorhanden sind, zum Teil scheint sie auch dadurch ausgeglichen zu werden, daß sich die Poren der einzelnen Steine zusammendrücken. Wiederholt hat man die Erfahrung gemacht, daß lange Mauern aus feuerfesten Steinen bei weitem nicht um das Maß wachsen, um das sie bei Zugrundelegung des durch Versuche mit einzelnen Steinen ermittelten Ausdehnungskoeffizienten rechnermäßig wachsen müßten. Deshalb ist eine andere Prüfungsmethode, die von einigen Steinfabriken angewendet wird, vorzuziehen. Aus den zu prüfenden Steinen wird in einem Brennofen eine Säule errichtet, die durch das Ofengewölbe hindurchgeht. Die Bewegung dieser Säule, deren ursprüngliche Länge man genau feststellt, wird mit Hilfe einer Hebelübersetzung (vgl. Fig. 65) auf einen Zeiger übertragen; die eingetretene Längenänderung kann man dann auf einer Skala ablesen oder mit Hilfe eines Uhrwerks registrieren.

6. Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärme.

Wenn es in den Untersuchungsmethoden für feuerfeste Materialien noch immer an einheitlichen Verfahren bzw. Normen mangelt, so ist dies bei der Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit besonders der Fall. Übrigens gehört die Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit sowie der spezifischen Wärme nicht zu den alltäglichen Bestimmungen. Ich beschränke mich deshalb in diesem Falle auf die folgenden einschlägigen Quellen:

1. *Arndt*. Die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit feuerfester Stoffe. Dingers Polytechnisches Journal 1922, Bd. 337, Heft 18 und

2. *Jacob*. Über einige neuere praktische Verfahren zur Messung des Wärmeleitvermögens von Bau- und Isolierstoffen. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1919, Heft 4 u. 6.

In diesen beiden Arbeiten ist eine Reihe von Untersuchungsverfahren für Wärmeleitvermögen feuerfester Stoffe angegeben.

7. Widerstand gegen Temperaturwechsel.

Die Untersuchungsmethoden zur Feststellung der Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel zeichnen sich nicht durch Vollkommenheit aus. Allgemein¹ findet zur Prüfung eine Erhitzung des Steines, in manchen Fällen auch nur einer Fläche derselben auf etwa 1350° C statt. Sodann erfolgt plötzliche Abkühlung a) durch Eintauchen in Wasser, b) durch Aufblasen kalter Luft, c) durch Aufstellen des erhitzten Steines auf eine kalte und gekühlte Eisenplatte. Die Gewichtsabnahme infolge Splitterung gibt dann ein Maß für die Beständigkeit bei Temperaturwechsel. Auf den *Edgar-Thomson*-Werken der *Carnegie Steel Co.* wird diese Prüfung folgender-

¹ *Krueger*, St. u. E. 1918, S. 209; vgl. auch ein von *Steger* in den Berichten d. deutsch. Keram. Gesellsch. 1923, Bd. 4, S. 49 vorgeschlagenes Verfahren.

maßen ausgeführt: Im Probeofen wird der Stein so eingesetzt, daß eine Fläche desselben mit der beheizten Wand des Ofens abschneidet, gewissermaßen einen Teil dieser Wand bildet. 1 Stunde lang wird auf 1350°C erhitzt, sodann wird

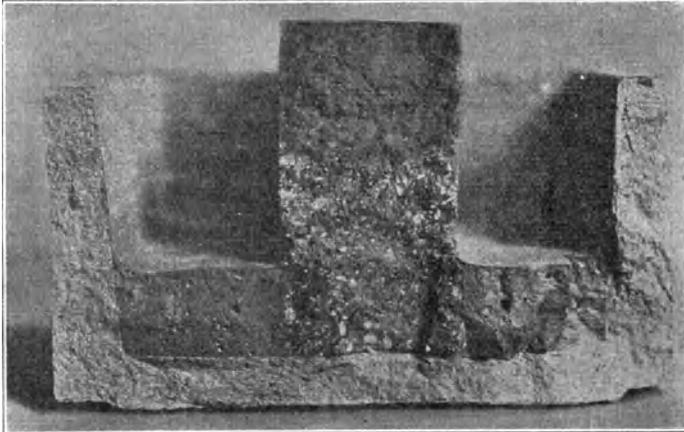


Fig. 66. Feuerfester Stein, der die Eindringung der Schlacke zeigt.

der Stein 3 Minuten 100 mm tief ins Wasser gehalten. Dieses Verfahren, Erhitzen und Eintauchen in Wasser, wird 10 mal wiederholt. Die Gewichtsabnahme des getrockneten Steines in Hundertstel vom ursprünglichen Stein

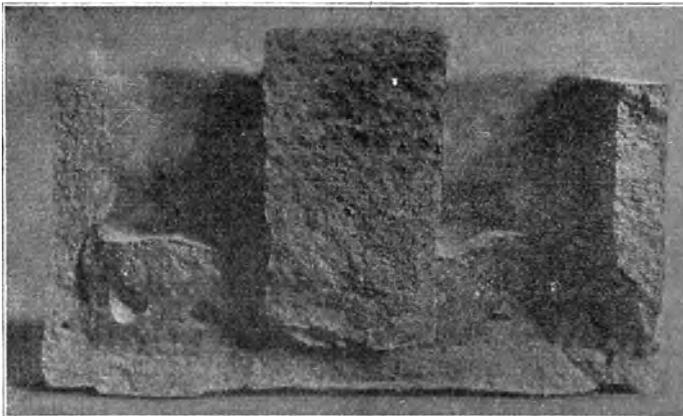


Fig. 67. Feuerfester Stein, der gegen Schlackeneindringung widerstandsfähig war.

ist die Vergleichszahl für die Widerstandsfähigkeit gegen Temperaturwechsel. Die Wirkung dieser Behandlungsart soll derjenigen sehr ähnlich sein, wie man sie z. B. an durch Temperaturwechsel gesplitterten Ofengewölben beobachtet.

Nach der Ausführung dieser Probe müssen die Steine sehr aufmerksam untersucht werden, wenn man alle Schlüsse aus ihr ziehen will, die gezogen

werden können. Aus feinkörniger Masse hergestellte Steine zeigen dabei meistens einzelne, sehr deutliche, tiefe Risse. Aber auch bei grobkörnigen Steinen finden sich in vielen Fällen feine und zahlreiche Risse, die den Einwirkungen der Schlacke leicht zugänglich sind.

8. Verhalten gegen Schlackenangriffe.

In Amerika sind verschiedene Untersuchungsarten zur Feststellung der Widerstandsfähigkeit von Steinen gegen Schlackenangriff in Anwendung¹. Bei der einen (Fig. 66 und 67) wird der Stein in ein Schlackenbad eingetaucht, das aus Schlacke besteht, welcher der Stein in Wirklichkeit ausgesetzt sein wird. Nach dem Erkalten wird der Stein durchgebrochen und das Gefüge studiert. Die andere Untersuchungsart geht aus

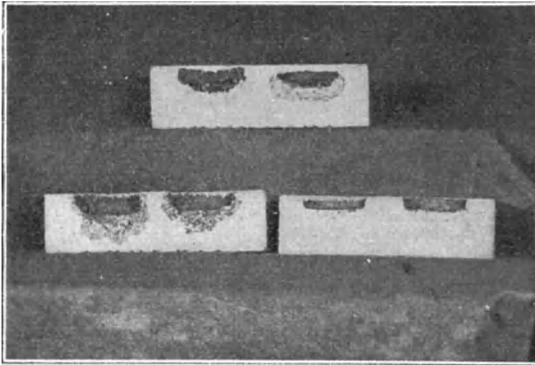


Fig. 68. Versuchsanordnung zur Prüfung feuerfester Steine gegen Schlackenangriff.

der Fig. 68 hervor. In dem Stein werden flache, schalenförmige Mulden gemacht, der ganze Stein wird in einem Ofen auf die der Wirklichkeit entsprechende Temperatur erhitzt und Schlacke in die Mulden eingebracht. Nach einer gewissen Zeit wird erkalten gelassen und der Stein durchgesägt. Die Tiefe der Schlackeneindringung und die Zeit der Einwirkung geben das Maß für die Widerstandsfähigkeit gegen Schlackenangriff. Die Herstellung

der Vertiefungen im Stein zur Aufnahme der Schlacke geschieht mittelst eines Bohrers, der unter 150° flach zugespitzt ist; der Durchmesser der Vertiefungen ist 65 mm, die Tiefe am Rande 13 mm. Durch eine Schablone wird die richtige Tiefe nachgeprüft. 35 g feingepulverte Schlacke werden in den Stein eingebracht, nachdem derselbe auf 1350° erhitzt wurde; die Schlacke läßt man zwei Stunden einwirken. Nach Abkühlung im Ofen wird die Probe mit einer Karborundumscheibe durchsägt, und zwar genau durch den Mittelpunkt der Vertiefung. Der Umfang der Schlackeneindringung in den Stein wird mit dem Planimeter gemessen (Martinofenschlacke 22 bis 24, Schweißofenschlacke 14 bis 16 qcm). Häufig empfiehlt es sich, durch Anfertigung von Schliffen die Art des Schlackenangriffs genauer zu erforschen und seine Ursachen festzustellen.

*Rigg*² benutzt für seine Versuche Steinwürfel von 50 mm Seitenlänge. Aus der in Frage kommenden Schlacke werden Würfel von ca. 25 mm Kanten-

¹ St. u. E. 1918, (II), S. 1209.

² JI. Ind. Eng. Chem. 1913, Nr. 7, S. 549 bis 554; Bericht über die 34. ord. Hauptvers. d. Vereins deutsch. Fabr. feuerf. Prod. S. 73.

länge hergestellt; ein solcher Schlackenwürfel wird dann auf einen Steinwürfel, und zwar auf eine natürliche Steinoberfläche aufgesetzt und das ganze in einem Versuchsofen auf diejenige Temperatur gebracht, welche der Stein aushalten muß. Nach dem Erkalten kann man die Einwirkung der Schlacke auf das Steinmaterial leicht prüfen; man schneidet die Probesteine durch und stellt fest, ob und in welchem Maße die Schlacke in die Steine eingedrungen ist. In ähnlicher Weise erfolgt die Prüfung auf Widerstandsfähigkeit gegen Schlacken in Deutschland schon seit langer Zeit. Einige Steinfabriken arbeiten in der Weise, daß sie durch Vermischen der Masse der betreffenden Steine mit einem bestimmten Prozentsatz der gepulverten Schlacke oder des gepulverten Metalles Versuchskörper herstellen und setzen dieselben durch Segerkegel kontrollierten Temperaturen aus. Je höher der Schmelzpunkt des Versuchskörpers ist, um so größer ist die Widerstandsfähigkeit der geprüften Steinmischung gegen die betreffende Schlacke oder Metalle. Die Zweckmäßigkeit der letzteren Prüfungsart muß jedoch stark in Zweifel gestellt werden.

Unter Umständen dürfte es sich eventuell empfehlen, die einzelnen Bestandteile des Schamottesteines, also den Bindeton und die Schamotte gesondert zu prüfen, da zuweilen das Flußmittel sehr kräftig auf den Bindeton einwirken kann, die körnigen Beimengungen aber wenig oder gar nicht angegriffen werden oder umgekehrt.

*Hirsch*¹ bringt für solche Versuche einen Probekörper in Vorschlag, welcher in der Fig. 69 dargestellt ist.

Eine neue diesbezügliche Vorschrift der amerikanischen Society for Testing Materials, über die *E. P. Bauer* im Juniheft der „Allgemeinen Glas- und Keramindustrie“ Jahrg. 1924 referiert, lautet folgendermaßen:

Auf einer Probe eines feuerfesten Materials werden Ringe aus gleichfalls feuerfestem Material aufgesetzt, in die eine Schlacke bestimmter Zusammensetzung getan wird.

Die Ringe werden aus gutem bekannten Material hergestellt, das eine hohe Feuerfestigkeit garantiert und gegen den Schlackenangriff genügenden Widerstand bietet. Man überzieht sie vorsichtshalber noch mit einem hochfeuerfesten Überzug. Die Maße für die Ringe werden genau angegeben zu 63 mm innerem Durchmesser und einer Höhe von 12,7 qmm. Sie müssen ungefähr 12 cm voneinander entfernt sein, wenn mehrere von ihnen auf einem Probestück angesetzt werden. Die geringste Entfernung vom Rande muß 50 mm betragen.

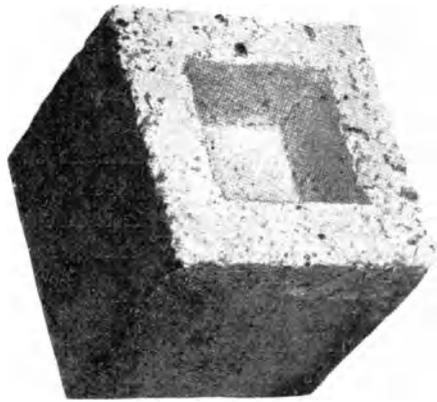


Fig. 69. Probekörper zum Prüfen des Angriffes von Schlacken auf feuerfeste Steine.

¹ Bericht über d. 32. ord. Hauptvers. d. Vereins deutsch. Fabr. feuerf. Prod. Berlin 1912, S. 84.

Man bedient sich künstlicher Schlacken, deren Zusammensetzung folgt:

SiO ₂	19,00	Proz.
Al ₂ O ₃	12,89	„
Fe ₂ O ₃	15,73	„
CaO	33,50	„
MgO	6,93	„
MnO	3,52	„
Na ₂ O	8,50	„

Der Versatz ist:

Kieselsäure (Quarzsand) .	72	gr
Aluminiumoxyd	58	„
Eisenoxyd	80	„
Kalziumkarbonat	204	„
Magnesiumoxyd	39	„
Mangandioxyd	24	„
Natriumkarbonat (Soda)	66	„

Der Schmelzpunkt dieses Gemisches beträgt 1270° C. Man erhitzt das Gemisch auf 1350° in einem Graphittiegel und läßt erkalten.

Man zerkleinert die Schlacke so weit, bis sie durch ein 200-Maschensieb geht. Man sieht, wie auf alles fein geachtet wird. Denn es ist selbstverständlich, daß die Feinheit für die Schmelzung und angreifende Wirkung sehr wesentlich ist, wenn, wie wir weiter sehen werden, die Erhitzung genau vorgeschrieben wird.

Man setzt die Versuchsstücke, noch ohne Schlacke in die Mitte eines kalten Ofens und erhitzt auf 1350°. Diese Temperatur darf nicht früher als in 5 Stunden erreicht werden. Ist man auf dieser Temperatur, gibt man 35 g des künstlichen Schlackengemisches in die Ringe auf dem Probestein. Während zwei Stunden soll die Temperatur auf 1350° gehalten werden. Es ist höchstens eine Veränderung um 10° gestattet. Oxydierende Atmosphäre ist erwünscht. Man läßt nach 2 Stunden im Ofen erkalten. Nach dem Abkühlen werden die Proben durchschnitten. Dabei wird genau vorgeschrieben, daß der Schnitt nicht mehr als 4,7 mm von der Ringmitte entfernt sein darf.

Deutlich erkennt man dann die angegriffene Fläche. Es ist mehr oder weniger tief eine Veränderung der Farbe durch den Schlackenangriff zu beobachten. Mit einem Planimeter wird die angegriffene Oberfläche ausgemessen und mit der nicht angegriffenen ins Verhältnis gebracht. Dieses Verhältnis ist das offizielle Maß.

Bei dieser Gelegenheit verweise ich noch auf das neuere von *C. J. Rose* vorgeschlagene Verfahren zur Untersuchung der Einwirkung geschmolzener Schlacken und Gläser auf feuerfeste Materialien. Die lesenswerte Arbeit ist im Journ. of the Americ. Cer. Soc. 1923, S. 1242—47, erschienen und im Sprechsaal 1924, Heft 13, ausführlich referiert worden.

Die Messung der zersetzenden Eigenschaften der Flugasche läßt sich nach einem Bericht des Institutes der Gasingenieure (Ker. Rundschau 1922, Nr. 52) unter der Praxis angenäherten Bedingungen nicht ermöglichen. Faustversuche, um das Verhalten verschiedener feuerfester Steine unter Einwirkung

der verschiedenen Flugstaubarten zu ermitteln, werden in Öfen mit einem Brennraum von 40 cm Höhe, 38 cm Breite und 23 cm Tiefe in nachstehender Weise ausgeführt:

Die Vorderseite des Ofens wird nach Aufnahme der Probesteine zugemauert und nur eine runde Öffnung zur Einstellung des Strahlungs-pyrometers belassen. Der Ofen arbeitet mit Gasheizung, welche so eingerichtet ist, daß mit dem Gas gleichzeitig Staub eingebracht wird. Der Gasbrenner mündet in die Ofenkammer ein. In der Mitte der Brennkammersohle befinden sich zwei Versuchssteine in bestimmter Entfernung von der Ofendecke. Die Erhitzung erfolgt zunächst äußerst langsam und völlig gleichmäßig bis zur Höchsttemperatur, auf der der Ofen eine halbe Stunde lang gehalten wird, worauf der Staub durch das Gaszuführungsrohr mit der Flamme senkrecht auf die unterhalb des Brenners liegenden Steine prallt. Nachdem eine bestimmte Staubmenge auf diese Weise verbraucht ist, wird der Ofen noch 30 Minuten lang auf der gleichen Temperatur gehalten; dann wird die Einwirkung auf die Steine geprüft.

9. Porosität, Dichte, Volum- und spezifisches Gewicht.

Die Porosität der feuerfesten Erzeugnisse kann bestimmt werden entweder 1. aus dem Porenraum, ausgedrückt in Prozenten des Gesamtvolumens, oder 2. aus dem Gewichtsunterschied zwischen einer mit Wasser durchtränkten Probe und derselben Probe nach dem Trocknen, ausgedrückt in Gewichtsprozent. Es sei P_s das Gewicht einer bis zur Gewichtskonstanz getrockneten Probe, P_m das Gewicht nach dem Durchtränken mit Wasser und P_e das Gewicht derselben Probe im Wasser, dann ist die Porosität nach der ersten Definition:

$$p_p = \frac{(P_m - P_s) 100}{P_s},$$

und nach der zweiten Definition:

$$p_c = \frac{P_m - P_s}{(P_s - P_e) + (P_m - P_s)} = \frac{P_m - P_s}{P_m - P_e},$$

wobei $P_s - P_e$ die porenfreie Masse und $P_m - P_s$ die Masse der Poren allein darstellt.

Aus den Werten P_s , P_m und P_e läßt sich auch leicht die wirkliche Dichte (δ wirk.) und die scheinbare Dichte (δ scheinb.) berechnen:

$$\delta \text{ wirk.} = \frac{P_s}{P_s - P_e}$$

und

$$\delta \text{ scheinb.} = \frac{P_s}{(P_s - P_e) + (P_m - P_s)} = \frac{P_s}{P_m - P_e}.$$

Es sind demnach hierzu drei Wägungen zu machen, nämlich die Gewichtsbestimmung 1. eines trockenen Probestückes, 2. desselben Stückes, nachdem

es zum vollständigen Austreiben der Luft mit Wasser ausgekocht und dann unter Unterdruck abgekühlt worden war und 3. desselben Probestückes nach dem Durchtränken mit destilliertem Wasser.

Bei der Bestimmung des Volumengewichtes hat man vor allem das Gewicht des zu untersuchenden Körpers in völlig trockenem Zustande festzustellen. Die Probekörper werden eine Stunde in Wasser gekocht und dann im Wasser erkalten lassen. Die Steine werden hierauf mit einem trockenen Tuch oberflächlich abgetrocknet und wieder gewogen. Zur eigentlichen Bestimmung des Volumens bringt man den mit Wasser gesättigten Körper in ein Volumenometer. Derartige Apparate sind von *Ludwig* (Fig. 70) und von *Seger* (Fig. 71) angegeben. Die Bestimmung erfolgt in der Weise, daß man aus dem bis zu einer Marke genau mit ausgekochtem Wasser gefüllten Gefäße so viel Wasser abläßt, daß man den Deckel bequem abheben und den Probekörper in den Meßraum einbringen kann. Ist der Probekörper eingebracht, so wird der Deckel wieder aufgesetzt und mit Wasser bis zur Marke aufgefüllt. Das Volumen des aus dem Meßraum verdrängten Wassers wird bestimmt und gibt zugleich das Volumen des eingebrachten Steines an. Aus dem Trockengewichte t , dem Gewicht des mit Wasser gesättigten Körpers n und dem Volumen v des Körpers



Fig. 70. Ludwig-Volumenometer.

und der Gewichtszunahme durch die Sättigung mit Wasser z lassen sich auf einfache Weise das Volumengewicht V , das wirkliche spez. Gewicht S und der Porenraum des Körpers bestimmen:

$$V = \frac{t}{\rho}, \quad S = \frac{t}{v - z}.$$

Der Porenraum beträgt $100 \frac{z}{v}$

Proz. vom Volumen des Körpers. Um nun die Veränderung, welche ein Körper beim Erhitzen erlitten hat, zu erfahren, werden



Fig. 71. Seger-Volumenometer.

die Werte für V und S nach jedesmaligem Erhitzen bestimmt. Findet man z. B. nach 3maligem Erhitzen auf Versuchstemperatur das Volumengewicht V_3 und das wirkliche spez. Gewicht S_3 , so ist bei eingetretenem Schwinden im Verhältnis zur ursprünglichen Größe die Volumminderung gleich $100 \times \left(1 - \frac{V}{V_3}\right)$ Proz. Die entsprechende lineare Schwindung $100 \times \left(1 - \sqrt[3]{\frac{v}{v_3}}\right)$ Proz. Die Volumverminderung des eigentlichen Steinkörpers (abgesehen vom Porenraum) beträgt dann $100 \times \left(1 - \frac{S}{S_3}\right)$ Proz. und die entsprechende

lineare Schwindung ist $100 \times \left(1 - \sqrt[3]{\frac{S}{S_3}} - 1\right)$ Proz. Tritt nicht Schwindung sondern Ausdehnung ein, so gelten die Formeln:

$$100 \left(\frac{V}{V_3} - 1\right) \text{ Proz., resp. } 100 \left(\sqrt[3]{\frac{v}{v_3}} - 1\right) \text{ Proz. und } 100 \left(\frac{S}{S_3} - 1\right) \text{ Proz., resp. } 100 \left(\sqrt[3]{\frac{S}{S_3}} - 1\right) \text{ Proz.}$$

Steinhoff und *Mell* haben eine vergleichende Untersuchung der in Laboratorien üblichen Verfahren der Porositätsbestimmungen durchgeführt (Ber. des Werkstoffausschusses des Ver. d. Eisenhüttenl. Nr. 44). Sie verglichen die folgenden Verfahren: 1. Ausmessen, 2. Quecksilberverdrängung, 3. Wasseraufnahmefähigkeit, 4. Vaseline- bzw. Paraffinaufsaugungen, 5. Schweben und 6. Apparat von *Schmolke*. Es ergab sich, daß nach Handhabe und Genauigkeit das Quecksilberver-

drängungsverfahren allen anderen Verfahren vorzuziehen ist. Es zeichnet sich dadurch aus, daß es a) einfach in der Versuchsausführung ist, b) keine Veränderung des Versuchskörpers während der Bestimmung hervorruft, c) einen etwa vorhandenen abgeschlossenen Raum mitbestimmt und d) die Möglichkeit der unvollständigen Luftentfernung ausschließt. Für die Bestimmung der Porosität nach dem Quecksilberver-

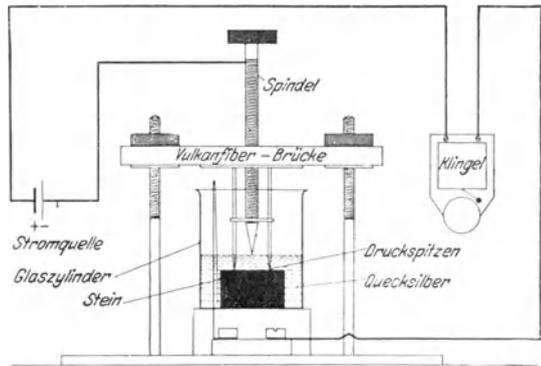


Fig. 72. Apparat zur Bestimmung des Volumens feuerfester Steine durch Quecksilberverdrängungsverfahren nach Dr. *E. Steinhoff* und Dr. *M. Bell*.

fahren wird die folgende Arbeitsweise vorgeschlagen. Das Volumen des Steinwürfels wird durch Ermittlung des entsprechenden Volumens verdrängten Quecksilbers bestimmt. Die kleine Apparatur, die für dieses Verfahren ausgearbeitet wurde, ist in Abb. 72 dargestellt. Ein feststehendes Glasgefäß, über das eine Brücke aus Vulkanfaser gelegt wird, dient als Quecksilberbehälter. An der Vulkanfaserbrücke befinden sich drei Stäbchen, die in das Glasgefäß hineinreichen und dazu dienen, den Würfel unterhalb des Quecksilberspiegels zu halten; außerdem führt eine mit Spitze versehene Spindel mit Gewinde durch die Vulkanfaserbrücke hindurch. Zu Beginn des Versuches wird die Spitze der Spindel zum Quecksilberspiegel so eingestellt, daß sich Spitze und Spiegelbild gerade berühren. Ein scharfes Beobachten ermöglicht diese Einstellung recht gut; schneller und bequemer kann sie erfolgen, wenn Quecksilbergefäß und Spindel in den Stromkreis einer elektrischen Klingel geschaltet sind, der unterbrochen wird, sobald die Spindel das Quecksilber nicht mehr berührt. Etwa zu befürchtende Störungen durch hierbei auftretende

Funkenbildung können fast völlig vermieden werden, wenn eine Stromquelle von geringer Spannung benutzt wird. Ist die Spindel eingestellt, so wird die Vulkanfaserbrücke abgenommen, ein Teil des Quecksilbers aus dem Gefäß ausgegossen und der Steinwürfel hineingebracht. Darauf wird die Brücke wieder aufgeschraubt und so viel Quecksilber zugegeben, bis der Kontakt gerade hergestellt ist. Die Temperatur des Quecksilbers im Glasgefäß wird bestimmt, das zurückgebliebene Quecksilber gewogen und sein Volumen bei der gemessenen Temperatur berechnet. Es entspricht dem Volumen des Steinwürfels. Es kann vorkommen, daß etwas Quecksilber in größere Poren des Steinwürfels eindringt. Durch Zurückwägen des Würfels kann aber die Menge und ihr Volumen ermittelt werden, so daß diese Fehlerquelle leicht zu vermeiden ist.

Aus dem Volumen und dem absoluten Gewicht des Versuchswürfels wird das Raumgewicht berechnet, außerdem wird das spezifische Gewicht am pulverförmigen Stoff pyknometrisch bestimmt. Der Porositätskoeffizient P , ausgedrückt in Prozent des Gesamtvolumens, ergibt sich dann zu

$$P = \frac{(S - d)}{S} \cdot 100,$$

worin d das Raumgewicht, S das spezifische Gewicht bedeutet.

Über ein Verfahren zur schnellen Ermittlung der Porosität berichten *Bertrand* und *Boulangier* in „*La Céramique*“ Bd. XXIII, Nr. 387, S. 77. Statt Wasser wird hier als Tauchflüssigkeit Tetrachlorkohlenstoff verwendet, wodurch man die Durchtränkung des Probekörpers in $\frac{1}{4}$ bis 2 Stunden erreicht und dadurch die Versuchsdauer, die beim Eintauchen in Wasser sonst 24 Stunden dauert, ganz bedeutend verkürzt. Allerdings müssen die Wägungen sehr rasch vorgenommen werden, weil Tetrachlorkohlenstoff sich sehr leicht verflüchtigt.

10. Gasdurchlässigkeit.

Die Bestimmung der Gasdurchlässigkeit bietet viele Schwierigkeiten wegen der Ungleichmäßigkeit der verschiedenen Teile desselben Steines, wegen des Vorhandenseins von Rissen, die oft unsichtbar den Stein in verschiedene Richtungen durchsetzen, u. a. m. Die Durchlässigkeit unterliegt sehr merklichen Schwankungen, wenn die anderen Eigenschaften, wie Dichte, Porosität usw. nur wenig wechseln. Es ist dies auf die Größenänderung der kapillaren Poren zurückzuführen, die wegen der Umwandlung des Tons, der Kieselsäure, der Magnesia usw., wodurch zugleich die Dichte vergrößert oder verkleinert wird, verhältnismäßig sehr groß sind. Eine zweite Schwierigkeit entsteht infolge verschiedener Struktur in den verschiedenen Richtungen; senkrecht zur Steinoberfläche ist die Gasdurchlässigkeit nicht die gleiche wie in der dazu parallelen Richtung. Aus diesen Gesichtspunkten heraus kann die übliche einfache Methode nicht angewandt werden, d. i. diejenige Luftmenge zu bestimmen, die in der Zeiteinheit durch die Dicke des Steines hindurchgeht, wenn auf dessen Oberfläche ein Rohr mit bestimmtem inneren Gasdruck aufgesetzt wird. Es muß deshalb eine andere Methode angewandt werden.

Zur Bestimmung der Gasdurchlässigkeit wurde von *S. Wologdine*¹ eine im nachstehenden beschriebene Apparatur und Arbeitsweise angegeben.

Aus dem zu untersuchenden Stein wird ein Zylinder von 4 cm Durchmesser und von gleicher Höhe wie der betreffende Stein herausgeschnitten. Die Mantelflächen des Zylinders werden mit Paraffin überzogen, so daß die Bodenflächen frei bleiben, und in einem Stück Glasrohr *a* (s. Fig. 73) sorgfältig mit Paraffin eingekittet. Das Glasrohr wird nun, wie aus der Figur ersichtlich, mit der gesamten Apparatur in Verbindung gebracht. Bei geöffnetem Hahn *b* senkt man das Gefäß *c*, bis sich der graduierte Zylinder *d* mit Luft gefüllt hat; man schließt dann *b* und hebt das Gefäß *c*, so daß dessen Wasseroberfläche

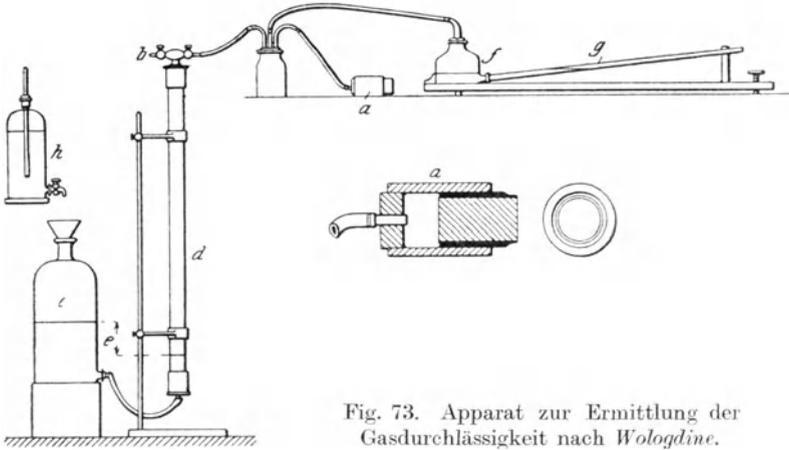


Fig. 73. Apparat zur Ermittlung der Gasdurchlässigkeit nach *Wologdine*.

um eine bestimmte Höhe *e* höher steht als in *d*. Diese Höhe *e* gibt dann den Gasdruck, dem das Probestück in *a* ausgesetzt ist und den auch das Manometer *fg* an zeigt. In dem Maße, wie der Spiegel in *c* sinkt, nimmt der Druck langsam ab; um ihn gleichmäßig zu erhalten, läßt man Wasser aus der Flasche *h* zufließen, bis wieder Gleichgewicht herrscht. Zeigt das Manometer gleichen Druck, so liest man zu verschiedenen Zeiten die Höhe des Wasserspiegels im Zylinder *d* ab. Für jeden Stein sind mehrere Bestimmungen auszuführen, wobei man jedesmal das Probestück in *a* umkehrt, so daß die Richtung wechselt, in der die Luft durchgeht. Die Gasdurchlässigkeit *v* findet ihren Ausdruck in ccm Luftmenge, die unter dem Druck von 1 cm Wassersäule in einer Sekunde durch einen Zylinder von 1 qcm Querschnitt und 1 cm Höhe durchstreicht. Die Gasdurchlässigkeit kann für die Verhältnisse der Praxis ausgedrückt werden durch die Anzahl Liter, die in einer Stunde durch eine Fläche von 1 qm Größe bei 1 m Steinstärke hindurchgeht. Ist p_0 der Druck am Manometer *g* und *q* die Luftmenge in Litern, die in *t* Min. unter dem Druck von $p - p_0$ durch einen Zylinder von *S* qm Querschnitt und 1 cm Höhe hindurch geht, so ist die Durchlässigkeit:
$$V = \frac{1000 \text{ l } q}{t (p - p_0) S \cdot 60} = \frac{16 \cdot 667 \text{ q l}}{t (p - p_0)} .$$

¹ St. u. E. 1909, S. 1225 u. 1226.

Aus den Untersuchungen von *Wologdine* ist zu entnehmen, daß die Gasdurchlässigkeit großen Schwankungen unterworfen ist; im allgemeinen ergaben dieselben, daß, je höher die Dichte der Steine, um so kleiner die Gasdurchlässigkeit der Steine ist.

Ein einfacher Apparat zur Bestimmung der Gasdurchlässigkeit nach *Ludwig* wurde von der Deutschen Steinzeugwarenfabrik in Friedrichsfeld angegeben¹. Die zu untersuchende Probe (Abb. 74) wird bei diesem bis auf zwei gegenüberliegende Flächen von ca. 5 cm Durchmesser allseitig mit Lack gasdicht

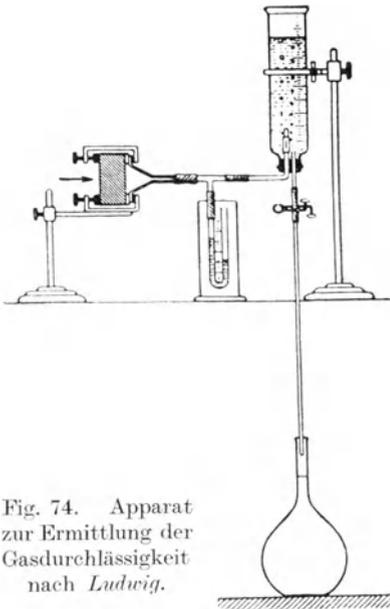


Fig. 74. Apparat zur Ermittlung der Gasdurchlässigkeit nach *Ludwig*.

überzogen, worauf an der einen Seite ein Flanschrichter aufgekittet wird. Dieser Trichter steht in Verbindung sowohl mit einem kleinen Manometerrohr als auch durch ein mit einem Bunsenventil versehenes Rohr mit einem umgekehrt angebrachten graduierten Glaszylinder, der mit Wasser gefüllt ist. Ein mit Quetschhahn versehenes Fallrohr dient zum Abfluß des Wassers aus dem Zylinder. Man kann auf diese Weise auf der einen Seite der Versuchsplatte einen geringen Unterdruck herstellen und die Menge der bei diesem Unterdruck durchgesaugten Luft messen. Zeigt nach Öffnen und Regulierung des Quetschhahns das allmählich steigende Manometer beim gewünschten Punkte Konstanz, so mißt man mit der Stoppuhr die Zeit, die die gleichmäßig sinkende Wasseroberfläche vom Passieren eines beliebigen Teilstriches bis zu einem entsprechend tiefer gelegenen braucht.

Ausführlicher hierüber siehe in *Lunge-Berl*, Chemisch-technische Untersuchungsmethoden, 7. Aufl., bzw. bei *Singer*, Die Keramik im Dienste der Industrie und Volkswirtschaft, Verl. Vieweg u. Sohn in Braunschweig 1923, S. 469.

11. Mikroskopische Prüfung.

Für dieselbe werden von Spezialfirmen Dünnschliffe aus dem zu prüfenden Material hergestellt. Die Dünnschliffe werden dann im Polarisationsmikroskop unter den Gesichtspunkten beobachtet, wie es z. B. für Quarz- oder für Silikasteine auf S. 15 bis 17 erwähnt ist, Die mikroskopische Untersuchung erfordert ein Spezialstudium. Aus buchtechnischen Gründen ist es mir leider unmöglich, hier eine ausführliche Anleitung zur Prüfung feuerfester Erzeugnisse unter dem Mikroskop zu bringen. Ich werde jedoch, damit das Erscheinen des vorliegenden Werkes nicht weiter aufgehalten wird, eine solche, mit Illustrationen versehene Anleitung baldigst in der von mir herausgegebenen Zeitschrift „Feuerfest“ erscheinen lassen.

¹ *Rieke*. Gas- und Wasserfach 1923, Hefte 3—5.

Nachtrag.

1. Behandlung des feuerfesten Materials.

Für die Haltbarkeit des feuerfesten Materials ist, abgesehen von der richtigen Wahl der Baustoffe, auch ihre Behandlung von Wichtigkeit. Es ist stets damit zu rechnen, daß die feuerfesten Materialien oft geraume Zeit bevor sie vermauert werden, auf der Baustelle angeliefert und deshalb gelagert werden müssen. Bei dieser Lagerung sind die Steine vor Regen, Schnee und Bodenfeuchtigkeit zu schützen; am besten verwendet man hierfür geschützte Räume. Auch ist zu beachten, daß feuerfeste Steine beim Lagern durch Ansaugung von Feuchtigkeit um so mehr leiden, je poröser sie in ihrer Masse sind. Durch das begierige Aufsaugen von Wasser werden die Steine locker, verwittern und zeigen mitunter Effloreszenzen. Mit der Bodenfeuchtigkeit können lösliche Salze aufgenommen werden, z. B. wenn der Lagerplatz mit Hilfe von Asche und Schlacke eingeebnet ist, und das Auskrystallisieren dieser Salze bei Wechsel von Nässe und Trockenheit bewirkt Beschädigungen der Außenflächen der Steine. Feuchte feuerfeste Steine können bei Einwirkung von Frost schon nach einmaligem Gefrieren zerstört werden. Auch siedeln sich bei längerer Lagerzeit leicht Moos und Flechten in den porösen feuerfesten Steinen an, die in dem mürbe gewordenem Stein beim Vermauern Abbröckelungen hervorrufen. Es muß deshalb die Feuchtigkeit beim Gebrauche auch wenn es mit Kosten verknüpft ist, ausgetrieben werden; das Trocknen und Anfeuern muß vorsichtig geschehen, damit keine Zersprengungen eintreten. Durch Feuchtigkeitseinwirkung wird auch die mechanische Festigkeit der Steine vermindert. Ganz besondere Sorgfalt verlangen in dieser Beziehung die Dinassteine. Sind sie feucht geworden, so empfiehlt es sich, dieselben vor der Verwendung langsam zu erhitzen und noch warm zu vermauern.

Ebenso notwendig ist es, ein in der Ausführung begriffenes größeres Bauwerk aus feuerfesten Baustoffen durch ein leichtes Dach gegen Witterungseinflüsse zu schützen. Der Schaden, den im anderen Falle ein plötzlich eintretender Regenguß durch Auswaschen des frischen Mörtels aus den Fugen verursacht, ist nachher kaum wieder gutzumachen.

Howe, Phelps und *Ferguson* (Journ. Amer. Ceram. Soc., Februar 1922, S. 107 bis 111) stellten Versuche über die Einwirkung der Witterung auf die Festigkeit feuerfester Steine an. Die Versuche erstreckten sich auf: Schamottesteine, Silicasteine und Magnesiasteine. Die Stapel der im Freien gelagerten Prüfsteine wurden nur auf der Oberseite durch eine höher liegende

Deckplatte geschützt. Vor und nach dieser Lagerung bestimmte man in der Kälte die Druckfestigkeit, bei den Schamottesteinen auch die Splitterfestigkeit. Letztgenannte Prüfung geschah durch Erhitzen in der Tür eines auf 1350° geheizten Ofens, dann 3 Minuten langes teilweises Tauchen in einen von kaltem Wasser durchflossenen Trog, Trocknen an der Luft und Wiederholung dieses Verfahrens jede Stunde, bis 25 mal. Die zur Vergleichung herangezogenen maschinengepreßten hochfeuerfesten Schamottesteine von sehr scharfem Brand besaßen sowohl frisch, als nach sechsmonatiger Bewetterung 350 kg/qcm Druckfestigkeit; dagegen gingen handgefertigte porige in 6 Monaten von 35 kg/qcm fast auf Null herunter. Unter den oben genannten Prüfsteinen nahmen im Durchschnitt die besten Schamottesteine in 6 Monaten 1 Proz., in 1 Jahr 10,8 Proz. an Druckfestigkeit ab; die Schamottesteine zweiter Qualität zeigten nach 6 Monaten 21,6 Proz., nach 1 Jahr 27,6 Proz. Abnahme. Die Silikasteine verloren an Druckfestigkeit in 6 Monaten 8,1 Proz., in 1 Jahr 39,2 Proz. Die Magnesiasteine aber nahmen an Druckfestigkeit in 6 Monaten 15 Proz., in 1 Jahr 33 Proz. ab. Noch mehr haben sicherlich in allen Fällen die Festigkeiten gegen Abreibung und gegen Absplitterung abgenommen.

Zur Beförderung auf der Eisenbahn oder im Schiff können Steine von gewöhnlichen, regelmäßigen Formen ohne besondere Verpackung verladen werden. Formsteine oder Erzeugnisse von empfindlichen Formen, wie Tiegel, Röhren, Muffeln, Retorten usw., müssen sorgfältig und fest in Stroh verpackt und, wenn nötig, durch Lattenverschläge oder Kisten vor Beschädigungen auf dem Wege geschützt werden. Schamottesteine können auf weitere Entfernungen auch in offenen Wagen versandt werden, andere feuerfeste Steine und den Mörtel verschiebt man in gedeckten Wagen oder bedeckt sie wenigstens mit Waggondecken.

Der Empfänger hat für sachgemäßes Ausladen der feuerfesten Materialien zu sorgen. Geschieht dies mit wenig Sorgfalt und wird mit dem Trennen der einzelnen Steinsorten und -nummern es nicht so genau genommen, so können verschiedene Steine von ähnlicher Form leicht durcheinander gebracht werden. Hat aber der Maurer eine bestimmte Steinsorte nicht gleich bei der Hand, so besinnt er sich nicht lange, dafür eine andere, ähnlich geformte, zu nehmen und diese schnell etwas zurechtzuhauen; schließlich fehlen von einer Sorte viele Steine, während von einer anderen ein unerwarteter Überfluß zurückbleibt. Auch kommt es vor, daß eine Steinsorte unter einem großen Haufen einer anderen verstampelt wird; sie ist lange Zeit nirgends zu finden und kommt erst zum Vorschein, nachdem man sich auf andere Weise dafür Ersatz geschaßt hat.

Es ist allgemein üblich, jeder Sendung eine gewisse Menge von sog. Plussteinen beizufügen, meistens bis zu 5 Proz.; trotzdem kann durch schlechte Verpackung, unvorsichtiges Rangieren der Eisenbahnwagen oder beim Ausladen ein größerer Teil der Steine derart beschädigt werden, daß sie nachher nicht mehr vermauert werden können. Darum muß man für ein rechtzeitiges Nachbestellen der fehlenden Steine besorgt sein, weil die Anfertigung

derselben (Materialmischung, Formen, Trocknen, Brennen, evtl. Fehlbrand usw.) geraume Zeit in Anspruch nehmen.

Feuerfestes¹ Mauerwerk muß in jeder Beziehung sorgfältiger als gewöhnliches ausgeführt werden, die erforderliche größere Mühe bei Beaufsichtigung des Baues darf man nicht scheuen. Besonders vor drei Fehlern hat man sich bei der Ausführung zu hüten: Vor großen Fugen, vor starkem Behauen der Steine und vor Verwendung zu großer Formsteine.

Da die Beschädigung des Mauerwerks sehr leicht bei den Fugen ihren Anfang nimmt, ist es wesentlich, dieselben so eng als nur irgend möglich herzustellen. Hierzu ist es unter Umständen erforderlich, die Steine durch Reiben aufeinander abzuschleifen. Der Mörtel wird so dünn verwendet, daß er nicht mit der Kelle, sondern mit dem Löffel aufgetragen wird, und der verlegte Stein wird unter Anwendung einer Holzunterlage so lange mit dem Hammer geschlagen, bis man am Klange die Berührung mit der Unterlage wahrnimmt. Etwas weitere Fugen sind nur bei Dinassteinen am Platze wegen der später eintretenden Ausdehnung.

Starkes Behauen der Steine führt zu weiten und unregelmäßigen Fugen und zu unebenem und wenig festem Mauerwerk. Deswegen ist es vorteilhaft, bei runden Bauten nur Radialsteine, bei schwierigen Konstruktionen besondere Formsteine und namentlich bei Gewölben stets Keilsteine zu verwenden. Man sieht häufig, wie Gewölbe aus rechtwinkligen Steinen hergestellt werden, die unten hart aneinanderstoßen, während die mit Mörtel gefüllte Fuge sich nach oben stark erweitert. Wenn nun im Gebrauch die Steine sich ausdehnen, so hebt sich das Gewölbe, die Fugen treten oben auseinander und die untere Kante der Steine hat die ganze Last zu tragen. Der gleiche Fall tritt ein, wenn der Mörtel nachschwindet. Man verwende deshalb zu Gewölben stets Keilsteine. Man kann solche, die für kleine Radien bestimmt sind, sehr gut auch für größere verwenden, indem man rechteckige Steine in durchlaufenden Längenschichten zwischen die Keilsteinschichten einschaltet. Auch kann man Keilsteine, die auf großen und auf kleinen Radien berechnet sind, kombinieren, um einen mittleren Radius zu erzielen. Um ohne Hauen von halben Steinen richtigen Verband herauszubekommen, empfiehlt es sich, eine Schicht um die andere mit Steinen von anderthalbfacher Länge anzufangen, wie sie die meisten Fabriken vorrätig führen. So ist es möglich, alle Gewölbe ganz ohne Behauen herzustellen.

Bei Anwendung von Formsteinen könnte es auf den ersten Blick vorteilhaft erscheinen, die Steine möglichst groß zu nehmen, um möglichst wenig Fugen zu bekommen, und es wird in der Tat vielfach so verfahren. Jedoch überwiegen die Nachteile der großen Formsteine bedeutend. Der Vorteil der geringen Zahl von Fugen wird dadurch illusorisch, daß bei großen Formstücken die Fugen entsprechend größer werden, weil es nicht möglich ist, deren Flächen genau eben herzustellen. Eine große Fuge tut aber viel mehr Schaden als zahlreiche kleine, weil die letzteren durch Eindringen von Schlacke u. dgl. sich von selbst schließen, während eine große

¹ Aus der Werbeschrift der Wittenberger Schamottewerke.

Fuge immer einen gefährlichen Angriffspunkt für alle zerstörenden Einflüsse bildet.

Dazu kommt, daß ein aus kleinen Steinen hergestelltes Mauerwerk eine größere Elastizität besitzt und den durch die wechselnde Temperatur bedingten Volumenveränderungen und Spanndifferenzen leichter widerstehen kann, ohne Risse zu bekommen, als ein aus sehr großen Formsteinen hergestelltes Bauwerk. Treten aber wirkliche Risse auf, was nicht völlig zu vermeiden ist, so verteilen sich diese bei Anwendung kleiner Steine auf die zahlreichen Fugen und werden dadurch so klein, daß sie unschädlich sind und nur einen Ausgleich der durch die Temperaturveränderungen hervorgerufenen Spannungen bewirken. Erhält aber ein Mauerwerk aus großen Steinen Risse, so können diese, wenn sie an ungünstigen Stellen, namentlich quer durch einen großen Stein hindurch, auftreten, leicht den Bestand des ganzen Mauerwerks gefährden. Der Hauptnachteil der großen Steine besteht aber darin, daß sie sich nie in so tadelloser Güte herstellen lassen, wie kleine Steine. Je kleiner die Steine sind, umso schneller und inniger dringt die Hitze beim Brennen derselben in das Innere ein, so daß diese Steine inniger durchbrannt sind, als Steine mit großen Abmessungen.

2. Einige andere feuerfeste Stoffe als Quarz und Schamotte.

Die aus Kohlenstoff hergestellten feuerfesten Steine und Gefäße (z. B. Schmelztiegel) zeichnen sich durch Widerstandsfähigkeit gegen hohe Temperaturen, schroffen Temperaturwechsel und chemische Angriffe der Schlacken und des Flugstaubs aus. Ein besonderer Vorzug dieser feuerfesten Erzeugnisse besteht in ihrer praktischen Unschmelzbarkeit. Von den verschiedenen Kohlenstoffarten verwendet man hierfür Steinkohle, Koks, Holzkohle, Teer (als Bindemittel) und Graphit (besonders der schuppige oder blätterige). Aus dem Graphit werden in der Hauptsache Schmelztiegel hergestellt, die in der Metallurgie verwendet werden. Der Kohlenstoff schützt die Metallschmelze vor Oxydation und verhütet dadurch Metallverluste; diese Wirkung des Kohlenstoffs wird sowohl in ganz aus Kohlenstoff hergestellten Tiegeln, als auch in Tiegeln, in welchen der Kohlenstoff als Zusatz verwandt ist, ausgeübt. Da das Metall wohl als Oxyd, aber nicht als solches mit den Tonbestandteilen Verbindungen einzugehen imstande ist, so widersteht die Tiegelmasse der Schmelze, solange die Kohle noch in einiger Menge im Scherben vorhanden ist, vorausgesetzt, daß die Tiegelwand den mechanischen Druck der Schmelze auszuhalten vermag und nicht sonst irgendwie schadhafte geworden ist. Außerdem erhöht der Kohlenstoff die Feuerfestigkeit der Masse und bewirkt (besonders in Form von Graphit) wegen seiner großen Wärmeleitung ein schnelleres Schmelzen des betreffenden Metalls. Von den Fehlern bei kohlenstoffhaltigen Tiegeln, die im Betriebe auftreten, seien erwähnt: Abfallen des Tiegelbodens (Fabrikationsfehler), Risse (infolge nicht genügend beseitigter Luftblasen), Abblättern (zu schnelle oder nicht genügend hohe Vorwärmung vor dem Einbringen im Ofen). Graphit wird übrigens auch zur

Herstellung der Graphitsteine empfohlen, die bei stark beanspruchten Kupolöfen zur Auskleidung des Stichloches dienen.

Die Kohlenstoffsteine finden Verwendung fast ausschließlich im Hochofen. Über ihre Brauchbarkeit gehen die Ansichten der Fachleute auseinander. Man glaubt in den Kohlenstoffsteinen ein Mittel gefunden zu haben, das die Bildung von sog. Hochofensäuren verhindert und ein Gegenmittel gegen die Entstehung der befürchteten Hochofendurchbrüche darstellt. Die Kohlenstoffsteine werden hauptsächlich als Bodensteine (in der letzten Zeit in Keilform, weil sie dann dem Auftrieb des Metallbades besser Widerstand leisten), zuweilen auch als Rast- und Gestellsteine des Hochofens verwendet, und zwar in der Hauptsache im niederrheinischen Industriebezirk. Die guten Erfahrungen mit den Kohlenstoffsteinen beruhen außer ihrer Raumbeständigkeit in der Hauptsache darauf, daß es gelungen ist, dieselben auch in großen Abmessungen (bis zu $\frac{1}{2}$ cbm Inhalt) herzustellen, wodurch die Fugenbildung verringert wird. Bei der Verwendung der Kohlenstoffsteine als Bodensteine ist zu beachten, daß sie zuerst mit einer dicken Schicht von feuerfestem Mörtel oder mit dünnen Schamotteplatten oder Schlackensteinen bedeckt und so vor der Berührung mit Luft oder Wind geschützt werden. Während des Betriebes wird dann zuerst die schützende Schicht abgefressen, nachher bewahrt das Metallbad die Kohlenstoffsteine vor der Verbrennung durch evtl. Luftzutritt.

Die Ansicht, daß die Kohlenstoffsteine in kurzer Zeit dadurch zerstört werden, daß Roheisen Kohlenstoff aufnimmt, soll (*Wernicke*, Die Herstellung feuerfester Baustoffe. Verl. Springer, Berlin 1921, S. 181) irrig sein. Der Unterbau eines Hochofens aus Kohlenstoffsteinen wiegt ungefähr 140 t. Wenn der Ofen täglich 200 t Roheisen erbläst und dieses nur 0,1 Proz. Kohlenstoff aus den Steinen aufnimmt, dann würde diese Menge in einem Jahr das Gewicht von 73 t haben, die Kohlenstoffsteine müßten dann in 2 Jahren spurlos verschwunden sein. In Wirklichkeit weisen sie eine bedeutend längere Lebensdauer, zum Teil auch aus dem Grunde, weil sie infolge schwammiger Struktur das Kühlwasser besser aufnehmen.

Auch bei Schmelzöfen zur Gewinnung von Blei, Kupfer und Aluminium finden Kohlenstoffsteine zuweilen Verwendung.

Ein guter Kohlenstoffstein muß sehr hart sein, eine Druckfestigkeit von mindestens 120 kg/qcm besitzen, die bis 325 kg/qcm betragen kann, im Bruch ein gleichmäßig dichtes, feinkörniges Gefüge zeigen, ein Raumgewicht von 1,2 bis 1,4 haben und beim Anschlagen mit dem Hammer einen hellen Klang geben. Der Aschengehalt soll 12 Proz. nicht übersteigen.

Chromitsteine werden aus Chromeisenstein hergestellt. Chromeisenstein ist ein Erz, das in seinem für feuerfeste Zwecke wertvollem Bestandteil aus Chromoxyd besteht; das Erz ist aber meistens durch Tonerde, Magnesia usw. verunreinigt. Die Feuerfestigkeit der Chromitsteine steigt mit ihrem Gehalt an Chromoxyd, der bis zu 64 Proz. betragen kann, und wird durch die Verunreinigungen herabgedrückt. Die Chromitsteine bestehen aus dem zerkleinerten Erz und einem Bindemittel (Ton, Kalk, kaustische Magnesia, Teer, Melasse usw.).

Chromitsteine wurden in den Siemens-Martinöfen als Trennungsmittel zwischen dem basischen und sauren Ofenfutter, den Magnesiasteinen und den Dinassteinen verwendet, was allerdings ohne weiteres entbehrlich erscheint, indem man Chromitsteine durch Sintermagnesia ersetzt. Infolge der außerordentlich hohen Kosten und der Schwierigkeit der Herstellung von Chromitsteinen haben letztere keine besondere Verbreitung gefunden; ihre Verwendung läßt immer mehr und mehr nach.

Bauxitsteine werden aus einem in der Natur vorkommenden Mineral Bauxit hergestellt, der in seiner reinsten Form nichts Anderes ist als wasserhaltiges Aluminiumoxyd mit einem Gehalt von etwa 65 Proz. Tonerde und etwa 35 Proz. Wasser sowie mit mehr oder weniger Eisenoxydgehalt. Infolge seines hohen Tonerdegehaltes wird Bauxit zur Herstellung hochtonerdehaltiger und hochfeuerfester Erzeugnisse verwendet. Ein bedeutender Nachteil der Bauxitsteine besteht in der großen Schwindung derselben, die auch durch wiederholtes Brennen kaum restlos erreicht werden kann. Infolgedessen weisen die Bauxiterzeugnisse stets eine große Neigung zum Reißen und Nachschwinden auf. Aus diesem Grunde wird Bauxit seltener allein, dagegen häufiger als Zusatz zu feuerfestem Ton verwendet. Da seine hauptsächlichste Schwindung erst bei 1400° C eintritt, so sind diejenigen Bauxitsteine besser, die mindestens bei dieser Temperatur gebrannt werden. Ein weiterer Nachteil der Bauxitsteine besteht darin, daß sie in der Hitze Neigung zur Erweichung haben und daher keine starke Belastung vertragen. Beimengungen von Eisenoxyd bzw. Kieselsäure wirken auf die Schwerschmelzbarkeit der Bauxitsteine nachteilig. Nach dem Tonerdegehalt der Bauxitsteine kann ihre Qualität nicht beurteilt werden. Von stark basischen Schlacken sollen Bauxitsteine nur wenig angegriffen worden sein. Ihr Schmelzpunkt liegt etwa bei Segerkegel 37. Nach einer amerikanischen Quelle sollen die Bauxitsteine sich gegen Stichflammen und flüssige Schlacken besser gehalten haben als Magnesitsteine. Die Bauxitsteine finden Verwendung in metallurgischen Öfen, in denen sie nicht mit schmelzenden, kieselsäurehaltigen Massen, sondern nur mit schmelzenden Metallen, deren Oxyden oder mit basischen Schmelzen in Berührung kommen, z. B. in Bleiraffinerien. Auch in der Zementindustrie soll sich Bauxit gut bewährt haben. Im Herd der Elektrostahlöfen verwendet man zuweilen Bauxit als Unterlage unter die Magnesitsteine.

Magnesitsteine werden aus Magnesit, das ist Magnesiumcarbonat, und zwar aus vorgebranntem Magnesit hergestellt. Ein guter Magnesitstein besitzt dunkelbraune Farbe, dichtes Gefüge, hohe Festigkeit und Härte und einen hellen Klang. Schmutzig-hellfleckige Steine entstehen durch nicht genügenden Brand oder durch erlittene Reduktion und können aus diesem Grunde nicht verwandt werden. Die Magnesitsteine müssen möglichst ohne Fugen vermauert werden. Sie werden in eine dünnflüssig-heiße Masse, bestehend aus einer Mischung von Magnesitmehl und wasserfreiem Teer, eingetaucht und zum Verlegen fest aneinandergedrückt. Beim Vermauern im Anschluß an tonerdehaltige, feuerfeste Baustoffe müssen die Magnesitsteine durch eine Isolier-

schicht von Quarzkalksteinen und Chromitsteinen geschützt werden. Böden¹ für Thomasstahlwerke und die Herde der Siemens-Martinöfen werden durch Einstampfen von einer Mischung von gemahlenem Magnesit und wasserfreiem Teer hergestellt und vor der Benutzung festgebrannt. Die Magnesitsteine stellen einen der feuerbeständigsten basischen Ofenbaustoffe dar. Bei langsamem Anwärmen springen sie nicht, und sie erleiden — selbst in den höchsten Wärmegraden — keine Veränderung. Sie finden Verwendung zum Bau der Martinöfen und Elektrostahlöfen, der Rohreisenmischer, zur Herstellung der Düsen und Konverter im Thomasstahlwerksbetriebe, in den Feuerungen der Schweiß- und Glühöfen der Walzwerke, in den Schmelz- und Raffinerieöfen der Silber-, Kupfer- und Bleihütten und in der Brennzone der Dolomit- und Zementöfen.

Statt des Magnesits bedient man sich auch des billigeren und reichlicher in der Natur vorkommenden, aber unreineren und daher pyrometrisch tieferstehenden Dolomits. Es besteht aus kohlen-saurem Kalk und kohlen-saurer Magnesia nach der Formel CaCO_3 , MgCO_3 . Die Fabriken feuerfester Steine befassen sich kaum noch mit der Herstellung von Dolomitsteinen. Dagegen werden Dolomitmassen von den Verbrauchern, den Thomasstahlwerken selbst, hergestellt, die die Masse als Stampfmasse oder zu Steinen gepreßt zu feuerfester Ausfütterung der Konverter verwenden.

Das Carborundum ist die chemische Verbindung von Silicium mit Kohlenstoff nach der Formel SiC . Es zeichnet sich besonders durch die hohe Wärmeleitfähigkeit aus, welche 5 mal größer als die der feuerfesten Tone ist und der des Graphits nahekommt. Diese Eigenschaft ermöglicht es, daraus sehr dünnwandige Gegenstände herzustellen, ohne deren Formveränderungen im Feuer befürchten zu müssen, wodurch eine gute und schnelle Wärmeübertragung erfolgt. Ferner wird den Carborundumherzeugnissen u. a. besondere Widerstandsfähigkeit gegen die Einwirkung hoher Temperaturen, gegen Temperaturwechsel und gegen Säuren nachgerühmt², was jedoch von Geipert³ in Zweifel gezogen wird. Mit der Asche des Brennstoffes bildet sich auf der Carborundumofenfläche eine Glasur, welche für oxydierende Gase undurchdringlich ist und somit auf den Carborundumstein gewissermaßen schützend wirkt. Der ausgedehnten Verwendung des Carborundums in der feuerfesten Industrie steht sein sehr hoher Preis hindernd im Wege. Es dient als Heizkörper in elektrischen Öfen, sowie zur Herstellung von Muffeln, Ofensteinen usw. Siloxikon ist ein Gemisch von Siliciumkohlenstoffverbindungen mit Graphit, Tonerde usw.

Geschmolzener Quarz zeichnet sich durch einen außerordentlich kleinen Ausdehnungskoeffizienten und völlige Unempfindlichkeit gegen schroffen Temperaturwechsel aus. Ferner ist das Quarzglas widerstandsfähig gegen Angriff von Säuren, dagegen sehr empfindlich gegen basische Angriffe. Es findet Verwendung nur für kleinere Geräte in Laboratorien.

¹ Wernicke, Die Fabrikation feuerfester Baustoffe. Verl. Jul. Springer, Berlin 1921. S. 187.

² Tone, Met. Chem. Eng. 1913, Nr. 9, S. 484.

³ Feuerungstechnik 1914/15, S. 57.

Tabelle 42.
Physikalische Eigenschaften einiger feuerfester Materialien¹.

	Spez. Gewicht s	Raum- gewicht P	Poren- raum in Proz.	Druck- festigkeit kg/cm ²	Kegel- Schmelz- punkt SK	Erweiterungs- temperatur unter Belastung °C	Linearer Ausdehnungs- koeffizient	Spez. Wärme zw. 17 und 100 bzw. 200°	Wärme- leitfähigkeit (K Cal. m ⁻¹ · Std. -1 · Grad -1)
Magnesitziegel	3,44 bis 3,60	2,35	24 bis 30	etwa 535	> 42	etwa 1400	—	0,253	0,396
Kohlenstoffsteine . . .	etwa 3,0	1,2 bis 1,4	etwa 40	325	> 42	—	—	0,312	—
Carborundumsteine . .	3,1 bis 3,2	—	etwa 30	—	> 42	> 1700	4,7 · 10 ⁻⁶	—	8,64 ²
Chromitsteine	etwa 4,0	—	etwa 10	—	—	etwa 1300	—	—	—
Tonerde (Al ₂ O ₃)	3,95 bis 4,0	1,84	—	—	2050° C	—	—	0,1976	0,5832
Marquardt'sche Masse	—	—	—	—	1820° C	—	—	0,229	—
Zum Vergleich:									
Norm. Schamottesteine	2,5 bis 2,7	1,9	15 bis 35	70 bis 300	32 bis 35	1300	1,6 bis 5,7 · 10 ⁻⁶	0,190	0,432
Silikasteine	2,32 bis 2,5	—	18 bis 43	100	> 33 bis 35	> 1600 bis 1700	—	0,219	0,684 ³

¹ Unter Benutzung von *Singer*, Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft. Braunschweig 1925, Verl. Vieweg & Sohn.

² Zwischen 0 und 1000° C.

³ Bei 200° C.

Corund (natürlicher und künstlicher) ist reine Tonerde (Al₂O₃). Erzeugnisse aus Corundmasse zeichnen sich durch Widerstandsfähigkeit gegen Säuren, durch Raumbeständigkeit, durch Unempfindlichkeit gegen scharfen Temperaturwechsel und hohe Feuerfestigkeit (Seegerkegel 39) aus. Erzeugnisse aus Corund mit Ton als Bindemittel sind als „Dynamidone“ bekannt. Die Dynamidone (Patent *Böhringer und Söhne*) haben etwa die gleichen Eigenschaften, wie Corund. Ihre Druckfestigkeit soll 750 kg/qcm erreichen. Sie haben sich in den Drehrohröfen der Zementindustrie gut bewährt; ihrer ausgedehnten Verwendung steht der sehr hohe Preis im Wege.

Zirkonoxyd, welches aus brasilianischen Zirkonerzen gewonnen wird, zeichnet sich durch einen hohen, über 2000° C liegenden Schmelzpunkt aus. Es wird weder von Säuren noch von Basen noch von schmelzenden Alkalien angegriffen. Sein Ausdehnungskoeffizient ist minimal. Die aus Zirkonoxyd hergestellten Erzeugnisse können in glühendem Zustand in Wasser eingesetzt werden, ohne dabei zu zerspringen. Der einzige Nachteil des Zirkonoxydes besteht darin, daß es schwierig ist, aus demselben dichte Erzeugnisse herzustellen. Eine ausgedehnte Verwendung des Zirkonoxyds scheidet an seinem verhältnismäßig außerordentlich hohen Preise.

Kalk, Magnesia, Magnesiumsilikat, Tonerde werden

hauptsächlich zur Herstellung von Tiegeln für die chemische und metallurgische Industrie verwendet. Tiegel aus Magnesia werden wegen dem außergewöhnlich hohen Schmelzpunkt zum Schmelzen von Platin verwendet. Eine Mischung von Magnesia mit Corund wird für Schmelztiegel beim alumino-thermischen Verfahren von *Goldschmidt* angewendet. Den Tiegeln aus Magnesia, Tonerde usw. haftet der Nachteil an, daß sie trotz der hohen Temperatur nicht dichtbrennen. Der Vorteil dieser Stoffe, im Gegensatz zu Schamotte-, Quarz- und Kohlenstofftiegeln besteht dagegen darin, daß die Metallschmelzen dabei keine Gelegenheit haben, Silicium oder Kohlenstoff aufzunehmen. Tiegel aus Magnesiumsilikat (Speckstein) sind viel weniger feuerfest (Seegerkegel 26) und finden Verwendung zum Schmelzen von Alkalien. Zu den Nachteilen der Specksteiniegel gehört ihre Sprödigkeit.

Die wichtigsten bekannten Eigenschaften einiger in diesem Kapitel besprochener feuerfester Erzeugnisse sind in der Tab. 42 zusammengestellt¹.

3. Ungebranntes feuerfestes Material.

Bereits lange vor dem Kriege hat man sich mit der Herstellung ungebrannter feuerfester Steine, besonders ungebrannter Quarzsteine beschäftigt. Im Jahre 1901 wurde ein solches Verfahren, das zu einer praktischen Bedeutung nicht gelangte, dem Ingenieur *Boivie* patentiert. Im Jahre 1903 wurde ein ähnliches Patent an *Horak* erteilt, im Jahre 1911 wurde der sog. „Dura“-Stein patentiert. Es mögen ferner erwähnt werden: Verfahren von *Gürtler*, *Deva*-Steine der *Deutschen Evaporator-Gesellschaft*, das Patent der *Petuelschen Terrain-Gesellschaft* in München-Riesefeld, der *Dina*-Stein der *Dörentrupper Sand- und Tonwerke* usw. Bei den meisten dieser Verfahren versucht man das Brennen der Steine durch Härten, wie bei der Kalksandsteinherstellung, zu ersetzen. *Schneider*² hat in dieser Richtung verschiedene Versuche angestellt und kommt zu einem negativen Resultat. Vereinzelt wird von Herstellern ungebrannter feuerfester Steine behauptet, daß die Ergebnisse, welche erhalten werden, wenn man die gehärteten Steine einem Brennen bei verschiedenen Temperaturen unterwirft, kein richtiges Bild von der Verwendbarkeit der ungebrannten feuerfesten Erzeugnisse ergeben, sondern daß dieses nur der Fall wäre, wenn man ganze gewerbliche Feuerungen aus ungebrannten feuerfesten Erzeugnissen aufführte. Man will nämlich die Steine erst bei der Inbetriebnahme der Feuerung oder des Ofens nachbrennen. Das hierbei unter Umständen an der einen Seite der Feuerung eine gewisse Festigkeit erzielt wird, bestätigen auch die Versuche von *Schneider*. Ebenso sicher ist aber auch, daß die Festigkeit der der Feuerung abgekehrten Teile der ersten Steinschicht und unter Umständen auch der dahinterliegenden Schichten wesentlich vermindert wird. Es hängt von verschiedenen Um-

¹ Während des Druckes des vorliegenden Werkes erschien in Chem. and Metall. Eng. 1924, S. 737 eine Arbeit von *Hougen*, in welcher eine umfassende Tabelle der verschiedensten physikalischen Eigenschaften der sämtlichen feuerfesten Stoffe enthalten ist.

² Tonind.-Ztg. 1921, Heft 49, 52, 54.

ständen ab, ob eine solche gewerbliche Feuerung eine längere Lebensdauer hat. Tatsache ist, daß das Gewölbe eines aus ungebrannten feuerfesten Steinen aufgeführten Siemens - Martinofens noch vor Beendigung der ersten Beschickung zusammenbrach.

Trotz der vielen ausgedehnten Versuche ist es bis jetzt nicht gelungen nach dem Härteverfahren ein feuerfestes Erzeugnis herzustellen, welches den gebrannten, sachgemäß hergestellten feuerfesten Waren ebenbürtig wäre.

Zu den ungebrannten feuerfesten Materialien gehören auch die sog. Stampfmassen, wie sie bei Kupolöfen, neuerdings auch in Vertikalkammeröfen von Gaswerken usw. verwendet werden (vgl. darüber S. 130).

Die besonders in der Nachkriegszeit sehr gestiegenen Kohlenkosten führten dazu, daß man auch quarzhaltige Massen versuchte, im ungebrannten Zustande zu verwenden. So fanden z. B. solche gepreßte, jedoch ungebrannte und auch ungehärtete Quarzsteine Verwendung in einem Gaskammerofen zum Brennen von Tonwaren. Es konnte in diesem Falle festgestellt werden, daß an vielen Stellen die Köpfe der Steine abgeplatzt waren, was auf die uns bereits bekannten Umwandlungen des Quarzes zurückzuführen ist. Ob sich dieser Mangel beseitigen läßt, wenn der Quarz vor dem Pressen „totgebrannt“ wird, läßt sich nicht ohne weiteres bejahen. Ist man jedoch gezwungen, aus diesem Grunde den Quarz vorher zu brennen, so fallen die wirtschaftlichen Vorteile der ungebrannten Quarzsteine, die in den Brennkosten gipfeln sollen, ohne weiteres fort. Im allgemeinen weisen ungebrannte Quarzsteine, besonders bei großen Temperaturwechseln oder unter Hinzutritt kalter Luft, ein lockeres Gefüge auf, was auch nicht anders zu erwarten ist. Zur Behebung dieses Übelstandes hat man versucht, der Steinmasse neben Kalk noch andere, fein verteilte basische Oxyde zuzusetzen, um schon bei niedrigeren Temperaturen ein besseres Zusammenkitten der Quarzkörnchen zu erreichen. Es muß jedoch dabei die Verminderung der Feuerfestigkeit in Kauf genommen werden. Im großen und ganzen sind diese Massen nichts anderes als die bekannten Stampfmassen, die in Glüh- und Wärmeöfen Verwendung finden und folglich nur verhältnismäßig bescheideneren Ansprüchen zu genügen haben. Über den Erfolg solcher ungebrannter Steine bei hoch beanspruchten Öfen bzw. Feuerungen liegen dagegen keine praktischen Resultate vor und sind wohl nach unserer heutigen Kenntnis der Quarzeigenschaften wohl kaum zu erwarten. Wäre es gelungen, mit den ungebrannten Quarzsteinen günstige Resultate zu erzielen, so hätte man von einem erstklassigen Erfolge für die Volkswirtschaft sprechen können, weil große Ersparnisse an Kohlen zum Brennen der Steine eintreten würden. Es erscheint jedoch zweifelhaft, daß in höher beanspruchten Feuerungen dieses Verfahren Eingang findet. Es spielen schließlich nicht allein die uns hinlänglich bekannten Raumvergrößerungen der Quarzmasse unter der Einwirkung des Feuers eine Rolle, sondern es kommt auch auf eine gute mechanische Festigkeit der Steine an. Die Erfahrungen haben aber gelehrt, daß ein guter und fester Silika- und Dinasstein nur bei einem genügend hohen und langsam steigenden, nicht durch Temperaturwechsel unterbrochenen Brand erzielt werden kann.

Da ferner die Steine, die im Brennofen der Steinfabrik höher gebrannt werden, als die normale Temperatur an der Verwendungsstelle beträgt, größere Sicherheiten bieten, so scheint der Erfolg solcher Surrogate zweifelhaft zu sein. Die Brennstoffersparnisse sind nur scheinbarer Natur, weil sie nur in der feuerfesten Fabrik eintreten, und müssen zum großen Teil an der Verwendungsstelle der ungebrannten Quarzsteine wieder aufgebracht werden. Es kommen außerdem noch die gleichen Momente hinzu, die bei der Besprechung der halbsauren Massen (Stampfverfahren für Koks- und Gaserzeugungsöfen bzw. Kupolöfen, S. 97 und 130) besprochen wurden. Lassen sich aber die Quarzmassen nicht stampfen, so fehlen dem Stampfverfahren als solchem die sämtlichen Vorteile der quarzhaltigen Massen, wie bessere Wärmeleitfähigkeit, höhere Schmelzbarkeit, Widerstandsfähigkeit gegen Salze usw.

Daß auch einige natürliche Gesteinsarten als feuerfeste Materialien zur Verwendung kommen, darf als bekannt vorausgesetzt werden. Das bekannteste Gestein dieser Art ist der Krummendorfer Quarzschiefer aus der Gegend von Strehlen in Schlesien. Seine Feuerfestigkeit und sein günstiges Verhalten bei der Anwendung hoher Temperaturen machen diesen Stein zur Ausfütterung gewisser gewerblicher Feuerungen (z. B. Kalk- und Zementbrennöfen, S. 146 und 153) geeignet; natürlich ist seine Verwendung beschränkt. Die chemische Zusammensetzung des Krummendorfer Quarzschiefers ist folgende:

SiO ₂	94,95 Proz.
Al ₂ O ₃	3,37 „
Fe ₂ O ₃	0,29 „
CaO	Spuren
MgO	0,05 „
Alkalien	0,04 „
Feuerfestigkeit . . .	Segerkegel 33 bis 35

Über die Verwendung des Natursandsteines im rohen Zustande in den Glasschmelzöfen siehe S. 165—166.

4. Feuerfeste Mörtel, Kitte und Überzüge.

Häufig gelangen feuerfeste Mörtel unter der Bezeichnung „feuerfester Zement“ oder „Feuerzement“ in den Handel. Derartige Bezeichnungen sind in den weitaus meisten Fällen irreführend, denn derartige Fabrikate sind nicht das, was man dem Namen nach von ihnen erwartet, sondern in den meisten Fällen nur sandige Abfallprodukte der Kaolinschlammereien, die vom Käufer im Verhältnis zu ihrem wirklichen Wert viel zu teuer bezahlt werden (vgl. S. 4).

Der Mörtel dient zum Vereinigen von zwei oder mehreren Stücken zu einem Ganzen. Es können die Steine beim Mauern nie so glatt und gleichmäßig aufeinandergelegt werden, daß sie die Lagerfläche voll und ganz berühren. Und doch ist dieses notwendig, um einen standfesten Bau zu erhalten. Weil der Mörtel aber roh verarbeitet werden muß und erst später festbrennen kann, wählt man dazu ein Material, welches einen etwas niedrigeren Schmelzpunkt

besitzt, als die Steine selbst, und in der Temperatur des Ofens frittet, ohne dabei zu schwinden oder sich aufzulockern. Zur Erreichung dieses Zieles wird teigartiger Mörtel verwendet, der die innige Berührung von Fläche zu Fläche vermittelt. Beim Bauen wird zunächst auf den Baugrund eine Schicht Mörtel ausgebreitet und in dieses Bett eine Schicht Steine gelegt. Auf diese Steinschicht wird die nächste Mörtelschicht ausgebreitet und der Vorgang wiederholt, bis das Bauwerk fertig ist. Die Frage, ob der Mörtel eine nennenswerte Festigkeit haben oder bekommen muß, wird verschieden beantwortet. Nur soviel steht fest, daß die Festigkeit derartig sein muß, daß er aus den Fugen nicht ausrieselt.

Schon mancher hat die Erfahrung gemacht, daß der gelieferte feuerfeste Mörtel trotz Einwirkung der Ofentemperatur nicht fest und zusammenhängend wird, so daß er die Aufgabe, eine dauerhafte Ausfüllung der Fugen und eine möglichst feste Verbindung der Ofenbaustoffe zu gewährleisten, nicht erfüllt. Infolge der wiederholten Erwärmung und Abkühlung des Ofenbaues entstehen Bewegungen im Mauerwerk, und diese Bewegungen haben eine Lockerung des feuerfesten Mörtels zur Folge, so, daß bei nicht genügend fest und hart werdendem Mörtel die einzelnen Bausteine nur lose neben- und aufeinanderliegen. Infolgedessen wird es sich empfehlen, die Zusammensetzung des feuerfesten Mörtels erstens von der Zusammensetzung der Ofenbausteine und zweitens von der Verwendungstemperatur abhängig zu machen. Eine Anpassung an die Zusammensetzung der Bausteine ist notwendig, um ein Auftreten zerstörender chemischer Einwirkungen des Mörtels auf die Ofensteine zu verhüten. Die Anpassung an die Ofentemperatur ist erforderlich, um die Mörtelzusammensetzung so zu wählen, daß die Verwendungstemperatur genügt, den Mörtel fest und hart zu brennen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind von vielen Seiten wiederholt sogar Versuche mit Mörtelzusammensetzungen ausgeführt worden, die bei der Ofentemperatur eine annähernde Schmelzung des Mörtels zur Folge haben. Die Anwendung schmelzender Mörtel wird man zwar als Übertreibung bezeichnen müssen und wird im allgemeinen die Anwendung derartiger Mörtelstoffe kaum empfehlen können. Sie werden im einen oder anderen Fall günstige Ergebnisse zeitigen, doch besteht bei ihnen stets die Gefahr, daß bei wiederholter hoher Erwärmung und beim Hinzutreten von Flugstaub und dampfförmigen Verbrennungstoffen allmählich leichtflüssigere Schmelzen entstehen, die schließlich aus den Fugen ausfließen und eine weitgehende Zerstörung der Ofensteine nach sich ziehen. Die Verwendung eines Mörtels, der infolge seiner Zusammensetzung fester und dichter brennt, als ein Mörtel von genau derselben Zusammensetzung wie die Steine, ist aber ratsam, weil der Mörtel mit Wasser angemacht als lockere Masse in die Fugen gebracht wird und infolge Verdunstung des Wassers schon an und für sich eine größere Porosität besitzt, als die unter Anwendung größeren Druckes hergestellten und gebrannten Ofenbausteine.

Die Mörtel (Kaolin-, Quarz-, Schamottmörtel) bestehen in der Hauptsache aus Mischungen, die in ihrer Zusammensetzung den feuerfesten Er-

zeugnissen, zu deren Vermauerung sie verwendet werden, ähnlich sind; sie unterscheiden sich von den letzteren häufig nur durch feineres Korn. Bei Schamottesteinen verwendet man als Mörtel eine Mischung von feuerfestem Ton mit fein gemahlener Schamotte; für besonders hohe Beanspruchungen nimmt man gebrannten Schiefertone mit Kaolinzusatz. Bei Verwendung flußmittelreicher Mörtel ist stets Vorsicht geboten, da hier die Gefahr von Ausschmelzungen immer im Bereich der Möglichkeit liegt. Für Silika- und Dinassteine verwendet man feingemahlene Quarz oder gemahlene Dinassteinbruch, dem gegebenenfalls eine geringe Menge feuerfesten Rohtones als verkittender Zusatz beigemischt wird. Bei Schamottesteinen ist die Mörtelfuge etwas stärker als bei Quarzsteinen.

Was speziell die Silikamörtel betrifft, so werden an diese in der Hauptsache folgende Anforderungen gestellt: gute Bildsamkeit, Bindekraft und Feinheit. Die Semet-Solvay-Co. schreibt z. B. bezüglich des Feinheitsgrades des Silikamörtels vor, daß der Mörtel völlig durch ein 30-Maschensieb (140 Maschen je cm^2) geht. Die Bindekraft des Mörtels wird durch Zusätze erhöht; selbstverständlich dürfen solche Zusätze die Feuerfestigkeit nicht herabdrücken. Gute Erfahrungen hat man in Amerika mit Zusatz von Melasse zur Erhöhung der Bindekraft gemacht. Ein gut bindender Mörtel muß (nach *McGee*), zwischen die flachen Seiten zweier Steine gestrichen, nachdem er lufttrocken geworden ist, den unteren Stein halten, wenn der obere Stein waagrecht aufgehängt ist. Zur Erhöhung der Bildsamkeit des Silikamörtels wird durch Zusatz von plastischem Ton erhöht, jedoch wird dadurch der Schmelzpunkt des Mörtels herabgedrückt. Der Schmelzpunkt besten Silikamörtels darf nicht unter SK. 31 liegen; durch Zusatz von plastischem Ton (SK. 28) wird der Schmelzpunkt des Gemisches (nach *McGee*) wie folgt herabgedrückt: durch 10 Proz. plastischen Ton auf SK. 31, durch 20 Proz. auf SK. 30, durch 30 Proz. auf SK. 28 und durch 40 Proz. auf SK. 26 bis 27. Bei steigendem Ersatz des Silikasteinmehles durch ungebrannten Ganister konnte dagegen die Feuerfestigkeit des Mörtels erhöht werden. Zu ähnlichen Resultaten kommen auch *Bradshaw* und *Emery* (*Gas-Journal* 1921, Nr. 15, S. 157 bis 160). Sie fanden, daß ein geringer Zusatz des feuerfesten Tonsteinmehles zu dem Quarzkalksteinmehl die Feuerfestigkeit der Mischung stärker beeinflußt als umgekehrt ein entsprechender Zusatz von Quarzkalksteinmehl zu dem feuerfesten Tonsteinmehl. So verringerte ein Zusatz von 25 Proz. des feuerfesten Tonsteines zum Quarzkalkstein die Feuerfestigkeit um $4\frac{1}{2}$ Kegel, ein Zusatz von 43 Proz. um 6 Kegel, während in umgekehrten Fällen nur Unterschiede von 2 bzw. 3 SK. hervorgerufen wurden.

Beim Brennen und Abkühlen der Öfen tritt durch Ausdehnen und Zusammenziehen in den Ofenwänden Bewegung ein, wodurch ein Ausbröckeln des Mörtels verursacht wird. Dieser Fehler, der zuweilen durch die ganze Ofenwand, durch Innen- und Außenwand durchgeht und besonders bei dünnen Ofenwänden auftritt, kann unliebsame Betriebsstörungen hervorrufen dadurch, daß Nebenluft in den Öfen eindringt oder daß Gase aus dem Ofen austreten.

Für viele Zwecke wird als Mörtel ein Gemisch aus Sand mit gemahlenem Ton oder ein in der Natur vorkommendes Produkt „Klebsand“ genügen. Der Klebsand wird in den Braunkohlengebieten gefunden. Nach *Bischofs* Analysen haben die wichtigsten Klebsande folgende Zusammensetzung:

Tabelle 43.
Analysen von Klebsand.

Fundort	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O u. Na ₂ O	Glüh- verlust
1. Grünstadt Pfalz (a)	65,76	23,61	1,06	0,19	0,29	1,72	7,64
2. Grünstadt (Pfalz) (b)	60,29	28,00	1,54	0,07	0,11	1,39	8,92
3. Grünstadt (Pfalz) (c)	77,55	16,13	0,53	0,17	0,02	0,51	5,47
4. Eisenberg (Pfalz) (a)	90,63	6,08	0,99	—	—	0,32	2,20
5. Eisenberg (Pfalz) (b)	90,95	4,5 bis 9	0,5 bis 1			—	—
6. Heidemühle b. Schneittenbach (O.-Pfalz) .	82,88	11,15	0,46	0,14	0,04	3,19	2,32
7. Flörsheim (Hessen-Nassau)	92,57	6,98	0,05	—	—	—	—
8. Ottweiler (Rheinprovinz)	89,44	8,26	0,608	0,16	0,05	0,38	—
9. Herchenbach (a)	90,77	5,04	0,34	0,27	0,21	0,24	3,29
10. Hercehnbach (b)	93,05	2,91	0,18	0,25	0,09	0,27	3,27
11. Arloff (Rheinl.)	91,95	5,18	0,59	—	—	0,47	2,17
12. Brohlthal (Rheinl.)	89,12	7,08	0,62	0,10	0,14	0,72	2,15
13. Tonwerk Pauline zu Cobern (Rheinl.) . .	93,13	4,30	0,29	0,00	0,00	0,74	1,55
14. Adolfshütte zu Crosta bei Bunzlau . . .	82,9	15,2	1,0	0,7	—	0,2	—

Der Gehalt an Tonerde deutet darauf hin, daß diese Sande, mit Wasser angefeuchtet, eine gewisse Binde- bzw. Klebkraft haben, welche sie geeignet macht, als feuerfeste Mörtel angewendet zu werden. Andererseits eignen sich verschiedene Klebsande auch zu Ofenfutter, beispielsweise für Kupolöfen. Eine weitere Verwendung finden die Klebsande als Schutzanstrich von Brennöfen, Gießereiformen, Formsand usw.

Diese Verwendungsweisen bedingen jedoch, daß die Klebsande eine hohe Feuerfestigkeit haben. Sande, deren Schmelzpunkte unterhalb Segerkegel 31 liegen, spricht die Technik nicht mehr als Klebsand an.

Von den anderen natürlichen Mörtel sei noch der sog. Kraterzement vom Herchenberg bei Brohl am Rhein genannt. Die Bezeichnung Zement ist, wie bereits auf S. 4 erwähnt, irreführend, weil dieses Produkt keine hydraulischen Eigenschaften besitzt und somit mit den wirklichen Zementen nichts gemein hat. Der Kraterzement stellt ein wahrscheinlich durch vulkanisches Feuer gebrannten sandhaltigen Ton dar. Seine Analyse ist:

SiO ₂	86,34 Proz.
Al ₂ O ₃	6,03 „
Fe ₂ O ₃	0,68 „
H ₂ O	2,38 „
Andere Bestandteile	4,57 „

Ähnliche Eigenschaften und Zusammensetzung weist auch der in England vorkommende Ganister auf. Er wird in den englischen Kohlenlagern unter den Steinkohlenschichten als ein dichtes kieseliges Gestein gefunden, dessen

Farbe von hell- oder dunkelgrau bis zu graubraun und rötlich wechselt. Die Farbe rührt von der Gegenwart einer geringen Menge organischer Stoffe und Eisenoxyd her und ändert sich je nach der Menge der Beimengungen. Der Ganister wird zum Auskleiden der Bessemerbirnen, wie auch der Puddelöfen usw. und aller solcher Apparate verwendet, die bei bedeutenden Hitzegraden der Einwirkung metallischer Oxyde ausgesetzt sind. Die Schmierfähigkeit kann durch Zusatz einer geringen Menge feuerfesten Tones erhöht werden.

Über den Charakter des feuerfesten Mörtels, sowie die von ihm zu erfüllenden Aufgaben im feuerfesten Mauerwerk sind die Ansichten geteilt. *Klinger*¹ ist der Meinung, daß der feuerfeste Mörtel nicht kittend, sondern ausgleichend wirken soll und demgemäß nicht als Bauglied in Anspruch genommen wird. Er meint, daß sogar eine Gefahr vorliegt, daß die Widerstandsfähigkeit eines feuerfesten Bauwerkes erheblich geschwächt wird, wenn der feuerfeste Mörtel die einzelnen Steine fest miteinander verkittet. Die Ursache hierfür ist darin zu suchen, daß die Bewegungsfreiheit der feuerfesten Steine unterbunden wird, wenn sie sich durch die Wirkung des Feuers ausdehnen. Das Mauerwerk muß reißen, wenn der Mörtel die Steine miteinander fest verbindet. Können sich aber die Steine unabhängig vom Mörtel frei bewegen, so kehren sie in ihre ursprüngliche Lage zurück, wenn das Erwärmen aufhört. Man kann sich jedoch dieser Ansicht nicht ganz anschließen. Nach unserer Meinung muß der Mörtel das feuerfeste Mauerwerk gut verbinden. Es ist deshalb die vornehmste Aufgabe des Fabrikanten den kittenden Mörtel so herzustellen, daß sein Ausdehnungskoeffizient sich ganz genau demjenigen der Steine anpaßt. Dieses gilt besonders auch für solche Mörtel, die durch Zusatz von besonderen Flußmitteln einen niedrigeren Sinterungspunkt erhalten sollen, als der zum Vermauern mit diesem Mörtel bestimmten feuerfesten Steine. Dann kommen die Befürchtungen von *Klinger* ohne weiteres in Fortfall.

Um feuerfeste Mörtel zu verbessern², sei es um sie selbsterhärtend oder dichtbrennend zu machen, oder um dem Schwinden des Tones entgegenzuwirken, werden zum feuerfesten Tonmehl verschiedenartige Zuschläge gesetzt, wie Salz, Kalk, Zement, Asbest, Wasserglas, Carborund, gemahlener Quarz oder Schamottmehl. Die Einwirkung dieser Zuschläge auf einen plastischen feuerfesten Ton Segerkegel 30 (28,5 Proz. Al_2O_3 , 56,4 Proz. SiO_2 , 0,24 Proz. Alkalien, 11,12 Proz. Glühverlust) in verschiedenen Mischungen zeigt das Schaubild Fig. 75.

Salz, Kalk, Zement und Asbest in Zusätzen von 5 bis 10 Proz. vermindern die Feuerfestigkeit sehr stark, um 5 bis 15 Segerkegel — 10 Proz. Wasserglaszusatz setzt die Feuerfestigkeit nur um 2 Segerkegel herunter; bei stärkerem Zusatz sinkt die Feuerfestigkeit rascher (bei 24 Proz. auf Segerkegel 20). Das verwendete Carborund scheint einer Feuerfestigkeit von nur Segerkegel 28/29 entsprochen zu haben, weshalb der Zusatz von geringem Einfluß war. Die

¹ Tonind.-Ztg. 1920, S. 132.

² Zitiert nach einem Referat von *M. Drees* über die Arbeit von *R. Howe* in *Met. Chem. Eng.* 1920, 11. Aug., S. 232 bis 234; vgl. *St. u. E.* 1921 (I), S. 626.

beigemengte Schamotte war erster Qualität (wahrscheinlich Segerkegel 33/34), weshalb mit steigendem Zusatz die Feuerfestigkeit langsam anstieg. Praktische Versuche wurden mit einem Mörtel angestellt, der je 10 Proz. Asbest und Wasserglas enthielt und dessen Feuerfestigkeit unter Segerkegel 11 lag bei folgender Zusammensetzung: 7,64 Proz. Al_2O_3 , 73,00 Proz. SiO_2 , 6,76 Proz. Alkalien. Säulen aus feuerfesten Steinen wurden mit diesem Mörtel vermauert und bei einer Belastung von 0,8 kg/qcm erhitzt: bei 1100° begann der Mörtel stark hervorzuquellen und lief bei 1250° völlig aus. Ein Bogen mit anscheinend starken Fugen aus diesem Mörtel gemauert, war bei ähnlicher Erhitzung eingesunken bzw. gänzlich verschoben. Es folgt hieraus, daß solche fremdartige Zusätze nur in ganz geringen Mengen angewandt werden dürfen. Logischer ist es, bereits zusammengeschrumpften (= totgebrannten) feuerfesten Ton als feines Mehl zuzusetzen. Dieses bestätigen auch Belastungs- und Er-

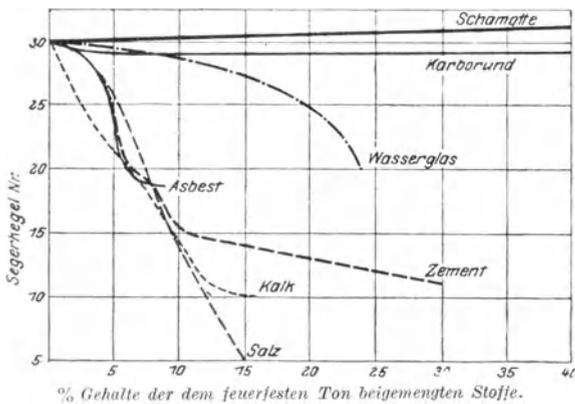


Fig. 75. Einwirkung verschiedener Zuschläge zum Mörtel auf seine Feuerfestigkeit.

der Luft wie im Feuer eine große Bindekraft erteilen. Ferner soll sich der Wasserglasmörtel zum Ausfüllen von ausgebrannten Löchern in Schmelzöfen, Gebläsen und Feuerungen gut eignen. Nach *Lanitz*² soll sich die Brauchbarkeit der Wasserglaslösung zur Mitverwendung bei der Ausbesserung im Feuer rissig gewordener Schamotteformsteine in der Praxis bestätigt haben. Es wird hierbei folgender Weg empfohlen. Von einem gebrannten Schamottestein, der in seiner Zusammensetzung dem auszubessernden Formstein entspricht, stellt man durch Zerkleinern Schamottemehl her und rührt es unter Zusatz von Wasserglaslösung zu einem strengflüssigen Brei an. Der rissige Stein wird von etwaiger Flugasche gereinigt, der Riß gut eingefeuchtet und mittels eines Holzspachtels mit dem Schamottebrei gefüllt. Erlaubt es die Zeit, den ausgebesserten Stein nochmals zu brennen, so wird er zweckmäßig an eine Stelle in den Ofen eingesetzt, wo er die geringste Hitze erhält.

¹ Tonind.-Ztg. 1916, Heft 150; 1917, Heft 37.

² Tonind.-Ztg. 1917, Heft 13, S. 80.

hitzungsproben gleicher Art bei einer Mischung von $\frac{1}{2}$ feuerfestem Ton, $\frac{1}{2}$ Ia Schamottemehl und 1350° . Also dürfte in der Herstellung des feuerfesten Mörtels auf jenen Abwegen keine Verbesserung zu erwarten sein, und es bleibt zweckmäßig auch hier besser beim alten.

Nach *Libau*¹ soll der Zusatz einer gewissen Menge von Kaliwasserglas zum Schamottemörtel diesen geschmeidig machen, ihn vor Frost schützen und an

Über eine bemerkenswerte Zerstörungsursache einer Koksöfenwand, welche nur durch Anwendung einer mikroskopischen Untersuchung des angewandten feuerfesten Mörtels zum Binden der Kalkquarzsteine der Koksöfenwand entdeckt werden konnte, berichtet *Pulfrich* in der *Tonindustrie-Ztg.* 1923, Nr. 35. Der Mörtel enthielt ca. 10 Proz. Al_2O_3 und ca. 87 Proz. SiO_2 und war als normal anzusehen. Im Mikroskop wurde jedoch festgestellt, daß der im Mörtel enthaltene Quarzsand sich erst im Anfang seiner Umwandlung d. h. Ausdehnung befand, trotzdem der Mörtel bereits ein Jahr im Feuer stand. Es muß deshalb bei quarzhaltigen Mörteln eine eventuelle Trägheit der Umwandlungsgeschwindigkeit berücksichtigt werden.

Neben dem Mörtel wendet man beim feuerfesten Bauwerk häufig noch Kitte und Überzüge, die in ihrer Zusammensetzung im allgemeinen der künstlichen und natürlichen Mörtel ähneln. Zu diesen Schmiermitteln gehört auch der Schmierton (hessischer Ton von Großalmerode), der zum Dichtmachen und Ausschmieren von schadhafte Stellen in den Öfen verwendet wird. Mit Überzügen werden die feuerfesten Erzeugnisse manchmal versehen, um sie gegen die bei ihrer Verwendung auftretenden zerstörenden Angriffe widerstandsfähiger zu machen. Man wendet solche Überzüge nicht allein bei kleineren Gegenständen, wie Tiegel, sondern auch große Flächen, wie Wände der keramischen Brennöfen, Koksöfen usw. Eine größere Bedeutung haben besonders die hochfeuerfesten Überzüge erlangt, wie z. B. Überzüge aus Corundmasse, Carborundum usw. Auch sollen sich Überzüge aus Tonerdesilikaten (oder Tonerde) mit geringer Beimengung von Oxyden von Eisen oder Mangan bewährt haben.

Als sog. Kitte finden die einzelnen Mörtel Verwendung zum Ausbessern schadhafte gewordenen Ofenfutter. Als Kitt verwendet man hierzu in vielen Fällen Mischungen, die den obengenannten Mörteln entsprechen. Häufig versetzt man jedoch die Mischungen mit einem kleinen Zusatz von Flußmitteln oder leicht sinterndem Ton, um ein Dichtbrennen und besseres Haften in den Rissen zu unterstützen. Eine weitere Verwendung finden Kitte zur Ausbesserung von Rissen an gebrannten größeren Stücken, ebenso in Retorten und größeren Gefäßen während des Gebrauches. Häufige Anwendung findet das Kitten beim Flicken von Kapseln, die durch wiederholte Benutzung leicht zerbrechen, aber durch Zusammenflicken wieder für einige Brände verwendbar gemacht werden können. Die Zusammensetzung des Kittes für solche Fälle richtet sich vor allem nach der Brenntemperatur, der die Stücke bei der Verwendung ausgesetzt werden.

Literaturübersicht.

Bücher und Zeitschriftenaufsätze.

Die mit * bezeichneten Arbeiten waren mir nicht zugänglich und konnten deshalb nicht berücksichtigt werden.

- Allen*, Glashafenherstellung in England. *British Clayworker* 1920, Nr. 331, S. 172 ff.; *Tonindustrie-Zeitung* 1920, Nr. 41, 43, 45, 48; *Ker. Rundschau* 1920, Nr. 17, 18, 20, 22.
- Anonymus*, Die Untersuchung feuerfester Materialien. *Eisenzeitung*, Heft 30, 26. Juli 1923, S. 593.
- Die feuerfesten Materialien unter Berücksichtigung des Gießereifaches. *Eisenzeitung* 1912, S. 737, 756.
- Anderson*, Metallurgische Anforderungen für feuerfeste Materialien für die Aluminiumindustrie. *Journ. Am. Cer. Soc.* Bd. 6, S. 1090—1093. 1923.
- Arndt*, Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit feuerfester Stoffe. *Dinglers Polyt. Journal* Bd. 103, S. 185—187. 1922.
- Die Anwendung der physikalischen Chemie in der Industrie feuerfester Erzeugnisse. *Ber. über die XXXI. ord. Hauptvers. des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte.* Berlin 1911. S. 66.
- **Arnold*, Industrielle Verwendung feuerfester Materialien. *Jr. Tr. Rev.* 6. Dez. 1917, S. 1212—1217.
- *— Feuerfeste Materialien in Gießerei-Anlagen. *Foundry*, Juli 1918, S. 326—329.
- Asch, W. und D.*, Die Silikate in chemischer und technischer Beziehung. Leipzig 1911.
- Ashley*, Ein Prüfungsverfahren für Kapselmassen. *Transact. Amer. Cer. Soc.* Bd. 12, S. 205. 1910.
- Audley*, Zinkmuffeln. *Transact. Engl. Cer. Soc.* 1919, S. 43—66. Referat: *Tonindustrie-Zeitung* 1920, Nr. 132, S. 1158.
- **Aulich*, Einiges über feuerfeste Baustoffe (in der Gießerei). *Gießerei* 1923, Heft 34, S. 370 bis 372.
- **Babcock*, Feuerfeste Baustoffe in der Zinkindustrie. *Journ. Amer. Cer. Soc.* 1919, S. 81—95.
- Baldermann*, Über die Beschaffenheit und Widerstandsfähigkeit der Schamottesteine bei Glas-Wannenöfen. *Sprechsaal*, Heft 33, 14. August 1919, S. 285.
- Die Schamotteerzeugnisse zum Bau der Glasöfen und Glasschmelzwannen. *Ker. Rundschau* 1920, Heft 39 und 41; *Tonindustrie-Zeitung* 1920, Heft 61 und 64.
- Banco*, Verhalten feuerfester Steine in der Hitze unter Belastung. *Tonindustrie-Zeitung* 1913, Heft 56, S. 736; Referat: *Feuerungst.* 1912/13, S. 366.
- Barringer*, Festigkeit von Kapselmassen. *Transact. Amer. Cer. Soc.* Bd. 7, S. 201—203. 1905. Vgl. auch Bd. 2, S. 189—191. 1910.
- Bartsch, O.*, Über Hafenauflösung. *Z. V. d. Ing.* 1924, Heft 21, S. 525.
- Bauer, E. P.*, Keramik. *Technische Fortschrittsberichte* Bd. I. Verl. Th. Steinkopf, Dresden und Leipzig 1923.
- Eine neue Standardmethode zur Untersuchung der Angreifbarkeit von feuerfesten Materialien gegen Schlackenangriff. *Allgemeine Glas- und Keram-Industrie* 1924, Heft 5.
- Belladen*, Italienische Dinassteine. *L'Industria* 1919, S. 168—171.

- Benfey, G.*, Herstellung feuerfester Erzeugnisse. Verlag: Jänecke in Hannover. Bibl. d. ges. Techn. Bd. 160.
- Berry*, Der Bedarf des Glasfabrikanten an feuerfesten Erzeugnissen. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 16, S. 101—108. 1914. Referat: Sprechsaal 1919, S. 30.
- Berthold*, Die Benennung der aus Quarz hergestellten feuerfesten Steine. Tonindustrie-Zeitung 1916, Heft 134, S. 753.
- Bertrand und Boulanger*, Über ein Schnellverfahren zur Bestimmung der relativen Porosität keramischer Erzeugnisse. La Céramique 1920, Nr. 387, S. 77—79. Referate: Keram. Rundschau 1920, Nr. 34, S. 345—346; Sprechsaal 1920, Nr. 42, S. 443 bis 444.
- * *Berlin, D. W.*, und *Härdén, I.* Feuerfestes Ofenfutter für höhere Temperaturen, besonders für elektrische Öfen. Jernkont. Ann. Bd. 106, S. 186—188. 1922.
- Bied*, Kalk und Eisenoxyd in Silikaziegeln. Tonindustrie-Zeitung 1919, 20. Februar, S. 139—140.
- * *Bigot*, Studie über Silikasteine. Journ. Coal Tr. Rev. 1918, 17. Mai, S. 555; 8. Nov., S. 521—522.
- Rohstoffe für Silikaerzeugnisse. Tonindustrie-Zeitung 17. Sept. 1918, S. 525—526.
- Binder*, Mauerwerk für industrielle Feuerungsanlagen. Rauch und Staub 1918, S. 85.
- Bischof, C.*, Gesammelte Analysen der in der Tonindustrie benutzten Mineralien und der daraus hergestellten Fabrikate. Leipzig 1901.
- Die feuerfesten Tone. 4. Aufl. Leipzig 1923, Verl. J. Ambr. Barth. (Enthält umfangreiche Literaturangaben.)
- Blasberg*, Über die Wandlung in der Zusammensetzung feuerfester Steine. Stahl und Eisen 1910, S. 1055—1060.
- Bleininger*, Besondere Hefen für das Schmelzen optischen Glases. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 1, S. 15—24. 1914. Referat: Sprechsaal 1923, S. 410—411.
- *— Eigenschaften des feuerfesten Materials. Jr. Tr. Rev. 30. Aug. 1917, S. 445—449.
- *— Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der feuerfesten Materialien. Chem. Met. Eng. 27. Sept. 1918, S. 467—470.
- Einige Bemerkungen über die Prüfung des feuerfesten Materials. Proc. Eng. S. West Penns. Oktober 1916, S. 612—646.
- Mitteilung über das Verhalten von hochtonerdehaltigen feuerfesten Erzeugnissen unter Belastung. Journ. Amer. Cer. Soc. 1920, Nr. 2, S. 155—157. Referat: Tonindustrie-Zeitung 1921, Heft 60, S. 518.
- und *Brown*, Das Verhalten feuerfester Steine unter Belastung. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 12, S. 337—365. 1910; Bd. 13, S. 210—225. 1911; Bd. 14, S. 39. 1912. Referate: Ker. Zentralblatt 1911, S. 96; 1912, S. 41; Sprechsaal 1911, S. 360; 1912, S. 213; Tonindustrie-Zeitung 1911, S. 490; 1912, S. 815. Bd. 13 ist referiert in Stahl und Eisen 1912, S. 26—27 und 1503—1504, sowie in Journ. f. Gasbel. und Wasservers. 1912, S. 1920.
- und *Ross*, Über Volumenänderungen bei Silikasteinen. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 13, S. 519. 1916.
- Block*, Das Kalkbrennen im Schachtofen mit Mischfeuerung. 2. Aufl. Verl. Spamer, Leipzig 1924: S. 189—223.
- Bodin*, Bestimmung der Ausdehnung feuerfester Produkte bei verschiedenen Temperaturen. La Céramique 1923, Bd. XXVI, S. 113.
- Druckfestigkeit feuerfester Steine bei verschiedenen Temperaturen. Transact. of the Ceramic Society (Engl.) Bd. 21, Teil I, S. 44ff. 1921/22; Sprechsaal 1922, S. 157 bis 158; Stahl und Eisen 2. März 1922, S. 342—343. Vgl. auch Tonindustrie-Zeitung 1922, Heft 57.
- Cahiers des charges pour produits refractaires. La Céramique 1923, Bd. XXVI, Juni, S. 200—208; Tonindustrie-Zeitung 1923, Nr. 93, S. 709. Vgl. auch Ker. Rundschau 1923, S. 430.
- Boeck*, Ein Apparat zur Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten fester Körper. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 14, S. 470—479. 1912.

- Böndel*, Einteilung und Kennzeichnung feuerfester Erzeugnisse. Tonindustrie-Zeitung Heft 139, 25. Nov. 1919, S. 1249.
- Gewährleistung bei feuerfesten Erzeugnissen. Tonindustrie-Zeitung 26. Jan. 1918, S. 47—48. Vgl. auch 1917, Heft 38.
- Bogitch*, Über die Ausdehnung einiger feuerfester Stoffe bei hohen Temperaturen. Comptes rendus 19. Dez. 1921, S. 1358—1360.
- Bondolfi*, Dinas. Met. Ital. Januar 1917, S. 4—54.
- Bollenbach*, Laboratoriumsbuch für Tonindustrie. Verl. Knapp, Halle 1910.
- Bouton*, Feuerfeste Erzeugnisse für Wanderrostfeuerungen. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 1190—1193. 1923.
- Bradshaw* und *Emery*, Der Einfluß oxydierender und reduzierender Atmosphäre auf feuerfeste Stoffe. Bericht des Untersuchungsausschusses für feuerfeste Stoffe an die Institution of Gas Engineers. Gas-Journal Bd. 155, Nr. 3036, S. 157—159. 1921. Referat: Sprechsaal 1922, Heft 48.
- Vergleichende Versuche mit maschinell und handgeformten Silikasteinen. Transact. Cer. Soc. (Engl.) Bd. 19, II, S. 73—83. 1920. Referat: Tonindustrie-Zeitung 1920, Nr. 137, S. 1195.
- Die spezifische Wärme von feuerfestem Material in hohen Temperaturen. Transact. Cer. Soc. (Engl.) Bd. 19, II, S. 84—92. 1920. Referate: Stahl und Eisen 1920, Heft 30, S. 1020; Sprechsaal 1921, Heft 44.
- Über feuerfeste Mörtel. Transact. Cer. Soc. (Engl.) Bd. 21, S. 107—116. 1921/22. Gas-Journal 1921, Nr. 155, S. 157—160. Referat: Tonindustrie-Zeitung 1922, S. 400.
- Brandau*, Kapselscherben und Schamotte. Tonindustrie-Zeitung 1921, S. 95 und 164 bis 165.
- **Briedl*, Silikasteine in Martinofengewölben. Comt. rend. 1918, Nr. 19, S. 776—778 nach Iron Age 1918, S. 270—272.
- Bronn, I.*, Der elektrische Ofen im Dienste der keramischen Gewerbe. Verl. W.-Knapp, Halle 1910.
- **Brown*, Ein Verfahren zur Prüfung der zerstörenden Wirkung von Schlacken auf feuerfeste Steine. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 18, S. 277—281. 1916.
- Die relative Wärmeleitfähigkeit von quarz- und tonhaltigen feuerfesten Erzeugnissen. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 16, S. 382—385. 1914.
- Über Belastungsproben an Magnesit-, Chromit- und Silikasteinen. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 14, S. 391—393. 1912. Vgl. Tonindustrie-Zeitung 1913, Heft 4, S. 44.
- Bulnheim*, Zerstörung von Schornsteinmauerwerk. Tonindustrie-Zeitung, Heft 77, 4. Juli 1922, S. 730. Referat: Feuerungstechnik 1922/23, Heft 13, S. 149.
- Bussmann*, Feuerfeste Steine für Hochleistungskessel. Mitt. der Vereinigung der El.-Werke 1923, Nr. 346/7, S. 345—352.
- Canaris*, Über Neuerungen an Kammersteinen. Bericht Nr. 4 der Stahlwerkskommission. Verlag des Ver. deutsch. Eisenhüttenleute.
- Über die Prüfung feuerfester Materialien. Bericht über die 34. ord. Hauptvers. des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1914, S. 66. Referat: Feuerungstechnik 1913/14, Heft 13, S. 222.
- **Clark* und *Forsyth*, Die Behandlung, Aufbewahrung und das Einsetzen der Glashäfen. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 5, S. 157—160. 1922.
- **Change*, Einige kritische Bemerkungen eines Herstellers feuerfester Steine. Ir. Coal Tr. Rev., 23. Mai 1919, S. 684.
- Le Chatelier*, Kieselsäure und Silikate. Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig 1920: hierin im Nachtrag auch die Übersetzung der Aufsätze: „Über den Cristobalit“ (Rev. Univ. de Mines 1912, Bd. I, S. 198) und „Über die Feuerbeständigkeit der Kieselsäure“ Comptes rend. 164. 764, 1917.
- Industrielle Heizung. Akademische Verlagsgesellschaft Leipzig 1923.

- **Le Chatelier* und *Bogitch*, Feuerfeste Eigenschaften der tonerdehaltigen Produkte. Compt. rend. Bd. 169, S. 495—499. 1919. Referate: La Céramique 1920, Nr. 389, S. 132; Phys. Berichte 1920, Heft 5, S. 277.
- *— und *Bogitch*, Die feuerfesten Eigenschaften der Silikasteine. Engineering, 12. Okt. 1917, S. 396; Echo de Mines, 19. Aug. 1917, S. 471.
- *— und *Bogitch*, Über einige Apparate zur Prüfung von Silikasteinen. Rev. Met., Nov.—Dez. 1918, S. 511—531.
- und *Bogitch*, Über die Wirkung von Eisenoxyd auf Silikaziegel. Tonindustrie-Zeitung 1. Febr. 1919, S. 75—76.
- und *Bogitch*, Die Herstellung der Silikasteine. Compt. rend., 26. Nov. 1917, S. 742 bis 748; Ir. Coal Tr. Rev., 4. Okt. 1918, S. 376—377.
- Clement* und *Egy*, Messung der Wärmeleitfähigkeit von feuerfestem Material. Met. and Chem. Eng. 1910, S. 414—416; Journ. Soc. Chem. Ind. 1910, S. 952. Vgl. auch Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. 1911, S. 163.
- Coggeshall* und *Bleininger*, Ein einfacher Kohlengrießwiderstandsofen. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 10, S. 54—60. 1908.
- Cornelius*, Feuerfeste Steine. Tonindustrie-Zeitung, Heft 19, 13. Febr. 1917, S. 120.
- Cramer*, Über Druckfestigkeit von Schamotten. Bericht über die 27. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1907, S. 87.
- Über Druckfestigkeiten feuerfester Ziegel. Bericht über die 28. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1908, S. 73.
- I. Mitteilungen über feuerfeste Tone und Quarzite. II. Über Festlegung des Begriffes „feuerfest“. Bericht über die 21. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1901, S. 68.
- Über die Einwirkung des Kalkes auf feuerfeste Materialien. Bericht über die 21. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1901, S. 94.
- 1. Über feuerfeste Tone und Quarzite. 2. Über Pyrometer. Bericht über die 22. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1902, S. 54. (Über Pyrometer vgl. auch Ber. über die 25. Vers., S. 58.)
- Sind die Schamottmassen mit höherem Gehalt an Bindeton stets die dichteren? Bericht über die 25. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1905, S. 54.
- **Croft*, Refractories in the Iron and Steel Industry. Ir. Tr. Rev., Heft 26, 28. Dez. 1913, S. 1138—1140.
- Cronquist*, Über Struktur und Porosität feuerfester Steine. Vortrag, gehalten im Februar 1903 im Technischen Verein Helsingborg.
- Cronshaw*, Verschlechterung des feuerfesten Materials. Ir. Age, 9. Nov. 1916, S. 1056 bis 1059; Ir. Tr. Rev., 17. Mai 1917, S. 1086—1088.
- Czakó*, Wärmeleitfähigkeit und spezifische Wärme feuerfester Ofenbaumaterialien, als Unterlagen wärmetechnischer Berechnungen. Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. 1919, Heft 21, S. 274.
- Damour*, Action de la Chaleur et de Fumées de Fours sur les Briques Silico-Calcaires. Rev. Met., Heft 2, Februar 1914, S. 203—210.
- Dana*, Schmelzpunktbestimmung von feuerfestem Material. Bull. Amer. Inst. Min. Met. Eng., September 1919, S. 1571—1587.
- Davis*, Richtlinien für die Anforderungen an feuerfeste Erzeugnisse für die Eisen- und Stahlindustrie. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 1183—1188. 1923.
- Donald*, Feuerfeste Stoffe. Journ. West of Scotland Iron and Steel Institute 1917, S. 121 bis 167. Referat: Stahl und Eisen 1920, Heft 13, S. 444.
- Dougall*, *Hodsmann* und *Cobb*, Über die Wärmeleitfähigkeit feuerfester Steine. Ir. Coal Tr. Rev., 25. Juni 1915, S. 889. Vgl. Stahl und Eisen, 3. Aug. 1916, S. 754—756.
- **Mc Dowell*, Feuerfeste Stoffe in der Eisen- und Stahlindustrie. Blast Furnace 1923, Nr. 10, S. 525—529; Nr. 11, S. 569—574.
- Eine Studie über Silikasteine. Ir. Tr. Rev., 26. April 1917, S. 932—937; 3. Mai, S. 987 bis 989; vgl. ferner Transact. Amer. Inst. Min. Eng., November 1916, S. 1999—2055.

- Dralle, R.*, Die Glasfabrikation. Bd. II, S. 701—731. Verl. Oldenbourg, München 1911.
- **Drouot*, Die feuerfesten Stoffe. Techn. Moderne 1923, Heft 1—6.
- Dümmler*, Das Brennen der Ziegelsteine. Verl. Knapp, Halle 1919.
- **Dupuy*, Über die mechanischen Eigenschaften feuerfester Stoffe bei hohen Temperaturen. Revue Met., Nov. 1922, S. 672—675; Stahl und Eisen 1923, S. 952. Vgl. auch Ker. Rundschau 1923, S. 356.
- **Edwards*, Feuerfeste Stoffe für die Stahlindustrie. Blast Furnace 1923, Nr. 1, S. 100 bis 102.
- Endell, K.*, Über Silikaquarzite. Stahl und Eisen 1913, Heft 43, S. 1770; Silikatzeitschrift 1914, S. 15.
- Über die Konstitution der Dinassteine. Stahl und Eisen 1912, Heft 10, S. 392; Bericht über die 32. ord. Hauptversammlung der Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1912, S. 68.
- Feuerfeste Materialien in der Zementindustrie. Zementverlag, Charlottenburg 1919. Sonderabdruck aus der Zeitschrift „Zement“ 1919, Nr. 24.
- A comparative Study of american and german quartzites as raw materials for the silica brick industry. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 4, Nr. 12. Dezember 1924.
- Über die Herstellung von Silikasteinen aus Felsquarziten in England, Schweden und Italien. Bericht 79 des Stahlwerksausschusses des Ver. der Eisenhüttenleute. Düsseldorf 1924.
- Über den gegenwärtigen Stand der feuerfesten Industrie in Nordamerika. Stahl und Eisen 1923, Heft 11. Mit Diskussion.
- Über den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse von der Konstitution feuerfester Baustoffe. Zeitschr. f. angew. Chem. 1920, S. 356.
- Über die Erfahrungen mit feuerfesten Baustoffen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Brennstoff- und Wärmewirtschaft Bd. 5, Heft 7. 1923.
- Über einige feuerfeste Spezialmassen für chemische und metallurgische Zwecke. Chemiker-Zeitung 1915, Heft 67/68, S. 421.
- The testing of silica brick. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 5, Nr. 4. 1922.
- Über das Verhalten feuerfester Steine unter Belastung bei hohen Temperaturen. Stahl und Eisen 1920, Heft 1. Vgl. auch Berichte der Deutschen Keram. Gesellschaft Bd. 2, Heft 3.
- Über die Haltbarkeit feuerfester Baustoffe in der Glasindustrie. Sprechsaal 1924, Heft 27. Dasselbst ausführliche Literaturangaben.
- Welche Anforderungen werden heute an feuerfeste Baustoffe in der Zementindustrie gestellt. Vortrag. Zement 1924, Heft 21, S. 2303.
- und *Steger*, Neuzeitliche Prüfung von Zinkmuffeltonen und Zinkmuffeln. Metall und Erz 1923, S. 321—333.
- Enzenauer*, Die Kokereianlagen der rheinischen Stahlwerke A.-G. in Duisburg und die Verwendung von Silikasteinen für Koksöfen. Stahl und Eisen 1920, Heft 40, S. 1326 bis 1334. Vgl. auch Bericht Nr. 14 der Stahlwerkskommission. Verl. des Ver. deutsch. Eisenhüttenleute.
- Evers*, Schamotte und feuerfest. Tonindustrie-Zeitung, Heft 6, 13. Januar 1916, S. 26.
- **Fergusson*, Entwicklung besserer feuerfester Stoffe. Ir. Coal Tr. Rev. 1923, Nr. 1, S. 65 bis 67.
- Findley*, The Corrosion of Coke Oven Walls. Journ. Soc. Chem. Ind., Heft 2, 31. Jan. 1921, S. 75; Transact. Soc. Chem. Ind., 31. Jan. 1921, S. 7—8.
- Fischer*, Luftrisse in Schamotten. Tonindustrie-Zeitung 1920, Nr. 134, S. 1170—1171; Nr. 144, S. 1247—1248; Nr. 147, S. 1270.
- **Fiske*, Feuerfeste Baustoffe in der Zinkindustrie. Bull. Amer. Inst. of Min. Eng. 1917, Nr. 130, S. 1719.
- Foxwell*, Untersuchungen über feuerfestes Material. Ir. Coal Tr. Rev., 23. Nov. 1917, S. 578.
- *— Einige physikalische Eigenschaften von saurem, feuerfestem Material und Verfahren zur Bestimmung derselben. Ir. Coal Tr. Rev., 12. April 1918, S. 398—399.

- Fuchs*, Analysen rheinischer Tone mit besonderer Berücksichtigung der Flußmittel. Bericht über die 30. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte. Berlin 1910, S. 63; Stahl und Eisen 1910, S. 1249.
- Fulton*, Laboratoriumsöfen. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 16, S. 386—391. 1914.
- und *Motgomery*, Der Einfluß von gebranntem Ton (Schamotte) auf eine feuerfeste Tonmasse. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 17, S. 409—420. 1915.
- Gary*, Prüfung erhitzter Schamottesteine auf Druckfestigkeit. Sonderabdruck aus Mitteilungen aus dem königl. Materialprüfungsamt zu Groß-Lichterfelde 1910, Heft 1.
- Die Prüfung feuerfester Steine. Feuerungstechnik Jg. 2, Heft 11 und 12. 1913/14.
- Über die Prüfung feuerfester Steine nach den Vorschriften der kaiserlichen Marine, insbesondere auf Raumbeständigkeit in der Hitze. Mitteil. über Forschungsarbeiten auf dem Geb. d. Ingenieurwesens, Heft 116.
- Mechanische Untersuchungen der keramischen Fertigprodukte. Sprechsaal 1923, S. 429—433.
- Mc Gee*, Mörtel für Silikasteine. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 896—903. 1923. Referat: Tonindustrie-Zeitung 1923, S. 608.
- Vergleich der Bruchgrenze von Silikasteinen in kaltem und erhitztem Zustande. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 5, Nr. 12, S. 888—900. 1922.
- Geiger*, Über die Verwendung von Kohlenstoffsteinen im Hochofenbetrieb. Stahl und Eisen 1922, Heft 41.
- Eisen- und Stahlgießerei. Verl. Springer, Berlin 1911. Bd. I, S. 405—424.
- Geipert*, Vertikalretorten mit 3000 Tagen. Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. 1918, Heft 52, S. 613.
- Geller*, Bericht über die Fortschritte in der Beurteilung feuerfester Produkte. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 1098—1112. 1923. Vgl. auch Ker. Rundschau 1923, Heft 52, S. 459.
- und *Finn*, Weitere Studien über gegossene Glashäfen. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 865—872. 1923.
- Geyer*, Feuerfestes Futter für Kuppelöfen. Tonindustrie-Zeitung, 4. Dez. 1919, S. 1289 bis 1290.
- Über die Entwicklung der Industrie feuerfester Erzeugnisse im allgemeinen und während des letzten Krieges im besonderen. Ber. d. D. Ker. Gesellsch. Bd. 1, Heft 2, S. 33—45. 1920.
- Gill*, Die Verwendung feuerfester Materials in Gaswerken. Transact. Engl. Cer. Soc. Bd. 22, S. 377—392. 1922/23.
- Gilett*, Metallurgische Anforderungen an feuerfeste Materialien für Öfen zum Schmelzen von Kupferlegierungen. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 596—609. 1923.
- und *Mack*, Das Feuerkleid der elektrischen Messingschmelzöfen. Journ. Amer. Cer. Soc. 1924, Heft 4, S. 288. Vgl. auch den Auszug von *Berend* in Chem. Apparatur Bd. 11, Heft 13 und 14. 1924.
- Gilles*, Untersuchung von Kuppelofensteinen und Ausstampfmassen. Stahl und Eisen 1923, S. 1249.
- und *Mack*, Das Feuerkleid der elektrischen Messingschmelzöfen. Journ. Amer. Cer. Soc. 1924, Heft 4, S. 288. Referat: Chem. Apparatur 1924, Heft 13 und 14.
- Goerens*, Über die Wärmeleitfähigkeit feuerfester Steine. Bericht über die 34. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte. Berlin 1914. S. 92. Referat: Feuerungstechnik 1913/14, S. 204. Vgl. auch *Goerens* und *Gilles*, Ferrum 1914, Heft 1—2; ferner Silikatzeitschrift 1914, S. 60.
- Gorton*, Bemerkungen über Segerkegel. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 2, S. 60—64. 1900. Vgl. ferner die Arbeiten von *Hottinger*, *Geijsbeek*, *Ashley*, *Henderson* und *Sosman* in Bd. 3, S. 180. 1901; Bd. 6, S. 94. 1904; Bd. 8, S. 159. 1906; Bd. 11, S. 619. 1919; Bd. 14, S. 849. 1912; Bd. 15, S. 482. 1914.
- Gosrow*, Feuerfestes Material. Met. Chem. Eng., 1. Okt. 1917, S. 415—417.
- Gr.*, Neue Verfahren zur Bestimmung der Druckfestigkeit und Erweichung feuerfester Ziegel bei hohen Temperaturen. Tonindustrie-Zeitung, Heft 57, 16. Mai 1922, S. 561.

- Grafton*, Die Kunst der Glashafenherstellung. Journ. Amer. Cer. Soc. 1920, Nr. 8, S. 653 bis 662.
- Graham*, Silikasteine aus dem Gewölbe eines basischen Siemens-Martin-Ofens nach 135 Chargen. Ir. Coal Tr. Rev., 6. Dez. 1918, S. 639—640.
- Über die Korrosion von Koksofensteinen. Ir. Coal Tr. Rev., 3. Okt. 1919, S. 441; Journ. of Gaslighting Bd. 148, S. 75. 1919. Referat: Journ. f. Gasbel. 1920, Nr. 14, S. 224.
- Grahn*, Ein neues Verfahren der Koksofenwanddichtung. Glückauf, Heft 45, 10. Nov. 1917, S. 809.
- Granger, A.*, Fabrication et emploi des matériaux et produits réfractaires utilisés dans l'industrie. Ed. Beranger, Paris 1910.
- Granger-Keller*, Die industrielle Keramik. Verl. Springer, Berlin 1908.
- Grant*, Feuerfeste Erzeugnisse für mit Öl geheizte Öfen und Kessel. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 4, S. 390—392. 1921.
- Greaves-Walker*, Die Ausarbeitung eines neuen feuerfesten Produktes. Journ. Soc. Chem. Ind. Bd. 41, S. 13 T. 1922.
- Verfahren zur Herstellung von Silikasteinen mittels Nachpressens. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 13. 1911. Referat: Stahl und Eisen 1912, S. 1503.
- Herstellung von Schmelztiegeln und Muffeln für Versuchszwecke. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 12. Referat: Stahl und Eisen 1912, S. 26—27.
- Konstruktion und Betrieb eines Deville-Ofens für hohe Temperaturen. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 8, S. 301—311. 1906.
- Feuerfeste Stoffe für elektrische Öfen. Chem. and Metall. Engin. 1920, S. 933—936. Referat: Techn. Zeitschriftenschau 1920, Nr. 51/52, Bl. 14, Nr. 10 968.
- Green, A. T.*, Wärmeleitfähigkeit feuerfester Materialien bei hohen Temperaturen. Gas World Bd. 76, S. 554—558. 1922.
- Gregson*, Ganister-lined Converters. Iron Age, Heft 23, 3. Dez. 1914, S. 1292.
- Griffiths*, Kohlerohröfen zur Prüfung feuerfesten Materials. Engineering, 29. Dez. 1916, S. 644—666. Vgl. auch Trans. of the Faraday Soc. Bd. XII (1917) S. 207.
- Grocholl*, Neue patentierte Kupolofenfutter-Ausstampfvorrichtung. Zeitschr. f. d. ges. Gießereipraxis; Eisenzeitung, Heft 39, 24. Sept. 1921, S. 513.
- Gröber*, Wärmeleitfähigkeit von Isolier- und Baustoffen. Mitteil. über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens. Verl. J. Springer, Berlin 1911. Heft 104.
- Grum-Grjmailo*, Die Feuerfestigkeit der Dinassteine. Journal der Russischen Metallurgischen Gesellschaft 1910, Heft 1, S. 1—11. Autoreferat: Stahl und Eisen 1911, Heft 6, S. 222.
- Hancock*, Der Einfluß von Schamotte als Beimischung zu Ton. Transact. Cer. Soc. (Engl.) Bd. 19, Teil II, S. 149—152. 1920. Vgl. auch Ir. Coal Tr. Rev., 7. Mai 1920, S. 643.
- und *King*, Abnutzungsversuch an feuerfesten Erzeugnissen. British Clay-Worker 1923, Nr. 376; Ker. Rundschau 1923, Nr. 43, S. 388.
- Harlow*, Feuerfeste Erzeugnisse für flache Gewölbe. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 1195—1196. 1923.
- O'Harra*, Metallurgische Anforderungen an feuerfeste Materialien in der elektro-chemischen Metallurgie des Zinks. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 1180—1182. 1923.
- und *Derby*, Die Zersetzung feuerfester Steine durch Kohlenoxyd. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 904. 1923.
- und *Derby*, Die Zerstörung feuerfester Steine und Kohlenmonoxyd bei der elektrischen Zinkschmelze. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 904—914. 1923. Referat: Tonindustrie-Zeitung 1923, S. 665.
- Harrington*, Der Wert einheitlicher feuerfester Steine vom Standpunkt des Verbrauchers. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 1193—1195. 1923.
- Hartmann*, Über Koksofensteine. Mit 40 Abbildungen. Druck von Gebr. Böhm, Kattowitz 1920 (?).

- Hartmann*, und *Hougen*, Abspplitterungsverlust feuerfester Ziegel durch Hitze und Wind. *Transact. Amer. Electrochem. Soc.* 1920, S. 349—352. Referat: *Tonindustrie-Zeitung* 1920, Nr. 79, S. 739—740.
- *— und *Hougen*, Physikalische Eigentümlichkeiten von verschiedenen feuerfesten Stoffen. *Transact. Amer. Elektrochem. Soc.* Bd. 37, S. 717—721. 1920.
- , *Sullivan* und *Allen*, Physikalische Kennwerte von feuerfesten Sonderstoffen. *Transact. Amer. Elektrochem. Soc.* Bd. 37, S. 707 und 717; Bd. 38, S. 279—300.
- **Harvey* und *Mc Gee*, Prüfung feuerfester Steine für Koksöfen. *Journ. Amer. Cer. Soc.* Bd. 4, S. 474—492. 1921.
- Haward*, *F. T.*, *Refractories and furnaces.* New York 1912.
- Die neuere Entwicklung der Industrie feuerfester Produkte. *Transact. Amer. Cer. Soc.* Bd. 14, S. 480—488. 1912. Referate: *Sprechsaal* 1913, S. 701—703; *Silikatzeitschrift* 1914, S. 20—21.
- Hecht*, Versuchsschmelzöfen für elektrische Beheizung. *Chemiker-Zeitung*, 16. Dez. 1920, S. 950.
- Prüfmaschine zur Bestimmung des Erweichungsverhaltens unter Belastung bei hohen Temperaturen. *Tonindustrie-Zeitung* 1924, Heft 12, S. 109.
- Über verschiedene im Handel befindliche feuerfeste Stoffe. Berlin 1908, Verl. T. I. Z. Vgl. auch Bericht über die 20. Versammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1900, S. 43.
- Heinecke*, Neuere Öfen der Königl. Porcellan-Manufacture zu Charlottenburg. Verlag der *Tonindustrie-Zeitung*, Berlin.
- Heisel*, Fire Brick for Boiler Settings. *Power*, Heft 26, 29. Juni 1915, S. 883.
- Henneberg*, Geschichte des Vereins deutscher Fabriken feuerfester Produkte aus Veranlassung des 25jährigen Bestehens. *Freienwalde* 1907.
- **Henry*, Feuerfeste Futter für Zement-Drehrohröfen. *Transact. Amer. Cer. Soc.* Bd. 15, S. 728—731. 1913.
- Hepburn*, Ein Versuchsofen für hohe Temperaturen. *Journ. Amer. Cer. Soc.* Bd. 4, S. 755 bis 758. 1921.
- Hermanns*, Über Martinofenköpfe. *Gießerei-Zeitung* 1912, S. 632, 663. Referat: *Feuerungstechnik* 1912/13, S. 169.
- Über feuerfeste Baustoffe. *Zeitschr. f. Dampfkr. u. Masch.*, Heft 43, 26. Okt. 1917, S. 338.
- Heyn*, Untersuchungen über die Wärmeleitfähigkeit feuerfester Baustoffe. *Mitteilungen des Materialprüfungsamtes zu Berlin-Lichterfelde (West)* 1919, Heft 3 und 4, S. 266 bis 270; Heft 5 und 6, S. 335—336 (Jacob). Referat: *Tonindustrie-Zeitung* 1920, Nr. 64, S. 614; Nr. 75, S. 712.
- , *Bauer* und *Wetzel*, Untersuchungen über die Wärmeleitfähigkeit feuerfester Baustoffe. *Mitteil. a. d. Materialprüfungsamt Berlin-Lichterfelde* 1914, Heft 2 und 3, S. 89—198. Referat: *Silikatzeitschrift* 1914, S. 216.
- Hirsch*, Untersuchungen von Quarziten und Silikasteinen. *Tonindustrie-Zeitung* 1923, Heft 52 und 53.
- Feuerung und feuerfestes Futtermaterial. Vortrag im Verein für Feuerungs- und Schornsteinbau. *Tonindustrie-Zeitung* 1923, Heft 19 und 20; *Keram. Rundschau* 1923, Heft 14 und 15.
- Über Flüchtigkeit der Kieselsäure. Bericht über die 28. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1908, S. 68.
- Feststellung des Angriffes verschlackend wirkender Stoffe auf Schamotte. Bericht über die 32. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1912, S. 87. Vgl. *Stahl und Eisen* Jg. 32, Heft 12.
- Über neuere Patente aus der feuerfesten Industrie. Bericht über die 30. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1910, S. 57.
- Grundlagen der feuerfesten Industrie. *Tonindustrie-Zeitung*, Heft 117ff.
- und *Pulfrich*, Zum Erweichungsversuch für feuerfeste Stoffe. *Tonindustrie-Zeitung* 1923, S. 801—806.

- Hodsman* und *Cobb*, Die vorübergehende Temperatúrausdehnung feuerfester Stoffe. Gas-Journal Bd. 151, Nr. 2985, S. 184—187. 1920. Referat: Journ. f. Gasbel. 1920, Nr. 45, S. 728—731 (vgl. auch 1919, S. 274).
- Hoffmann*, Die Kegelschmelzpunkte der Segerkegel. Silikatzeitschrift 1913, S. 136; Sprechsaal 1909, Heft 42.
- Untersuchung der Segerkegel. Bericht über die 31. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1911, S. 53.
- Untersuchung der Segerkegel durch die Kaiserliche Physikalisch-Technische Reichsanstalt. Bericht über die 29. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1909, S. 45.
- Holgate*, Refractory Material in Gas Works. J. Gas Ligthg. Bd. 123, Heft 2617 und 2618, S. 103 und 169. 8. und 15. Juli 1913.
- Holmquist*, Neue Erfahrungen mit Quarz und Quarzziegeln, Teknisk Tidskrift, Abt. Chemie und Bergw., 12. Dez. 1917, S. 79—85.
- Holte*, Über die Verwendung lufttrockener feuerfester Steine im Kupolofenbetrieb. Gießerei-Zeitung 1913, Heft 16—17, S. 536.
- Hornung*, Kieselsäurehaltige Kapselmischungen. Journ. Amer. Cer. Soc. 1920, Nr. 1, S. 69—76. Referat: Tonindustrie-Zeitung 1920, Nr. 79, S. 740.
- Houldsworth* und *Cobb*, Die umkehrbare Wärmeausdehnung feuerfester Materialien. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 645—662. 1923. Vgl. auch Transact. Engl. Cer. Soc. Bd. 21, S. 227—276, 1921—1923. Referat: Keram. Rundschau 1923, S. 423—424, 433—435; Sprechsaal 1923, Nr. 1, S. 1—3.
- Howe, R.*, Die Verwendung feuerfesten Tons zum Vermauern feuerfester Steine. Journ. of Gasl. Bd. 149, Nr. 2962, S. 366ff. 1920.
- Feuerfeste Stoffe für Elektroöfen. Chem. Met. Eng., 22. Dez. 1920, S. 1215—1218.
- *— Discussion on the disintegration of blast furnacel inings. Blast Furnace, Heft 3, März 1922, S. 161.
- *— Feuerfeste Stoffe für Hochöfen und heiß gehende andere Öfen. Blast Furnace 1920, S. 187—192. Referat: Techn. Zeitschriftenschau 1920, Nr. 20/21, Bl. 14, Nr. 7320.
- Einfluß der Schlackentemperatur auf das feuerfeste Material. Ir. Coal Tr. Rev., 5. Dez. 1918, S. 1288—1289; Chem. Met. Eng. 1919, S. 167—168.
- Fortschritte in feuerfesten Baustoffen 1919. Blast Furnace 1920, S. 59—60. Referat: Techn. Zeitschriftenschau 1920, Nr. 28, Bl. 8, Nr. 8191.
- Analyzing Mortar for Firebrick. Foundry, Heft 352, 1. Aug. 1920, S. 593; Chem. Met. Eng., 11. Aug. 1920, S. 232—234. Referat: Stahl und Eisen 1921, I, S. 627.
- Bemerkungen über das feuerfeste Material in Süd-Wales. Ir. Coal Tr. Rev., 1. Nov. 1919, S. 496—497.
- *— und *Ferguson*, Über das Absplittern feuerfester Steine bei schnellem Temperaturwechsel. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 32—46. 1921.
- und *Kerr*, Der Einfluß der Mahlung und des Brennens auf die Eigenschaften der Silikasteine. Journ. Amer. Cer. Soc., April 1922, S. 164—169.
- *— und *Phelps*, Wärmedurchlässigkeit von Feuerungsmauerwerk. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 5, S. 420—429. 1922. Referat: Tonindustrie-Zeitung 1922, S. 1196.
- *— und *Phelps*, Die Verwendung von Schamotte aus plastischem Ton zur Verhütung des Absplitterns bei schnellem Temperaturwechsel. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 4, S. 119 bis 126. 1921.
- , *Phelps* und *Ferguson*, Die Einwirkung von Schlacken auf feuerfeste Materialien aus Silika, Magnesit, Chromit, Diaspor und Ton. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 589 bis 595. 1923.
- *—, *Phelps* und *Ferguson*, Einfluß der Witterung auf die Festigkeit feuerfester Steine. Journ. Amer. Cer. Soc., Februar 1922, S. 107—111.
- *— und *Sheppard*, Untersuchung feuerfester Steine aus Mischungen von Graniten, Flint Clay und plastischem Ton, besonders in bezug auf Absplittern. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 4, S. 206—212. 1921.

- Hull*, Feuerfeste Stoffe in Hüttenwerken. Bericht in der Jahresversammlung des Amer. Iron and Steel Inst. in New York im November 1921. Stahl und Eisen 1923, S. 696 bis 699.
- Wärmeleitfähigkeit feuerfester Stoffe. Chem. Met. Eng., 13. Sept. 1922, S. 538—540; Stahl und Eisen 1923, S. 850.
- Jachontoff*, Quarzewyi ogneporny kirpitsch „dinas“. Techn.-Ekon. Wjestnik 1922, Heft 4/5, S. 541—549.
- Jacob, C.*, Die Bezeichnung feuerfester Baustoffe. Bericht über die 39. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1919, S. 64. Vgl. auch Tonindustrie-Zeitung 1919, Heft 66, S. 566.
- Die Bedeutung der feuerfesten Industrie im Wirtschaftsleben. Tonindustrie-Zeitung 1922, Hefte 97, 98 ff.
- Jacob, M.*, Über einige neue praktische Verfahren zur Messung des Wärmeleitvermögens von Bau- und Isolierstoffen. Z. V. d. I. 1919, S. 69—74, 118—122. Hierzu eine Erwiderung von *Heyn* in der Z. V. d. I. 1919, S. 1042—1048.
- Gefüge und Wärmeleitvermögen feuerfester Steine. Z. V. d. I. Bd. 67, S. 126—127. 1923.
- Jacob, Heyn*, Untersuchungen über die Wärmeleitfähigkeit feuerfester Baustoffe. Z. V. d. I. 1919, S. 1042—1048. Referat: Physik. Berichte 1920, Heft 1, S. 61.
- Janitz*, Ausbesserung feuerfester und säurefester Formsteine. Tonindustrie-Zeitung, Heft 13, 30. Jan. 1917, S. 80. Vgl. Feuerungstechnik 1916/17, S. 254.
- Janke*, Ausbesserung von Rissen in Brennöfen. Keram. Rundschau, Heft 18, 3. Mai 1917, S. 114.
- **Innemann, Karl*, Die Hafen- und Schamotteziegelfabrikation (Buch).
- Jochum*, Die Anforderungen der Hüttenindustrie an die Fabrikation feuerfester Produkte und unsere Edeltone. Bericht über die 23. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1903, S. 44.
- Die Grenzen der Feuerbeständigkeit in der Fabrikation feuerfester Steine. Verl. T. I. Z., Berlin 1904.
- Die chemische Analyse als Maßstab der Feuerbeständigkeit. Verl. T. I. Z., Berlin 1903.
- Jons, C.*, Eigenschaften des in der Eisen- und Stahlindustrie verwendeten feuerfesten Materials. Engineering, 4. Mai 1917, S. 439—440.
- **Johns*, Vereinheitlichung der Proben für feuerfestes Material. Engineering, 8. Nov. 1918, S. 540—542; Ir. Coal Tr. Rev., 27. Sept. 1918, S. 346—347.
- **Jonson*, Feuerfeste Baustoffe in der Zinkindustrie. Met. Chem. Eng. Bd. 16, S. 475. 1917.
- Irresberger*, Kuppelofen-Betrieb. Werkstattbücher, Heft 10, Verl. Springer, Berlin 1922. S. 1—7.
- **Jung*, Die Brüchigkeit von Silikasteinen. Chem. Met. Eng., 1. Febr. 1922, S. 214—217.
- Juretzka*, Zinkdestilliergefäße. Metall u. Erz 1912, Heft 3; Referat: Feuerungstechnik 1912/13, Heft 13, S. 236.
- Die Herstellung hochfeuerfester Hohlkörper (Muffeln usw.) der Hüttenindustrie. Feuerungstechnik Jg. 3, Heft 9—10. 1914/15.
- Kanolt*, Schmelzpunkte feuerfester Steine. Technologic Papers of the Bureau of Standards, Washington, 1912, Nr. 10, S. 1—17. Referat: Silikatzeitschrift 1913, S. 140; Stahl und Eisen 1913, S. 164; Journ. f. Gasbel. 1913, S. 847.
- Feuerfeste Materialien und Messung hoher Temperaturen. Journ. of the Franklin Inst. Bd. 188, S. 489—505. 1919. Vgl. auch Foundry Tr. II., 12. Sept. 1912, S. 543.
- Kämpfer*, Geeignete feuerfeste Ziegel. Tonindustrie-Zeitung, Heft 95, 12. Aug. 1916, S. 536.
- Keller, R.*, Fabrikation und Anwendung feuerfester Ziegel. 2. Aufl. Verl. T. I. Z., Berlin 1906.
- Kelley*, Selecting Refractories for the Foundry. Iron Age, Heft 17, 22. Okt. 1914.
- Kerl, B.*, Handbuch der gesamten Tonwarenindustrie. 3. Aufl. Verl. Vieweg & Sohn, Braunschweig 1907.

- Keppeler und Neuss*, Die Bedeutung der feuerfesten Industrie im Wirtschaftsleben. Herausgegeben vom Bund deutscher Fabriken feuerfester Erzeugnisse. Berlin 1920.
- K. G. und Ch.-Z.*, Die Behandlung feuerfesten Mauerwerks und feuerfester Steine. Allg. Tonindustrie-Zeitung, Heft 33, 13. Aug. 1922, S. 2.
- Kindler*, Über Kohlenstoffausscheidung in Hochofensteinen. Stahl und Eisen 1912, Heft 6.
- Kirkpatrick*, Die mechanische Festigkeit von feuerfesten Tonmassen nach wiederholtem Brennen. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 18, S. 545—556. 1916.
- Einfluß der Korngröße von Schamotte in feuerfesten Massen. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 19, S. 268. 1917.
- **Klein und Ramsdell*, Unterschiede in der Erhitzung von Silikasteinen im Gewölbe eines Tunnelofens. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 4, S. 805—811. 1921.
- Klinger*, Feuerfester Mörtel. Tonindustrie-Zeitung 1920, Nr. 2, 10, 15.
- **Knollman*, Feuerfeste Materialien unter Belastung. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 4, S. 759. bis 770. 1921.
- Knote*, Über die spezifische Wärme des Tons. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 14, S. 394 bis 398. 1912; Silikatzeitschrift 1914, S. 14.
- Körting*, Haltbarkeit von Vertikalretorten. Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. 1913, S. 676.
- Kopp*, Schamottfutter der Brennöfen. Tonindustrie-Zeitung, Heft 94, 11. Aug. 1917, S. 632.
- Krueger*, Über feuerfeste Brennstoffe, insbesondere Silikasteine. (Sammelreferat über Arbeiten amerikanischer Forscher. Mit zahlreichen Literaturangaben.) Stahl und Eisen 1918, S. 1201—1210.
- Kubach*, Das Verhalten der Zwickauer Kohle bei der Destillationskokerei. Brennstoffchemie Bd. 2, Heft 19.
- L.*, Feuerfeste Formsteine. Allg. Tonindustrie-Zeitung 1923, Heft 12, S. 289.
- Lange*, Über Silikasteine für Martinöfen. Stahl und Eisen 1912, Heft 42, S. 1729. Referat: Feuerungstechnik 1912/13, S. 170; Silikatzeitschrift 1913, S. 59.
- Liebau*, Schamotttemörtel¹ mit Wasserglaszusatz. Tonindustrie-Zeitung, 19. Dez. 1916, S. 855—856; 1917, Heft 37, S. 245.
- Liebig*, Zink und Cadmium und ihre Gewinnung aus Erzen und Nebenprodukten. Verl. Spamer, Leipzig 1913. S. 324—373.
- Linbarger und Geiger*, Bruchfestigkeitsprüfung in hohen Temperaturen für Kapselmassen. Journ. Amer. Cer. Soc. 1920, Nr. 7, S. 543—555.
- Litinsky, L.*, Feuerfeste Stoffe für Kammern der Kohlendestillationsöfen. Im Druck in den Zeitschriften: Feuerfest und Brennstoff- und Wärmewirtschaft 1925.
- Kokerei- und Gaswerksöfen. Verl. W. Knapp, Halle. 1925. Abschnitt über feuerfestes Material.
- Über feuerfeste Stoffe für Dampfkesselfeuerungen. Feuerungstechnik XIII (1924/25), Heft 7; Allgem. Glas- und Keramind. 1924, Heft 8—10.
- Loeser*, Die Mängelrüge bei Schamottesteinen. Feuerungstechnik 1912/13, S. 144.
- Kalkhaltige Tone, ihre Eigenschaften, Verhalten und Färbungen im Feuer. Verl. Nebert, Halle 1906.
- Über Schmelzerscheinungen des Segerkegels. Berichte über die 27. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1907, S. 63.
- Lovejoy*, Ofen zur Untersuchung feuerfester belasteter Stoffe bei höheren Temperaturen. Chem. Met. Eng. 1920, S. 109—110. Referat: Chem. Zentralblatt 1921, II, S. 67.
- **Loomis*, Physikalische Fehler in Wannensteinen. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 5, S. 102 bis 106. 1922.
- Einwirkung hoher Temperaturen auf Wasseraufnahmefähigkeit und Raumgewicht von Schamottesteinen. Technologic Papers of the Bureau of Standards, 26. April 1920, Nr. 159, S. 1—24. Referat: Stahl und Eisen 1921, I, S. 517.
- Ludwig*, Schmelzbarkeitsprüfung. Berichte über die 26. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1906, S. 41.

- Ludwig*, Über Beziehungen zwischen der Schmelzbarkeit und der chemischen Zusammensetzung der Tone. Tonindustrie-Zeitung 1904, Nr. 63; Bericht über die 24. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1904, S. 47.
- Lux*, Über die Möglichkeit der Herstellung erstklassiger Silikasteine aus Felsquarziten. Stahl und Eisen 1921, Nr. 8. Vgl. dazu auch *Artzinger* in Stahl und Eisen 1921, S. 792.
- Maksimenko* und *Subtschaninoff*, Issledowanije laboratornich kryptolowich petschei. Techniko-Ekonomitscheskij Wjestnik 1922, Nr. 4—5, S. 544—548.
- Malinowsky*, Das Malinitverfahren zur Herstellung feuerfester Sillimanitwaren. Journ. Amer. Cer. Soc. 1920, Nr. 1, S. 40—68. Referat: Tonindustrie-Zeitung 1920, Nr. 114, S. 1003. Vgl. auch *Transact. Cer. Soc. (Engl.)* Bd. 19, II, S. 140—148. 1920.
- Marshal*, Wärmeleitfähigkeit der Silikasteine und Tonziegel. Met. Chem. Eng. 1914, S. 74. Referat: Silikatzeitschrift 1914, S. 218.
- Mehner*, Die Wärmeleitung der Ofenbausteine. Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. 1908, S. 49; Chemiker-Zeitung 1907, Nr. 99, S. 1230.
- Mellor*, Neuere Fortschritte in der Herstellung feuerfesten Materials. Ir. Coal Tr. Rev., 4. April 1919, S. 410.
- Wirkung von Flugasche auf feuerfeste Steine. *Transact. Cer. Soc. (Engl.)* Bd. 13, Teil I, S. 12. 1913/14. Referate; Sprechsaal 1914, Nr. 30; Silikat-Zeitschrift 1914, S. 180.
- Über feuerfeste Materialien aus Ton. The Pottery Gazette, 1. Nov. 1912, S. 1209. Referat: Sprechsaal 1913, Heft 4, S. 51; vgl. auch Silikatzeitschrift 1913, S. 42.
- Englische Normen zur Prüfung feuerfester Steine. Bericht über die Normen des Refractory Materials Committee of the Institution of Gas Engineers. *Transact. Inst. of Gas Eng.* 1917/18. Referat: *Keram. Rundschau* 1922, S. 527—528.
- Refractory Materials in Gas-Works. Journ. of Gaslight, Heft 2652, 10. März 1914, S. 647—650.
- Refractory Materials and Temperature Tests. Journ. of Gaslight. Bd. 123, Heft 2621, S. 368—370. 5. Aug. 1913.
- Einwirkung von Flugstaub auf feuerfeste Materialien. Gas-Journal, London, 19. Nov. 1918, Nr. 2897, S. 421—423. Vgl. Stahl und Eisen 1919, S. 478—479.
- *— Prüfung des feuerfesten Materials. Engineering, 12. Okt. 1917, S. 382—383.
- Mellor* und *Emery*, Einfluß des Druckes auf die Widerstandsfähigkeit feuerfester Steine. Ir. Coal Tr. Rev., 14. Juni 1918, S. 665; The Gas World, 8. Juni 1918, S. 387.
- Merlov*, Über feuerfeste Materialien. Soc. Chem. Ind. 1919, S. 140, 180. Referat: La Céramique 1920, Nr. 384, S. 30.
- Mettler*, Der Einfluß der Alkalien auf die Ofenwandung in Gaswerken. Wasser und Gas 1911, Nr. 12.
- Middleton*, Silikasteine für Koksöfen. *Transact. Cer. Soc. (Engl.)* Bd. 22, S. 169—198. 1922/23. Referat: *Keram. Rundschau* 1923, S. 42.
- Minton*, Die Herstellung feuerfester Erzeugnisse für die Glasindustrie. *Transact. Amer. Cer. Soc.* Bd. 8, S. 353—363. 1906.
- Montgomery*, Ofen zur Prüfung des feuerfesten Materials unter Belastung und hoher Temperatur. Met. Chem. Eng., 1. Jan. 1918, S. 47—48.
- Die Verwendung feuerfester Massen zu Pyrometerrohren. *Transact. Amer. Cer. Soc.* 1913, S. 606—619. Referat: Sprechsaal, 15. Mai 1919, S. 160—162.
- A Furnace for Testing Refractory Materials Under Load at High Temperatures. Met. Chem. Eng. Bd. 18, Nr. 1, S. 18. 1918.
- und *Fulton*, Einfluß verschiedener Wassergehalte in einer Ton-Schamotte-Mischung. *Transact. Amer. Cer. Soc.* Bd. 17, S. 436—449. 1915.
- **Moore*, Kapseln mit Karborundum und Quarz. Sprechsaal 1921, S. 21.
- Moulton*, Über feuerfeste Steine für Transportgefäße flüssigen Metalls. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 5, S. 823—825. 1922.
- Bemerkung über feuerfeste Masse zum Ausfüttern. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 5, S. 823—825. 1922.

- Munn*, Ein elektrischer Kokswiderstandsofen für Laboratoriumszwecke zur Erzielung hoher Temperaturen. Chem. Met. Eng. Bd. 23, S. 345. 1920. Referat: Techn. Zeitschriftenschau 1920, Heft 44, Bl. 4, Nr. 9951.
- Mühlhaeuser, O.*, Über den Zinkgehalt der Räumasche und dessen Bedeutung für die Muffelhaltbarkeit. Metall und Erz 1918, Heft 15.
- Einfluß des Druckes auf die Durchlässigkeit der Zinkmuffel. Über den Einfluß der in den Zinkmuffeln herrschenden Spannung auf das Metallausbringen. Bestimmung der aus Zinkmuffeln entweichenden Gasmengen. Metall und Erz 1919, S. 323—326, 363—373; 1920, S. 415—420.
- Die Glasur der Zinkmuffeln. Metall und Erz 1918, S. 393—395.
- Über die Durchlässigkeit der Zinkmuffeln. Metall und Erz 1919, Hefte 9 und 10.
- Über feuerfeste Andenne-Tone. Untersuchungsergebnisse dieses zur Herstellung von Zinkmuffeln vielfach verwendeten belgischen Tones. Zeitschr. f. angew. Chem. (Aufsatzteil), 14. Jan. 1919, S. 14—16.
- Münzinger*, Kohlenstaubfeuerungen für ortsfeste Dampfkesselfeuerungen. Verl. Springer, Berlin 1921. S. 67—77.
- Feuerfeste Geräte. Technik und Industrie 1922, S. 40—41.
- Muspratt*, Enzyklopedie der technischen Chemie.
- Najarian*, Ölgefeuerter Laboratoriumsofen für hohe Temperaturen. Engin. a. Mining Journ. 1920, S. 1413.
- Navratiel*, Über die Abhängigkeit der Erweichungstemperaturen von Schamottematerialien unter Belastung von der Korngröße der verwendeten Schamotte. Ber. d. Deutsch. Ker. Ges. Bd. 4, Heft 5—6, S. 192. 1923/24.
- Nesbitt und Bell*, Verhütbare Fehler in feuerfesten Steinen. Proc. Am. Soc. Testing Mater. 1919, II, S. 619—639. Vgl. auch Stahl und Eisen 1919, S. 885.
- Die Notwendigkeit der Untersuchung und Prüfung von feuerfesten Steinen. Proc. Am. Soc. Testing. Mater. 1918, II, S. 336—349.
- How to conduct fire brick tests? Ir. Coal Tr. Rev., Heft 2, 13. Juli 1916, S. 71; vgl. Stahl und Eisen, 1917, 4. Jan. S. 15—17.
- Prüfung der feuerfesten Steine. Iron Age, 13. Juli 1916, S. 84—85; Ir. Coal Tr. Rev., 25. Aug. 1916, S. 225. Ferner: Ir. Coal Tr. Rev., 18. Okt. 1918, S. 465.
- Über den Zerfall der Hochofensteine. Iron Trade Review, Heft 22, vol. 72, 1923, S. 1603; Referat: Feuerungstechnik XIII (1924/25) Heft 3.
- North*, Über die Vermeidung der Ausstrahlungsverluste bei Drehrohröfen. Bericht über die 34. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1914, S. 162.
- Office*, Laboratoriumsofen (gasbeheizter) zur Bestimmung der Deformationstemperatur von feuerfesten Stoffen. Chem. Met. Eng., 27. Juli 1921, S. 162.
- Ogann*, Ursache der ständigen Ausdehnung feuerfester Steine. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 13, S. 602—612. 1911. Referate: Keram. Zentralblatt 1912, S. 41; Sprechsaal 1912, S. 322; T. I. Z. 1912, S. 775; Stahl und Eisen 1912, S. 1504.
- **Orton und Henderson*, Prüfung von Schmelzriegeln, nebst Bemerkungen über die zu ihrer Herstellung verwandten Tone. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 10, S. 484—525. 1908.
- Osann*, Lehrbuch der Eisen- und Stahlgießerei. Verl. Engelmann, Leipzig 1922. S. 10 und 106—109.
- Lehrbuch der Eisenhüttenkunde. Verl. Engelmann, Leipzig. Bd. I, S. 221—237 und 362—363. 1923; Bd. II, S. 331—342. 1921.
- Amerikanische Ofenkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung ihres Mauerwerks. Bericht über die 25. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1905, S. 30.
- Zerstörende Einflüsse auf feuerfestes Mauerwerk im Eisenhüttenbetrieb. Tonindustrie-Zeitung 1903.
- Gichtstaub als Ursache der Schachtzerstörung im Hochofen. Ber. über die 26. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1906, S. 33. (Vgl. auch Bericht über 27. Vers., S. 84.)

- Osann*, Einwirkung zerstörender Einflüsse auf feuerfestes Mauerwerk im Eisenhüttenbetriebe. Bericht über die 23. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1903, S. 66.
- Ergebnisse von Versuchen behufs Feststellung des Wärmeleitungsvermögens feuerfester Steine in Winderhitzern. Bericht über die 29. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1909, S. 14.
- Paravano und Roselli del Turco*, Der Einfluß einiger Flußmittel auf die Umwandlung des Quarzes. Gazz. chim. ital. 1923, S. 249—257.
- Parker*, Verhalten feuerfester Steine unter Belastung. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 7, S. 185—197, 448—452. 1905.
- Parmelee*, Die feuerfesten Stoffe von Illinois. Journ. Amer. Cer. Soc., Oktober 1922, S. 685—692.
- Patterson, H.*, Die Prüfung feuerfester Steine. Stahl und Eisen, 2. Nov. 1916, S. 1070 bis 1071.
- Pearson Perry*, Recent Developments in the Manufacture of Refractory Goods from Fire-Clay. J. Gas Lighthg., 26. Nov. 1912, S. 662—666.
- Perdrizet*, Conseils pratiques concernant l'établissement des voûtes réfractaires. Chaleur et Industrie, März 1920, S. 33—38.
- **Philippon*, Bericht über Versuche mit Silikasteinen. Rev. Met., Nov./Dez. 1918, S. 488 bis 509.
- Die Herstellung der Silikasteine. Compt. rend, 17. Dez. 1917, S. 1002—1005.
- Pike*, Mangel an wirklich feuerfesten Wärmeisolatoren. Journ. Amer. Cer. Soc., Aug. 1922, S. 554—563.
- Plank, A.*, Petrographische Studien über tertiäre Sandsteine und Quarzite, speziell über die Sandsteine von Münzenberg in der Wetterau. Bericht der Oberhessischen Gesellschaft für Natur- und Heilkunde zu Gießen, Bd. 4, S. 5—43. Sept. 1910.
- Poensgen*, Ein technisches Verfahren zur Ermittlung der Wärmeleitung plattenförmiger Stoffe. Z. V. d. I., 12. Okt. 1912, Nr. 41, S. 1653.
- Pretsch, J.*, Erfahrungen mit Silikamaterial beim Kammerofenbetrieb in Gaswerken. Gas- und Wasserfach 1924, Heft 25.
- Proske*, Über die Einwirkung von Schlacken und Dämpfen auf die Muffelmassen des Zinkhüttenbetriebes. Metall und Erz 1914, Hefte 10, 11, 12, 15. Referate: Feuerungstechnik 1915/16, Heft 6, S. 73; Silikazeitschrift 1914, S. 214.
- Pulfrich*, Bemerkenswerte Zerstörungsursache einer Koksofen-Kammerwand. Tonindustrie-Zeitung 1923, Heft 35, S. 271.
- Pyne*, Metallurgische Anforderungen an feuerfeste Materialien zum Schmelzen und Raffinieren von Kupfer. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 1188—1190. 1923.
- Quasebart*, Herstellung und Untersuchung feuerfester Baustoffe. Sammelreferat über Arbeiten von *Foxwell, Mellor, Maxwell, Le Chatelier, Bogitch* und *Montgomery*. Stahl und Eisen 1919, S. 575—576.
- Rebuffat*, Die Umwandlung des Quarzes in Tridymit. Tonindustrie-Zeitung 1921, S. 1127 bis 1128.
- Dinassteine mit gleichbleibendem Volumen. Ir. Coal Tr. Rev., 20. Mai 1921, S. 695. Referat: Ber. Dtsch. Ker. Ges. 1922, Heft 1, S. 42; Stahl und Eisen 1922, Heft 22, S. 857.
- Rees*, Dauerhaftigkeit feuerfester Stoffe. Met. Ind. 1923, Nr. 19, S. 414—415.
- Amerikanische Arbeitsverfahren für feuerfeste Stoffe. Ir. Coal Tr. Rev., 20. Mai 1921, S. 693—694. Referat: Stahl und Eisen 1922, Heft 3, S. 105; vgl. auch Sprechsaal 1922, 20. Juli, S. 323—225.
- Salzanfressungen an Koksofenwänden. Gas-Journal (London) Bd. 146, S. 700. 1919; Tonindustrie-Zeitung 1920, Heft 2, S. 61; ferner Tonindustrie-Zeitung 1921, Heft 4, S. 28—29.
- Über Prüfung feuerfester Erzeugnisse. Chem. Trade Journ. and Chem. Eng. 1922, S. 262. Referat: Tonindustrie-Zeitung 1922, S. 593.

- Rengade*, Über die Wirkung von Eisenoxyd auf Silikaziegel. Stahl und Eisen, 27. Febr. 1919, S. 230; Tonindustrie-Zeitung, 23. Jan. 1919, S. 50—51.
- et *Desvignes*, Essai de dureté des matériaux réfractaires à haute température. Chal. et Ind., Heft 22, Febr. 1922, S. 971; La Céramique 1922, Februarheft.
- — Versuchsordnung für Härtebestimmung feuerfester Stoffe bei hohen Temperaturen. Compt. rend., 18. Juli 1921, S. 134.
- * *Reynolds*, Die wesentlichen Eigenschaften der bei der Stahlerzeugung verwendeten feuerfesten Materialien. Ir. Coal Tr. Rev., 1. Juni 1918, S. 269—270.
- Richter*, Über die Feststellung des Gebrauchswertes von Schamottesteinen für die Kalköfen in Zuckerfabriken. Zeitschr. d. Vereins d. deutschen Zuckerindustrie. Referat: Silikatzeitschrift 1914, S. 21.
- Richters*, Untersuchungen über die Ursachen der Feuerbeständigkeit der Thone. Verl. T. I. Z., Berlin 1897.
- Rieke*, Die Prüfung feuerfester Erzeugnisse. Vorträge. Keramische Fachgruppe im deutschen Hauptverband d. Ind. in Aussig, Heft 2.
- Die Eigenschaften und die Prüfung feuerfester Stoffe. Vortrag. Gas- und Wasserfach 1923, Heft 3, 4, 5.
- Die Arbeitsmethoden der Silikat-Chemie. Verl. Vieweg, Braunschweig 1917.
- Das Richtersche Gesetz. Ein Beitrag zur Kenntnis der Flußmittelwirkung. Sprechsaal 1910, Heft 14, 15, 16.
- und *Endell*, Die Volumenänderungen einiger keramischer Rohmaterialien. Silikatzeitschrift 1913, Heft 3—5.
- Rinson*, Die Wärmeleitfähigkeit von feuerfesten Steinen bei hohen Temperaturen, sowie von Dampfrohrschutzmassen und Mauerwerk unter Verwendung eines neuen Verfahrens der Oberflächentemperaturmessung. Mitt. über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Heft 228. Vgl. auch Z. V. d. I. 1908, S. 601; Physikalische Berichte 1920, Heft 22, S. 1440—1444; Bayer. Industrie- und Gewerbeblatt 1914, Nr. 32, S. 311—314.
- Ritter*, Widerstandsfähigkeit und Wärmeleitung feuerfester Steine im Hüttenbetriebe. Zeitschr. d. ges. Gieß., Heft 46, 12. Nov. 1921, S. 601.
- Fortschritte auf dem Gebiete der Dampfkesselmauerung. Feuerungstechnik Bd. 10, Heft 12, S. 125. 1921/22.
- Raumbeständigkeit und Druckfestigkeit der feuerfesten Auskleidung von Dampfkessel- und Feuerungsanlagen. Feuerungstechnik Jg. 10, Heft 23. 1921/22; Wärme- und Kältetechnik 1922, Heft 16, S. 185.
- * *Robson*, Einfluß der Wärme auf die mikroskopischen Eigenschaften von Silika in ihren verschiedenen mineralogischen Formen. Journ. Amer. Cer. Soc., Okt. 1922, S. 670 bis 674.
- Rohland*, Über feuerfeste Steine. Feuerungstechnik 1915/16, Heft 12, S. 137.
- Die Tone. Verl. A. Hartleben, Wien 1909.
- Rose*, Verfahren zur Untersuchung der Einwirkung geschmolzener Schlacken auf feuerfeste Materialien. Journ. Amer. Cer. Soc. 1923, S. 1242; Referat: Sprechsaal 1924, Heft 135, 136.
- Rosin*, Die Grundlagen der Wärmeverluste metallurgischer Öfen. Metall und Erz 1920, Heft 21; 1921, Heft 2, 4 und 5. Referat: Feuerungstechnik Jg. 11, Heft 2, S. 17. 1922/23.
- * *Ross*, Bemerkung über Silikasteine. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 4, S. 65—67. 1921.
- * — Volumänderung von im Handel vorkommenden Silikasteinen beim Erhitzen. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 19, S. 83. 1917.
- Ri*, Wärmeleitfähigkeit und Gasdurchlässigkeit feuerfester Steine. Wärme- und Kältetechn., Heft 8, 15. April 1922, S. 91.
- Rothe*, Bericht über die Erweichungstemperaturen und die Prüfung von Segerkegeln. Bericht über die 27. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1907, S. 54.

- Rothe*, Prüfung der Segerkegel durch die Physikalisch-technische Reichsanstalt. Bericht über die 26. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1906, S. 26.
- * *Ruff, Otto*, Über die Herstellung feuerfester Gegenstände für Temperaturen über 2000° in Öfen mit reduzierender Atmosphäre. F. H. 147, 1914.
- Russell*, American Silica for Retorts and Settings. J. Gas Lighthg. Bd. 123, Heft 2622, S. 434—436. 12. Aug. 1913.
- Rzehulka*, Die Tone und ihre Verwendung für den Hüttenbetrieb. Verl. Böhm, Kattowitz 1907.
- Saillard, Wehrung und Ruby*. Die Schamottesteine der Kalköfen und ihre Feuerfestigkeit. Suppl. à la Circulaire hebdomadaire du Syndikat des Fabricants de Sucre de France Nr. 1217 v. 6. Juli 1913; Übersetzung: Zeitschr. des Vereins deutscher Zuckerindustrie Bd. 63, Heft 694. 1913. Referat: Silikatzeitschrift 1914, S. 21.
- S., E.*, Natursandsteine als Brennersteine. Sprechsaal 1920, Heft 43, S. 456.
- Sannemann*, Die Benennung der aus Quarz hergestellten feuerfesten Steine. Tonindustrie-Zeitung 1916, Heft 145 v. 7. Dez., S. 828.
- Searle, A. B.*, Refractory Materials, their Manufacture and Uses. Ch. Griffin and Co. Ltd., London 1917.
- Feuerfeste Stoffe für chemische Zwecke. The Chemical Age Bd. 2 und 3, S. 684 bis 685, 123—124. 1920. Referat: Techn. Zeitschriftenschau 1920, Nr. 35/36, Bl. 1, Nr. 9011.
- *— The Chemistry and Physics of Clays and other Materials. London 1924, Ernest Benn Limited.
- Seaver, K.*, Manufacture and Tests of Silica Brick for the Byproduct Coke oven. Transactions of the American Institute of Mining Engineers. Sonderdruck. Vgl. auch Met. Chem. Eng., Heft 14, 15. Nov. 1915, S. 860, sowie Stahl und Eisen 1916, Heft 6, S. 143 und Feuerungstechnik 1917, 15. Jan., S. 97—98.
- Shaw*, Eine Abänderung der Belastungsprobe für feuerfeste Steine. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 19, S. 498. 1917.
- Siebel*, Glashäfen. Tonindustrie-Zeitung 1920, Nr. 32, S. 303—304.
- Sieurin und Carlsson*, Untersuchungen über die Druckfestigkeit feuerfester Steine bei hohen Temperaturen. Teknisk Tidskrift 1922, S. 143—146; Berichte der Deutschen keram. Gesellschaft Bd. 3, S. 53. 1922; Journ. f. Gabel. („Gas- und Wasserfach“) 1922, Heft 35, S. 560. Vgl. auch Journ. Amer. Cer. Soc., April 1922, S. 170—1880.
- * *Simcoe*, Werdegang und Leben einer Kapsel. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 11, S. 216 bis 224. 1909. Vgl. ferner Bd. 12, S. 205. 1910; Bd. 17, S. 256. 1915; Bd. 13, S. 645. 1911.
- Simonis und Rieke*, Elektrische Versuchsofen der chemisch-technischen Versuchsanstalt bei der Königl. Porzellanmanufaktur Berlin. Sprechsaal 1706, Heft 14.
- Singer*, Die Keramik im Dienste von Industrie und Volkswirtschaft. Verl. Vieweg und Sohn, Braunschweig 1923.
- Singh*, Dänische Kapselmassen. Transact. Cer. Soc. (Engl.), Part. I. Referat: Keram. Rundschau 1923, S. 241.
- Smith*, Selection of Refractory Materials. Power, Heft 18, 5. Mai 1914, S. 646.
- Schaar's* Kalender für das Gas- und Wasserfach. Verl. Oldenbourg, Teil II, München und Berlin 1922. S. 247—252.
- Schapira*, Über amerikanische Öfen zur Wärmebehandlung von Eisen und Stahl. Feuerungstechnik 1923/24, Heft 23, S. 190—191.
- Schmidt*, Die Kleinbessemerei und ihre Bedeutung für die Stahlgußherzeugung. Eisenzeitung 1921, Heft 3, S. 35.
- Schneider*, Ungebrannte feuerfeste Steine. Tonindustrie-Zeitung 1921, Nr. 49, S. 405 bis 406; Nr. 52, S. 434—435; Nr. 54, S. 452—453. Referat: Stahl und Eisen 1921, II, S. 1345.
- Feuerfeste Steine für Kesselfeuerungen (Kesselqualität). Tonindustrie-Zeitung 1920, Nr. 7, S. 57—59.

- Schnurpfeil*, Die Tonindustrie im Glashüttenbetriebe. Verl. T. I. Z., Berlin 1908.
- Die Baumaterialien in der Glasindustrie. Glashütte, Heft 4, 26. Jan. 1914, S. 61 bis 62.
- Schreiber, F.* Über Zerstörungen von Koks- und Gas-Kammerofensteinen, sowie deren Ursachen. Verl. Baedeker, Essen 1913. — Anm.: Zu beachten die Diskussion in Stahl und Eisen 1910, S. 1055; 1911, S. 730.
- Aufbereitung, Brikettierung und Verkokung der Steinkohle. Verl. Vieweg, Braunschweig 1914, S. 33—37.
- Schreiber*, Fabrikation des feuerfesten Materials und ihre Anwendung. Allg. Tonindustrie-Zeitung, Heft 11, 13. März 1922, S. 3; Feuerungstechnik Jg. 9, Heft 9, S. 69. 1920/21.
- Schulz*, Kriegserfahrungen mit feuerfesten Steinen bei der Marine und Stellungnahme zu einer Normalisierung. Brennstoff- und Wärmewirtschaft 1920, Nr. 7 und 8.
- Betriebserfahrungen über die Haltbarkeit des Retortenmaterials bei Entgasung minderwertiger Braunkohlen, Torf usw. Gas- und Wasserfach 1922, S. 133.
- Schumann*, Über pyrochemische Apparate und Arbeitsweisen, insbesondere über Prüfung feuerfester Erzeugnisse. Journ. f. Gasbel. und Wasservers. 1913, S. 245—250.
- Schwerdt*, Verhalten von Schamottesteinen in Schmiedeofen. Jour. Amer. Cer. Soc. 1920, Nr. 7, S. 556—559. Vgl. auch Stahl und Eisen 1923, S. 853.
- Ein Volumenometer mit Überlauf und direkter Ablesung. Journ. Amer. Cer. Soc. 1920, Nr. 9, S. 730—734.
- und *Douda*, Das Verhalten von feuerfesten Steinen. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 4, S. 1232—1241. 1923.
- Schütz*, Die Materialien der Gießerei. Eisenzeitung, Heft 4, 12. Okt. 1918, S. 526.
- Schwarz*, Feuerfeste und hochfeuerfeste Stoffe. Sammlung Vieweg. Verl. Vieweg und Sohn, Braunschweig 1918.
- Schwartz und Gorton*, Die Anforderungen an feuerfeste Steine in der Schmiedeeisenverarbeitung. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 1094—1097. 1923.
- Schwenke*, Ein Beitrag zur Frage der Salzanfressungen an Koksofenwänden. Glückauf 1917, S. 761.
- Steger*, Über den Einfluß einiger typischer feuerfester Tone auf das Verhalten von Schamotte massen bei höheren Temperaturen. Ber. d. Deutsch. keram. Ges. 1922, S. 250 bis 257.
- Kapselmassen und ihre Prüfung. Ber. d. Deutsch. keram. Ges. Bd. 2, S. 142—153. 1921.
- Eine neue Vorrichtung zur Bestimmung der Erweichungstemperatur von feuerfesten Materialien unter Belastung. Ber. d. Deutsch. keram. Ges. Bd. 3, Heft 1. 1922.
- Über die spezifische Wärme feuerfester Erzeugnisse. Silikatzeitschrift 1914, S. 203.
- Steinhoff*, Untersuchungen über Silikasteine. Mitt. Versuchsanstalt Dortmund Union 1922, Nr. 2, S. 61—67; Berichte des Werkstoffausschusses des Ver. deutsch. Eisenhüttenleute, Nr. 39.
- und *Mell*, Porositätsbestimmungen an feuerfesten Steinen. Bericht 44 des Werkstoffausschusses des Ver. deutsch. Eisenhüttenleute. Düsseldorf 1924.
- Steinmenger*, Einteilung feuerfester Erzeugnisse. Tonindustrie-Zeitung, Heft 148, 16. Dez. 1919, S. 1366.
- Störmer*, Welches Schamottfutter ist für Zementbrennöfen zu wählen? Protokoll der Verhandlungen des Vereins deutscher Portland-Zement-Fabrikanten am 29. Februar, 1. und 2. März 1912. Berlin 1912. S. 445—460.
- Welcher Eisenbestimmung ist bei der Untersuchung feuerfester Waren der Vorzug zu geben? Bericht über die 28. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1908, S. 59.
- Untersuchungsmethoden der in der Tonindustrie gebrauchten Materialien. Verl. Craz & Gerlach, Freiberg (Sa.) 1902.
- Über das Gefüge feuerfester Steine. Bericht über die 30. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1910, S. 75.

- Störmer*, Genaue Bestimmung des Tonerdegehaltes. Bericht über die 31. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1911, S. 58.
- Vergleichende Untersuchungen der Cowpersteine des Handels. Bericht über die 34. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1914, S. 146.
- Stone*, Bauxitziegel als Ofenfutter. *Min. and Eng. World* 1912, S. 342.
- Stoley*, Möglichkeiten zur Untersuchung und Entwicklung auf dem Gebiete der feuerfesten Baustoffe. *Chem. Met. Eng.* Bd. 23, S. 1167—1171. 15. Dez. 1920.
- Stone*, Fortschritte in der Herstellung feuerfester Baustoffe für die Zinkindustrie in den letzten 25 Jahren. *Journ. Amer. Cer. Soc.* 1923, S. 299—301.
- Feuerfeste Erzeugnisse zum Schmelzen von Zink. *Journ. Amer. Cer. Soc.* Bd. 5, S. 597—601. 1922. Referat: *Tonindustrie-Zeitung* 1923, S. 1082.
- Stout*, Beziehungen zwischen der Herstellung und den Eigenschaften feuerfester Tonwaren. *Transact. Amer. Cer. Soc.* Bd. 14, S. 250—255. 1912.
- Strassmann*, Die Industrie feuerfester Steine und ihre Aufgaben für Gaswerke und Kokeereien. Bücher der Deutschen keramischen Gesellschaft, Bd. I. Bonn 1921. Vgl. auch *Gas- und Wasserfach* 1921, S. 771, 798, 811.
- Feuerfeste Erzeugnisse, ihre Eigenschaften und Anwendung im Hüttenbetriebe. *Stahl und Eisen* 1922, S. 24. (Autoreferat über einen Vortrag.)
- Stull* und *Knote*, Ein neuer Laboratoriumsofen. *Transact. Amer. Cer. Soc.* Bd. 12, S. 1248. 1910. Vgl. ferner Bd. 16, S. 431—434. 1914 (Mitteilung über 7 Versuchsöfen).
- **Todokoro*, Über die Bestimmungen der thermischen Leitfähigkeit, spezifischen Wärme, Dichte und Wärmeausdehnung verschiedener Gesteine und feuerfester Stoffe. *Sc. Rep. Tohoku Imp. University* Bd. 10, Nr. 5, S. 339—410. Dez. 1921.
- Tarrant*, Bestimmung physikalischer Eigenschaften von feuerfestem Material in hohen Temperaturen. *Ir. Coal Tr. Rev.* 1920, S. 53.
- Thomas*, Das feuerfeste Material in der Stahlformgießerei. *Zeitschr. d. ges. Gieß.* 1923, Nr. 24; *Stahl und Eisen* 1923, S. 744.
- Trab*, Feuerfester Sintermörtel. *Tonindustrie-Zeitung* 1916, Heft 126, S. 709.
- Tupper*, Die Ausfütterung von Hochöfen. *Ir. Coal Tr. Rev.* 1913, Nr. 10 (4. Sept.); *Feuerungstechnik* Jg. 2, S. 139. 1913/14.
- Turner, D.* und *Turner, W. E. S.* Die angreifende Wirkung von Alkali-Salzen auf Schamotteerzeugnisse. *Journ. Soc. Glass. Technol.* 1923, September, S. 207—217.
- Twells*, Prüfung einiger Kapseltone und Kapselmassen. *Journ. Amer. Cer. Soc.* 1923, S. 949—957.
- Walker*, Vergleichung der Verfahren zur Bestimmung von Porosität und Wasseraufnahme. *Transact. Amer. Cer. Soc.* Bd. 18, S. 444—449. 1916.
- Walter*, Nochmals das Hafengießverfahren. *Sprechsaal* 1908, Nr. 24, S. 328.
- Walton*, Die Konstruktion eines neuen Versuchsofens. *Journ. Amer. Cer. Soc.* 1920, Nr. 10, S. 833—836.
- Watts*, Eine mögliche Erklärung für das Erweichen von feuerfesten Erzeugnissen unter Belastung in hohen Temperaturen. *Journ. Amer. Cer. Soc.* 1920, Nr. 6, S. 448—452.
- und *King*, Die Wärmedurchlässigkeit feuerfester Steine und ihre Messung. *Journ. Amer. Cer. Soc.* Bd. 6, S. 1075—1089. 1923. Dasselbst umfangreiche Literaturangaben.
- Weber, E.* Die Herstellung von Glashäfen durch Gießen. *Sprechsaal* 1905, S. 123.
- Die Verwendung gegossener Häfen im Glashüttenbetriebe. *Sprechsaal* 1908, Heft 19, S. 258.
- Weber*, Über die chemische Zusammensetzung und die Feuerfestigkeit einiger amerikanischer feuerfester Steine. *Transact. Amer. Cer. Soc.* Bd. 6, S. 212—226. 1904.
- Werner*, Die feuerfeste Industrie. Hartlebens Verlag, Leipzig 1911.
- Wernicke*, Die Herstellung der feuerfesten Baustoffe. 2. Aufl. Verl. Springer, Berlin 1921. Vgl. hierzu Besprechung in *Stahl und Eisen* 1922, S. 1383.
- Über Quarzite und Silikasteine. *Stahl und Eisen* 1920, Heft 13, S. 432—437. Vgl. auch dieselbe Zeitschrift, Heft 31, S. 1078.

- Wernicke-Wildschrey*, Die Untersuchung der Quarzite auf ihre Verwendbarkeit. Verl. T. I. Z., Berlin 1910.
- West, J.*, Feuerfestes Material in England und in Deutschland. Ir. Coal Tr. Rev., 16. Juni 1916, S. 691—692.
- Wheeler*, Die Wärmeleitfähigkeit feuerfester Tone. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 119—132. 1904. Vgl. ferner Bd. 7, S. 434—436 (*Page*) und S. 437—438. 1905.
- **Whiteley* und *Hallimond*, Die Wirkung von Eisenoxyden auf „saure“ Öfen. Engineering Bd. 108, S. 528—532. 1919. Referat: Phys. Berichte 1920, Heft 12, S. 750.
- Wickoff*, Anforderungen an feuerfeste Materialien für Öltraffinerien. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 1176—1180. 1923.
- *— Feuerfeste Schamotte. Chem. Met. Eng. 1922, 15. Nov., S. 969—971.
- **Wildschrey*, Neuere Untersuchungen über Kieselsäure. Sammelreferat über Arbeiten von *Fenner*, *Endell* und *Rieke* und *Smits* und *Endell*. Stahl und Eisen 1913, Nr. 42, S. 1744.
- Williams*, Der Einfluß verschiedener Schamottekorngößen auf Tonhäfen. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 1148—1149. 1923.
- Anforderungen an feuerfeste Materialien für elektrische Öfen. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 6, S. 753—760. 1923. Referat: Keram. Rundschau 1923, S. 279.
- Wilson*, Ein mit Azetylen und Sauerstoff geheizter Untersuchungsöfen für hohe Temperaturen. Journ. Amer. Cer. Soc. Bd. 4, S. 835—841. 1921.
- *Holdcroft* und *Mellor*, Die spezifische Wärme feuerfester Steine bei hohen Temperaturen. Transact. Cer. Soc. (Engl.) Bd. 12, 2. Teil, S. 279—284. 1913. Referat: Silikatzeitschrift 1914, S. 180.
- **Winterton*, Feuerfeste Stoffe für Gießereien. Foundry Trade S., 21. Sept. 1922, S. 236—238.
- Wologdine*, Untersuchungen über Wärmeleitfähigkeit, Porosität und Gasdurchlässigkeit feuerfester Produkte. Revue de Métallurgie 1909, Juniheft, S. 767—806; Stahl und Eisen 1909, Heft 32. Vgl. ferner Feuerungstechnik 1922/23, S. 7 und Wärme- und Kältetechnik 1922, Heft 8.
- Young*, Firebrik for Use in Oil Gas Generators. Chem. Eng., Heft 1, Jan. 1914, S. 11—13. Vgl. auch Referat in der „Feuerungstechnik“ 1913/14, Heft 21, S. 362—363.
- Zink*, Über Salzanfressungen an Schamottewänden in den Destillationsöfen. Vortrag. Journ. f. Gasbel. und Wasservers. 1912, Nr. 48, S. 1165.
- Zöllner*, Veränderung der Tone bei hohen Temperaturen. Bericht über die 29. ord. Hauptversammlung des Ver. deutsch. Fabr. feuerf. Produkte, Berlin 1909, S. 53.
- Zschokke*, Die Qualitätsbewertung feuerfester Steine. Schweizer. Bauzeitung, 7. Aug. 1918, S. 58—59; 24. Aug. 1918, S. 70—73.
- Amerikanische Untersuchungsnormen für die Prüfung feuerfester Erzeugnisse unter Druck bei hohen Temperaturen. Tonindustrie-Zeitung 1923, Heft 22, S. 172; Feuerungstechnik 1922/23, Heft 22, S. 211.
- Atom. Studiengesellschaft für Erze, Steine und Erden m. b. H., Berlin-Steglitz. Prospekte. Bausteine für Koksöfen. Tonindustrie-Zeitung 1917, Nr. 50; Feuerungstechnik 1917, Heft 19, S. 153.
- Belastungsversuche mit feuerfesten Steinen. Tonindustrie-Zeitung, Heft 60, 24. Mai 1921, S. 518.
- Bericht der Kommission für feuerfestes Material in der Jahresversammlung der englischen Gasingenieure. Journ. f. Gasbel. u. Wasservers. 1911, S. 1112. Vgl. auch Journ. of Gasl. Bd. 119, Nr. 2576, sowie Referat in der Feuerungstechnik 1912/13, Heft 12.
- Berichte über die Hauptversammlungen des Vereins deutscher Fabriken feuerfester Produkte. (Berücksichtigt die 20. bis 40. Versammlung, Jahre 1900—1919; 34. bis 38. Versammlung während des Krieges ausgefallen.) Berlin, Selbstverlag des Vereins.
- Berichte der Deutschen keramischen Gesellschaft. Band I, Heft 2; Bd. II, Heft 2, 3; im letzteren Heft (Beilage) umfangreiche Literaturangaben; Bd. III, Heft 1 usw.
- Brandrisse in feuerfesten Steinen und Platten. Tonindustrie-Zeitung 1922, Heft 152, 24. Dez., S. 1376.

- Bulletin of the American Institute of Mining Engineers, Nov. 1916, S. 2053—2055, enthält eine ausgezeichnete Übersicht über Erscheinungen in amerikanischer, englischer und deutscher Literatur.
- Der elektrische Versuchsofen mit Heizung durch Kohlengrießwiderstand. Verl. der Tonindustrie-Zeitung, Berlin 1914.
- Die feuerfesten Steine in der Glasindustrie. Referat aus der Keramischen Rundschau in Feuerungstechnik 1912/13, Heft 13, S. 236.
- Die Herstellung von Streckplatten. Deutsche Töpfer- und Ziegler-Zeitung 1920, Nr. 26, S. 292.
- Die spezifische Wärme feuerbeständiger Materialien bei hohen Temperaturen. Sprechsaal, Heft 44, 3. Nov. 1921, S. 519 ff.
- *Die Verwendung von Silika- und Schamottesteinen beim Martinofenbau in Abhängigkeit von den Ofentemperaturen. Metallbörse, 13. Sept. 1919, S. 911.
- Eigenschaften der Silikaziegel. Tonindustrie-Zeitung, Heft 18, 12. Febr. 1918, S. 80.
- Eisenoxyd als Bindemittel für Silikaziegel. British Clay worker 1919, Nr. 331, S. 179 bis 180. Referat: Tonindustrie-Zeitung 1920, Nr. 34, S. 324—325.
- Englische Ansprüche an Glaswannenblöcke, an Quarzziegel und Quarzmörtel und Glas-hütten Tone und Schamotte. Keram. Rundschau 1920, Hefte 37, 39 und 42. Nach Journ. Soc. Glass. Techn. Bd. 3, S. 3—11. 1919. Vgl. ferner Keram. Rundschau 1921, S. 16.
- *Feuerfeste Steine. Technische Blätter der Deutschen Bergwerkszeitung 1920, S. 345 bis 346. Essen.
- *Feuerfeste Stoffe für Zementdrehrohröfen. Tonindustrie-Zeitung, Heft 99, 23. Aug. 1919, S. 888.
- Feuerfestes Futter für Kuppelöfen. Tonindustrie-Zeitung, Heft 143, 4. Dez. 1919, S. 1289.
- *Feuerfestes Material. Ir. Coal Tr. Rev. 1917: 30. März, 18. und 25. Mai, 15. Juni, 5. Okt., 10. und 17. Nov.
- Feuerfestigkeitsbestimmungen. Tonindustrie-Zeitung, Heft 26, 28. Febr. 1914, S. 409 bis 410; Silikatzeitschrift 1914, S. 106.
- Feuerfeste Stoffe. Eisenzeitung 1912, Nr. 42, 43. Referat: Feuerungstechnik 1912/13, S. 171.
- Feuerfestes Material. Engineering 1916, 10. Nov., S. 464—466.
- Feuerfeste Formsteine. Allg. Tonindustrie-Zeitung, Heft 12, 19. März 1923.
- Feuerfestes Material. Met. Chem. Eng., 15. Dez. 1916, S. 671—676.
- Four de laboratoire pour l'étude de la Température de déformation des matériaux réfractaires. Chaleur et Industrie 1923, Nr. 35, S. 265; nach Chemical and Metallurgical Engineering, 27. Juli, S. 162.
- Heineckesche Versuchsofen für Laboratorien. Verlag der Tonindustrie-Zeitung, Berlin.
- Hütte. Taschenbuch für Eisenhüttenleute. 2. Auflage von Ernst und Sohn. Berlin 1922. S. 140—159 und 244—249.
- Kanalsteine für Siemens-Martinofenbetrieb. Tonindustrie-Zeitung 1913, Nr. 113, S. 1471. Referate: Silikatzeitschrift 1913, S. 200 und Feuerungstechnik 1913/14, S. 119.
- Koksofenmauerwerk. T. I. Z. 1917, Heft 150, S. 937.
- Koppers Mitteilungen. 1. Einiges über die Fabrikation feuerfester Steine. Jg. 2, Heft 5. 1920. 2. Silikamaterial im Koksofenbetrieb. Betriebsergebnisse von Öfen mit Silikawänden in Deutschland. Jg. 3, Heft 1. 1921. 3. Anwendung kurzer Gärungszeiten bei der Verkokung. Einige Betriebsergebnisse amerikanischer Kokereianlagen, deren Öfen aus Silikamaterial und für kurze Gärungszeiten gebaut sind. Jg. 3, Heft 2. 1921.
- Leichte feuerfeste Steine. Tonindustrie-Zeitung, Nr. 76, 29. Juni 1920, S. 719. Referat: Feuerungstechnik 1921/22, S. 97.
- Life of Cupola Linings. Iron Age, Heft 12, 19. März 1914, S. 725.
- Methoden zur Ausführung von Wärmeleitfähigkeitsmessungen und der Wärmedurchgang durch Ziegel. Transact. Amer. Cer. Soc. Bd. 18, S. 192—202. 1916.
- Mitteilungen aus dem königlichen Materialprüfungsamt Jg. 28, S. 23—41. 1910.

- Muffeln. Tonindustrie-Zeitung 1920, Nr. 19, S. 168—169.
- Neue feuerfeste Erzeugnisse. Tonindustrie-Zeitung, Heft 129, 1. Nov. 1919, S. 1152 (Verfahren D. R. P. 309 707).
- Neue Verfahren zur Bestimmung der Druckfestigkeit und Erweichung feuerfester Ziegel bei hohen Temperaturen. Tonindustrie-Zeitung Bd. 46, S. 561—563. 16. Mai 1922.
- Neuerungen im Gießverfahren. Pott. Gaz. 1920, Nr. 516, S. 773—774.
- Neuer Versuchsschmelzofen für elektrische Beheizung. Keram. Rundschau 1921, S. 69 bis 70.
- *New Brick for Making Coke Walls Gas-Tight. Iron Age, Heft 13, 28. März 1918, S. 803.
- *New Semi-Thin-Linead Blast Furnace. Ir. Coal Tr. Rev. Heft 6, 10. Febr. 1916, S. 340.
- *Prüfung feuerfester Steine. Met. Chem. Eng., 15. Aug., S. 184—187.
- Prüfung feuerfester Steine für den Gebrauch im Koksofen. Ir. Coal Tr. Rev., 29. Sept. 1913. Referat: Feuerungstechnik 1913/14, Heft 11, S. 185.
- *Prüfung von feuerfestem Material. Ir. Coal Tr. Rev., 1. Dez. 1916, S. 667.
- Quarz- und Silikasteine für Feuerungsanlagen. Rauch und Staub, Jan. 1918, S. 32—33.
- Refractories for the modern Boiler Plant. Power, Heft 117, 21. Okt. 1913, S. 583—586.
- Silikasteine. Engineering, 1. Dez. 1916, S. 537—538. Vgl. auch Ir. Coal Tr. Rev., 20. Juli 1917, S. 63.
- Silikaziegel. Tonindustrie-Zeitung, 24. Okt. 1918, S. 605—606.
- Silika-Zeitschrift. Verl. Müller & Schmidt, Coburg 1913 und 1914. Jg. I, S. 42, 59, 81, 140, 154. 1913; Jg. II, S. 20, 21, 60, 106, 123, 180, 203, 217. 1914.
- The Refractory Materials Committee's Specifications and the Waltham Abbey Experiences. J. Gas Lighthg. Bd. 122, Heft 2619, S. 227—228. 22. Juli 1913.
- The Standard Specification for Refractory Materials. Brick Pottery Tr. II, 1. Jan. 1913, S. 9—10. Vgl. auch Coll. Guard., 27. Sept. 1912, S. 651.
- Stettiner Schamottefabrik Aktiengesellschaft vormals Didier. 50 Jahre Aktiengesellschaft 1872—1922. Ecksteins biographischer Verlag, Berlin.
- Über die Wahl feuerfester Steine. Journ. of Gasl. Bd. 119, Nr. 2576; Wasser und Gas 1912, Nr. 5. Referat: Feuerungstechnik 1912/13, S. 216.
- Ungebrannte Quarzsteine. Tonindustrie-Zeitung (Fragekasten) 1920, Nr. 2, S. 18; Nr. 4, S. 33; Nr. 7, S. 60, Nr. 20, S. 180.
- Verhalten feuerfester Steine. Tonindustrie-Zeitung, Heft 35, 22. März 1921, S. 287. Vgl. ferner 1922, Heft 45 und 62.
- Über das Gefüge von Koksofensteinen. Ir. Coal Tr. Rev., 5. April 1918, S. 365.
- *Über die Auswahl der feuerfesten Steine. Blast Furnace and Steel Plant, März 1916, S. 127—128.
- Über die Herstellung und Zusammensetzung feuerfester saurer Steine. Referat nach Le Génie Civil vom 9. Aug. 1919 in der Feuerungstechnik Jg. 9, S. 225. 1920/21.
- *Versuche mit Silikasteinen. Ir. Coal Tr. Rev., 14. Sept. 1917, S. 279.
- Versuchs- und Kleinbetriebsöfen zur Beheizung mit festen Brennstoffen, Gas und elektrischem Strom. Laboratorium für Tonindustrie, Berlin.
- Versuchsöfen für Laboratorien mit Gasheizung und Preßluft. Sonderdruck aus der „Keram. Rundschau“, Berlin.
- Wärmeleitfähigkeit und Gasdurchlässigkeit feuerfester Steine. Wärme- und Kältetechnik 1922, Heft 8, S. 91.
- Zement an Stelle von feuerfestem Ton bei der Reparatur eines Hochofens angewendet. Iron Age, 13. Febr. 1913. Referat: Feuerungstechnik 1912/13, S. 328.
- Zinkdestilliergefäße. Tonindustrie-Zeitung 1920, Nr. 33, S. 310.

Namenregister.

Amsler-Laffon 205.
Anderson 102.
Arndt 228.
Atomgesellschaft 208.

Baldermann 162, 164.
Barringer 157.
Bauer, E. P. 231.
Bauer s. Heyn, Bauer und
Wetzel.
Bell, s. Nesbitt und Bell.
Bertelsmann 138.
Bertrand und Boulanger
236.
Berry 162.
Bigot 96.
Bischof 106, 171.
Bleininger 30, 41, 174.
Bleininger und Brown 30,
31, 157, 207.
Block 150, 151.
Bodin 40, 41, 190.
Bogitch 35, 41.
Böhme 206.
Böhringer und Söhne 246.
Boivie 247.
Boulanger s. Bertrand und
Boulanger.
Bradshaw und Emery 57,
194, 251.
Braun 97.
Brown s. Bleininger und
Brown.
Bulnheim 190.
Bussmann 188.

Canaris 28.
Carlsson 38.
Le Chatelier 17, 18, 35, 41,
206, 207.
Clement und Egy 50.
Cobb 45.
— s. Dougall, Hodzman
und Cobb.

Coppée 225.
Cramer 23.
Cronquist 74.

Dana 68.
Degenhardt 106.
Desvignes 38.
Diepschlag 96.
Dougall, Hodzman und
Cobb 53.
Drees 253.
Dudley 54, 55.
Dujardin 198.

Egy s. Clement und Egy.
Emery s. Bradshaw und
Emery.
Endell 16, 17, 30, 31, 34,
68, 105, 143—147, 165,
169, 207—209.
Enzenauer 128, 134.
Euchène 49.

Feist 96.
Fenner 17, 68.
Firth 161.
Fischer 178.
Fuchs 39, 85.

Gary 27, 28, 207, 214, 216,
224—225, 251.
McGee 41.
Geiger 83, 99.
— s. a. Linbarger und
Geiger.
Geipert 139, 245.
Geller 36, 60.
Gillet und Mack 176.
Goerens 50, 51, 52, 53.
— und Gilles 54.
Graham 95, 119.
Green 55.
Griffiths 54, 55.
Gürtler 247.

Hahn 28, 44, 69.
Hallimond s. Whitley und
Hallimond.
Hancock 131.
Hartmann 17, 35, 36, 118,
133, 222.
— und Hougen 60, 61.
Hecht 207, 211.
Heraeus 214, 224.
Heyn 51, 52, 53.
— Bauer und Wetzel 52,
57, 58.
Hirsch 68, 189, 207, 211,
231.
Hodkin 161.
Hodzman s. Dougall,
Hodzman und Cobb.
Holborn-Kurlbaum 32, 209,
214.
Holderoft s. Wilson, Hold-
croft und Mellor.
Horak 247.
Hornung 156, 157.
Hougen 247.
— s. Hartmann und Hou-
gen.
Houldsworth 45.
Howe 81, 253.
— Phelps und Ferguson 239.
— und Sheppard 157.

Insley 161.
Irresberger 97.

Jachontoff 178.
Jacob 228.
Jensch 106.
Johns 192.
Joung 179.
Jung 91.
Juretzka 71, 108.

Kanolt 21.
Kerl 156.

Killig-Degerham 144.
 Kinder 88.
 Kirkpatrick 157.
 Kjellgren 38.
 Klinger 253.
 Knote 57.
 Knothe s. Kühl und Knothe.
 Koppers 127, 132, 133.
 Krueger 228.
 Kubach 121.
 Kühl und Knothe 143, 149.

Lange 93, 94.
 Lanitz 254.
 Laschtschenko 59.
 Leander 73.
 Libau 254.
 Liebig 108.
 Limbor 89, 90.
 Linbarger und Geiger 157,
 222.
 Litinsky 34—35, 141.
 Loomis 39, 40.
 Ludwig 23, 238.
 Lürmann 26, 28, 88, 151.
 Lux 15.

Mack s. Gillet und Mack.
 Maksimenko 178.
 Mallard 68.
 Mell s. Steinhoff und Mell.
 Mellor 37, 40, 65, 173, 207,
 226, 227.
 — s. Wilson, Holderoft und
 Mellor.
 Middleton 45, 135.
 Montgomery 216, 219.
 Mühlhaeuser 107, 112.
 Münzinger 63, 64, 186.

Navratil 40.
 Nesbitt und Bell 69, 85.

Nilson 59.
 North 149.

Osann 51, 58, 80, 84, 88, 91.
 Osten 179.

Patterson 21.
 Pattison 85.
 Pécelet 49.
 Petterson 59.
 Pretsch 134, 136.
 Proske 107, 108, 109, 111.
 Pulfrich 255.

Rebuffat 15.
 Rees 20, 40.
 Reinbold 153.
 Rengade 38.
 Richter 151.
 Richters 23.
 Rieke 11, 20, 23, 24, 61,
 68, 70, 76, 238.
 Rigg 230.
 van Rinsum 53.
 Ritter 184.
 Rose 232.
 Rosenheim 38.
 Ruby s. Saillard, Wehrung
 und Ruby.
 Russel 59.

Saillard, Wehrung und
 Ruby 151.
 Seaver 28.
 Seger 192, 196.
 Sheppard s. Howe und
 Sheppard.
 Siebel 172.
 Sieurin 38.
 — und Carlsson 207.
 Singer 54, 96, 101, 179, 205.
 Subtschaninoff 178.

Schmolke 235.
 Schneider 247.
 Schnurpfeil 173, 174.
 Schory 158.
 Schreiber 121, 123, 127, 202.
 Schulz 140.
 Schwarz 68.
 Schwenke 124, 130, 137.
 Steger 58, 60, 61, 108, 158,
 228.
 Steinhoff 21, 22.
 — und Mell 235.
 Stoermer 76, 89, 142, 143,
 146.
 Strassmann 18, 118.

Tafel 101.
 Tone 54, 59.
 Turner 62, 161.

Ulrich 59.

Valeur 143.
 Vielhaber 160.

Walter 171.
 Wanner 209.
 Watts 161.
 Weber 171.
 Wehrung s. Saillard, Weh-
 rung und Ruby.
 Wernicke 243, 245.
 Wetzel s. Heyn, Bauer und
 Wetzel.
 White 59.
 Whitley u. A. Hallimond 96.
 Williams 176.
 Wilson, Holderoft und Mel-
 lor 57.
 Wologdine 50, 51, 237.

Zink 123.

Sachregister.

Abmessungen 77.
 Abnutzbarkeit, Prüfung
 206.
 Abschmelzerscheinungen 21.
 Abschrecken der Steine 60.
 Absplitterung 60.
 Alkalienangriffe 62.
 — bei Koksofensteinen 119.

Alkalien im Löschwasser 126.
 — Einwirkung auf Glas-
 schmelzwannenmaterial
 163.
 — Einwirkung auf Hoch-
 ofensteine 84, 89.
 — Wirkung 25, 161.
 Aluminiumindustrie 175.

Aluminiumschmelzofen,
 Steine hierfür 102.
 Amorphe Quarzite s. Fels-
 quarzite.
 Analyse, Chemische, Aus-
 führung 202.
 — s. auch unter Chemische
 Analyse.

Antimonrostofen, Steine hierfür 102.
 Arsler-Presse 216.
 Asche s. Kohlenasche.
 Ausdehnung, Prüfung 223f.
 — s. a. Wärmeausdehnung, Dehnung, Schwellung.
 — Apparatur nach Coppée 226.
 Ausdehnungsverhältnisse bei Koksofensteinen 118, 119.
 Ausladen 240.
 Bauxit, Gasdurchlässigkeit 71.
 Bauxitsteine 5, 244.
 —, Dichte und Porosität 69.
 Basische Steine 5, 6.
 — Steine s. a. Schamottesteine, Bauxitsteine.
 Beförderung des ff. Materials 245.
 Behandlung des feuerfesten Materials 239ff.
 Behauen der Steine 241.
 Belastung s. a. Standfestigkeit, Erweichung, Festigkeit, Druckfestigkeit.
 — der Koksofensteine 118.
 — in der Hitze 29, 34.
 — in der Hitze, Bestimmung 207ff.
 — Verhalten von Schamotte- und Silikasteinen 118.
 Benennung feuerfester Erzeugnisse 3.
 Biegemoment der Steine 36.
 Bildsamkeit des Mörtels 251.
 Bindefähigkeit der Tone 12.
 Bindekraft des Mörtels 251.
 Binderkopf 132.
 Blaufärbung der Zinkmuffeln 108.
 Bleiflammofen, Steine hierfür 102.
 Bleischachtofen, Steine hierfür 101.
 Bodensteine 82, 83, 243.
 Borate 161.
 Brand s. a. Brennen.

Braunkohlenvergasung in Retorten 140.
 Brennen der Schamottematerialien 12.
 — Einwirkung auf die Druckfestigkeit 28.
 — wiederholtes, Einfluß auf Kapselmassen 157.
 — der Glasschmelzofen, ff. Material hierfür 165.
 Brennöfen, Keramische 154ff.
 Brenntemperatur, Einfluß auf die Standfestigkeit 41.
 Brinellsche Kugeldruckprobe 206.
 Bruch 240.
 Bruchfestigkeit, Bestimmung 222.
 Bruchmodul der Kapselmassen 157.
 Bureau of Standards 36.
 Calcinerofen 176.
 Carborundum, Wärmeleitfähigkeit 55.
 Carborundumsteine 93.
 — Dichte und Porosität 69.
 — Gasdurchlässigkeit 71.
 — Eigenschaften 148, 245 bis 247, 253, 255.
 — in der Zementindustrie 146.
 Chemische Analyse 202.
 — Analyse, ihr Wert 24 bis 26.
 — Angriffe 61.
 — Industrie 175.
 — Zusammensetzung 23.
 — Zusammensetzung, Einfluß auf Standfestigkeit 37, 38, 40.
 — Zusammensetzug der Steine, Einfluß auf die Wärmeleitfähigkeit 50.
 — Zusammensetzung der Tone und der Einfluß derselben auf die Eigenschaften derselben 13.
 Chlornatrium s. Alkalien.
 Chlorwasserstoff, Einwirkung auf Schamottesteine 65.

Chromit. Eigenschaften 148.
 Chromstein 93, 243, 246.
 Chromitstein, Dichte und Porosität 69.
 — Gasdurchlässigkeit 71.
 Corunditziegel 177.
 Corundsteine 5, 246.
 Cowper s. Winderhitzer.
 Cowpersteine, Druckbelastung 28, 31.
 Cristobalit, Dichte 68.
 Crummendorfer Quarschiefer 146, 149, 153, 249.
 Cyankali, Einwirkung auf Hochofensteine 88.
 Dampfkesselsteine 65, 180ff.
 — Ansprüche 189.
 — Einteilung und Anforderungen 180—181.
 — Normen 188, 190.
 — Zusammensetzung 187.
 Dämpfe, Einfluß auf Widerstandsfähigkeit der Steine 61.
 — Einwirkung auf Zinkmuffeln 109.
 Dehnung, Prüfung 223ff.
 — s. a. Ausdehnung, Wärmeausdehnung, Schwellung.
 Devastein 98, 247.
 Deville-Ofen 195—196.
 Dinas s. a. Tonquarzsteine und Tondinas.
 Dina-Stein 247.
 Dinas, deutscher 5.
 Dinaskuppe des Glasschmelzofens 167.
 Dinassandstein 6.
 — im Koksofenbetrieb 137.
 Dinassteine 6, 7.
 — englische 5.
 — chemische Zusammensetzung 7.
 Dichtigkeit der Steine 163.
 Dichte 68, 184.
 — Bestimmung 233ff.
 — der gepreßten Steine 69.
 — Einfluß auf Koksofensteine 128.
 Dolomitsteine 245.

Doppelgasgenerator s. Generator.
 Drehofen s. Zementdrehofen.
 Druckbelastung der Glashäfen 171.
 — s. a. Belastung, Festigkeit, Druckfestigkeit.
 — der Koksofensteine 150.
 Druckfestigkeit 181.
 — s. mechanische Festigkeit.
 — Abhängigkeit vom Flußmittelgehalt 28.
 — Abhängigkeit von der Herstellungsart 28.
 — Abhängigkeit vom Raumgewicht 27.
 — Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren 28.
 — Bestimmung 205.
 — erhitzter Schamottekörper, Bestimmung nach Gary 219.
 — Einwirkung des wiederholten Brennens 28.
 — im kalten Zustande 26.
 Druckfestigkeitsermittlung, Bedeutung 28.
 Dünnschliffe 238.
 Dura-Stein 247.
 Dynamidonsteine, Eigenschaften 145, 148, 149, 246.
 Eigenschaften feuerfester Steine 148.
 — s. a. Normen.
 Einmauerung von Dampfkesseln 184.
 Einteilung der feuerfesten Erzeugnisse 3.
 Eisen, Einwirkung auf Hochofensteine 84.
 Eisenbahntransport 240.
 Eisengießerei s. Gießerei.
 Eisenverbindungen, Einfluß auf Hochofensteine 88.
 Elektrische Laboratoriumsofen 198—202.
 — Schmelzöfen 176.
 Elektrischer Widerstand feuerfester Stoffe 178.
 Elektrizitätswerke 187.

Elektrostahlofen 96.
 Emaillofensteine 160.
 Endellsche Hebelpresse 208.
 Erweichung, Abhängigkeit von chemischer Zusammensetzung 38.
 — der Steine 181.
 Erweichungsbeginn 222.
 Erweichungserscheinungen 29, 43.
 Erweichungskurven 209.
 Erweichungstemperaturen 21.
 — der Koksofensteine 117.
 Erweichung unter Druck, Bestimmung 208.
 Erze, Einfluß auf Haltbarkeit der Tiegel 114.
 Fabrikation, Einfluß auf die mechanische Festigkeit 28.
 Farbe, Einwirkung der Feurgase, Rohstoffbestandteile usw. darauf 72.
 Felsquarzite 14, 15.
 Festigkeit, mechanische, Bestimmung 205.
 — s. auch mechanische Festigkeit, Druckfestigkeit, Belastung, Erweichung.
 Feuchtigkeit, Einfluß auf Silikasteine 133.
 Feuchtigkeitseinflüsse 239.
 Feuerbrücken 187.
 Feuerfest: Begriffserklärung 1.
 Feuerfestigkeit 181.
 — s. a. Kegelschmelzpunkt.
 Feuergewölbe 184, 187.
 Feuerzement 249.
 Findlingsquarzite 14, 15.
 Flammöfen 101.
 Flugasche, Prüfung auf Widerstand gegen 232.
 Flüssige Brennstoffe 190.
 Flugstaub, Einwirkung 66 bis 67.
 — Zusammensetzung 66.
 Flugaschenangriffe 61, 182.
 Fluoride, Wirkung 161.
 Flußmittel, Einfluß auf Mörtel 254.

Flußmittel, Einfluß auf die Qualität der Schamottesteine 24.
 — Einwirkung auf mechanische Festigkeit 28.
 — in ff. Tonen 12.
 — Wirkung 161.
 Flußpat, Zusatz zu Kupolofensteinen 99.
 Formate 241.
 Form der Steine 77—78.
 Formsteine 77, 241.
 Französische Normen für Dampfkesselsteine 190.
 Fugen 78, 130, 241.
 — der Kalköfen 153.
 Fugenlose Kammern 130.
 Ganister 91, 252.
 Ganistersteine 5.
 Gasbeheizter Ofen zur Bestimmung des Kegelschmelzpunktes 196.
 Gasdichtheit von Retorten 138.
 Gasdichtigkeit, Bestimmung 236ff.
 Gasdurchlässigkeit 70.
 — Abhängigkeit von anderen Eigenschaften 71.
 — Bestimmung 236ff.
 — Rechenbeispiel 71.
 — von Zinkmuffeln 112.
 Gasgeneratoren 178ff.
 — s. a. Generatoren.
 Gaskanäle 179.
 Gasofen f. Laboratorien 196.
 Gasofensteine, Anforderungen 142.
 — Spezifikation 142.
 Gasöfen s. a. Retorten für Gasöfen.
 Gas-Preßluftofen für Laboratorien 197.
 — für Standfestigkeitsversuche 217.
 Gaswerksofensteine 137ff.
 Gaswerk Stockholm, Versuchsofen zum Prüfen von Steinen in der Hitze unter Belastung 219.
 Gefüge 73.
 — Einfluß auf das Verhalten der Steine bei Temperaturwechsel 59.

- Gefüge, Einfluß auf die Wärmeleitfähigkeit 53, 55.
- Generator-Schamottesteine 179.
- Generatorsteine für Retortenöfen 141.
- Gestampfte Kammern s. Stampfkammern.
- Gestell des Hochofens 82.
- Geyersche Steinsäge 75.
- Gicht des Hochofens 85.
- Gichtstaub 91.
- Gichtsteine 88.
- Gießerei 97.
- Gießverfahren 171.
- Gipsbrennofen 176.
- s. a. Schamottegießverfahren.
- Glas s. a. Emaile.
- Glasgalle 164.
- Glashafen, Anfertigung 170, 172.
- Zerstörung 166.
- Glashafenstein, Dichte und Porosität 69.
- Glashafentypen 171, 172.
- Glashütte 162ff.
- Glasieren von Zinkmuffeln 106.
- Glasofenmaterial, Zerstörungen 164.
- Glaswannenblöcke, Beschaffenheit 165.
- Normen 167.
- Zerstörung 166.
- Glaswannensteine, Eigenschaften 170.
- Glasschmelzofen, Wahl des ff. Materials 164.
- Graphit, Dichte und Porosität 69.
- Gasdurchlässigkeit 71.
- Graphittiegel 96, 242.
- Grossalmeroder Tiegel 115.
- Größe der Steine 241.
- Gußeiserne Steine 97.
- Hafen s. Glashafen.
- für optisches Glas 174.
- Hafenmasse, Zusammensetzung 173.
- Hafenmaterial 162ff.
- Halbsaure Steine 6, 118.
- Haltbarkeit der Glaswanne 163, 167.
- s. a. Lebensdauer.
- Hebelpresse nach Endell 208.
- Heißwindleitung 91.
- Herstellungsart, Einfluß auf die Druckfestigkeit 28.
- Herstellungsweise, Einfluß auf Standfestigkeit 36.
- Hessische Schmelztiegel 115.
- Hirsch-Hechtsche Prüfmaschine 211.
- Hochleistungskessel 187.
- Hochofen 79.
- Hochofenqualität 4.
- Hochofenschacht 27, 83.
- Hochofensteine 48, 80, 243.
- amerikanische 81.
- Ansprüche 82.
- Eigenschaften 82.
- Zerfall 86.
- Zusammensetzung 81, 88.
- Holzäsche, Einwirkung auf Dampfkesselsteine 185.
- Induktionsofen 177.
- Kali, Eindringen in Koks-
ofensteine 120.
- s. a. Alkalien und Flußmittel.
- Kalkbrennerei 150ff.
- Kalkbrennofen, Temperaturen 152.
- Kalkgebundene Steine 6.
- Kalkofensteine, Gasdichtigkeit 153.
- Wahl des Materials 154.
- mechanische Einflüsse 150.
- Druckbelastung 150.
- chemische Einflüsse 150.
- Schlackeneinflüsse 151.
- Temperatureinfluß 151.
- Wärmeleitfähigkeit 151.
- Kalkquarzsteine 5, 6.
- chemische Zusammensetzung 7.
- s. a. Silika.
- Kalksteine, feuerfeste 246.
- Kalktiegel 96.
- Kanäle 179.
- Kaolin, Entstehung und Eigenschaften 9.
- Kaolinmörtel 250.
- Kapseln 155.
- Anforderungen 156.
- Kapselmassen 222.
- Kapselmateral 158.
- Kegelschmelzpunkt 20.
- Bestimmung 192.
- Bestimmung und Schlüsse daraus 20, 21.
- s. a. Segerkegel.
- Keilsteine 77, 241.
- Keramische Brennöfen 154ff.
- Kessel s. Dampfkessel.
- Kesselqualität 4, 180.
- Kieselgurstein, Dichte und Porosität 69.
- Kieselsäuregehalt, Einfluß auf die Qualität der Schamottesteine 24.
- Kitte 249, 255.
- Klammern 172.
- Klassifizierung feuerfester Erzeugnisse 3.
- Klebsand 252.
- für Kupolofen 99.
- Klinker, s. a. Zementklinker.
- Klinkerbeton, Eigenschaften 148, 149.
- Klinkersteine als Futter für Zementbrennöfen 143.
- Kohlenasche, Einfluß auf Koks-
ofensteine 127.
- Schmelzpunkt 62—64.
- Zusammensetzung 62 bis 64.
- Verhalten 62—64.
- Kohlengrieswiderstandsofen 111, 198—202.
- Kohlenoxyd, Einwirkung auf Hochofensteine 89.
- Kohlensack des Hochofens 82.
- Kohlensandsteine 14.
- Kohlenstaubfeuerungen 186.
- Kohlenstoffablagerungen in Koks-
ofensteinen 129.
- Kohlenstoff, Einfluß auf Widerstandsfähigkeit der Steine 61.
- im Hochofenbetrieb 83.

- Kohlenstoff, Einwirkung auf den Hochofenschacht 85, 87.
 Kohlenstoffsteine 5, 148, 242, 246.
 Kohlenwaschwasser 120ff.
 — Analyse 126.
 — Zusammensetzung 121.
 Kokerei 115ff.
 Koksasche s. a. Flugstaub, Asche, Staub.
 Koksöfen, Druckbelastung der Steine 28.
 Koksöfenkammer, Zerstörungen durch Salze 124 bis 125.
 Koksöfenseitenwände 27.
 Koksöfensteine, Analyse 126.
 — Anforderungen 115.
 — Belastung 31, 118, 131, 185.
 — Dichte, Porosität 128.
 — Erweichungstemperaturen 117.
 — Kohlenstoffablagerungen 129.
 — Salzanfressung 119.
 — Schmelzpunkt 117.
 — Volumbeständigkeit 118.
 — Ausdehnung 119.
 — Wärmeleitfähigkeit 128.
 — Temperaturwechsel 128.
 — Schlesische 131.
 — chemische Zusammensetzung 131, 134.
 Koksöfenwandzerstörung 255.
 Koksöfenwände, Ausbesserung 129.
 Koks Zusatz zu Zinkmuffelmassen 107.
 Korngröße, Einfluß auf die Standfestigkeit 40.
 Konvertersteine 91.
 Koppers Company 216.
 Kränze 172.
 Kraterzement 129, 252.
 Krystallinische Quarzite s. Felsquarzite.
 Kuhlöfensteine 170.
 Kühlung, s. a. Wasserkühlung.
 Kupfersteinschachtofen, Steine hierfür 101.
 Kupolofen 92.
 Kupolofenausmauerung 97.
 Kupolofenqualität 3.
 Kupolofenschlacke s. a. Flugstaub.
 Kupolofensteine, Haltbarkeit 99.
 — Zerstörung 98.
 — Zusammensetzung 99.
 Kurven der Erweichung 209.
 Laboratoriumsöfen 194, 195ff.
 — mit Gasheizung 217ff.
 Lagerung des ff. Materials 239.
 Längenänderungen der Schamotte, Prüfung 224.
 — s. a. Dehnung, Schwellung, Ausdehnung, Wärmeausdehnung.
 Lebensdauer der Dampfkesselsteine 188.
 — der Kapselmassen 157.
 — der Zementofensteine 150.
 — s. a. Haltbarkeit.
 Leitfähigkeit 48.
 — s. a. Wärmeleitfähigkeit
 Leuchtgasöfen, Stampfverfahren 130.
 — s. a. Gas- oder Gaswerksöfen.
 Leuchtgasöfensteine, Belastung 31.
 Lokomotivfeuerungen 190.
 Lokomotivkessel 186.
 Löschwasser, Alkali Gehalt 126.
 Ludwigvolumenometer 234.
 Luftgas s. Generator.
 Maßhaltigkeit 77—78.
 Magerungsmittel 10.
 Magnesia, Gasdurchlässigkeit 71.
 Magnesiatiegel 96.
 Magnesit, Eigenschaften 148.
 — Wärmeausdehnungskoeffizient 46—48.
 Magnesitsteine 244, 246.
 — Dichte und Porosität 69.
 — Druckfestigkeit 28.
 Magnesitsteine, Erweichen unter Belastung in der Hitze 34.
 — Verhalten unter Belastung 209.
 — Wärmeleitfähigkeit 55.
 Makrostruktur 74—75.
 Mangan, Einwirkung auf Hochofenschachtsteine 84.
 Marquardsche Masse 224, 246.
 Martinofen, Druckbelastung 28.
 — s. a. Siemens-Martinofen.
 Maschinengepreßte Kapseln 159.
 Mauerungsverband beim Kalkofen 153.
 Mechanische Festigkeit 26, 189.
 — Festigkeit, Bestimmung 205.
 — Festigkeit der Kapselmassen 157.
 — Festigkeit s. a. Druckfestigkeit, Festigkeit, Belastung.
 Messingschmelzöfen 102, 176.
 Metallhüttenwerke 100 ff.
 Metallurgische Ansprüche an Steine 100.
 Mikroskopische Prüfung 238.
 Mikrostruktur 76.
 Mineraltrümmer in ff. Tonen 10, 11, 12.
 Mischer s. Roheisenmischer.
 Mischgasgenerator s. Generator.
 Mörtel 249ff.
 — Einwirkung der Zuschläge 254.
 — feuerfeste: Benennung 4.
 — für Martinofensteine 95.
 — Normen 169.
 Muffeln 155, 159.
 — in d. Emailindustrie 160.
 — für Zink 104.
 — für Zinkdestillation, Durchlässigkeit von Dämpfen und Gasen 112.
 Muffelöfen 103, 175.

Nachschwinden, Normen 226.
 — s. a. Normen.
 Nachschwindung 44.
 Nachwachsen, Normen 226.
 — s. a. Wachsen.
 Natriumsalze. s. Salzan-
 griffe, Alkalien, Flußmit-
 tel.
 Natron s. Alkalien .
 Natursandstein 165.
 Neuroder Schiefer-ton 10.
 Neutrale Steine s. halbsaure
 Steine.
 Nickelsteinofen, Steine hier-
 für 101.
 Normalsteine 77.
 Normen für Dampfkessel-
 steine 188, 190.
 — für Glasfenster, 167.
 — für Gasofenster 142.
 — für Nachschwinden 226.

Öfen, In- und Außerbe-
 triebsetzung 45.
 Öfen zur Bestimmung des
 Kegelschmelzpunktes
 195ff.
 Ölgasgenerator 179.
 Optisches Glas, Schmelz-
 häfen hierfür 174.

Photographie, Anwendung
 b. Strukturermittlung 75.
 Pfannen 96.
 Plastizität der Tone 12.
 Porosität 68, 182.
 — Bestimmung 233ff.
 Porositätsbestimmungs-
 verfahren 235.
 — Einfluß auf Koksofen-
 Steine 128.
 — Einfluß auf Stand-
 festigkeit 39.
 — Einfluß auf Wärme-
 ausdehnung 45—48.
 — Einfluß auf die Wärme-
 leitfähigkeit 50.
 — Einfluß auf Wider-
 standsfähigkeit der Steine
 gegen Schlacken 62.
 — des Retortenmaterials
 139.
 — der Zementofenster
 147.

Porositätskoeffizient 236.
 Porzellanofenster 155.
 Pottasche 185.
 Presse zum Prüfen auf
 mechanische Festigkeit
 204—205.
 — s. a. Hebelpresse.
 Preßsteine 91.
 — Einfluß auf die Dichte
 69.
 Pressung der Kapseln 159.
 Prüfmaschine des Tonindu-
 strie-Laboratoriums, Ber-
 lin, zur Ermittlung der
 Standfestigkeit in der
 Hitze 211.
 Prüfung der ff. Steine 191ff.
 Puddelofenster 91.
 Puddingstein 5, 91.
 Pyritmörtel 4.
 Pyroskop 192.

Quarz, Dichte 68.
 — Gasdurchlässigkeit 71.
 — geschmolzener 245.
 — Umwandlung in Tridy-
 mit 15.
 Quarzit, Begriffsbestim-
 mung 14.
 — Einfluß auf Kapsel-
 massen 156.
 — Wärmeausdehnungs-
 koeffizient 46—48.
 Quarzite 13.
 — amorphe 7.
 — krystallinische 7.
 — Umwandlungsgeschwin-
 digkeit 16, 17.
 — Wahl für Silika- und
 Dinasteine 16.
 Quarzmörtel 250.
 Quarzschamottesteine 5,
 118.
 — chemische Zusammen-
 setzung 8.
 — Eigenschaften 8, 9, 148.
 — in der Gießerei 97.
 — Raumänderungen 44.
 Quarz- und Schamotte-
 steine, Umschichtiges
 Einbauen 118.
 Quarzschiefer 146, 149, 153.
 — Krummendorfer 249.
 Quarzstein 5.
 — Dichte und Porosität 69.

Quarztiegel 114.
 Quarz-Tonerde-Mischungen
 Schmelzbarkeit 11.
 Quarzziegel, Normen 169.

Radialsteine 77, 241.
 Rakonitzer Schiefer-ton 10.
 Rast, Steine hierfür 83.
 Raumänderung, Prüfung
 223.
 Raumbeständigkeit 42, 182.
 — Prüfung 223.
 Raumgewicht, Einfluß auf
 Standfestigkeit 39.
 — Einfluß auf die mecha-
 nische Festigkeit 27.
 — Einfluß auf die Wärme-
 ausdehnung 45—48.
 — von Zementofenster
 145.
 Regeneratoren 93.
 Regeneratormaterial 141.
 Rekupe-ratormaterial 141.
 Retortengasöfen, Behand-
 lung 140.
 Retorten aus Silikamaterial
 140.
 — Gasdichtheit 138.
 — Profile 138—139.
 — Porosität 199.
 — Lebensdauer 139.
 — für Zink 104.
 Richtlinien für Dampf-
 kesselsteine 188.
 Ringe 172.
 Ringofenqualität 4.
 Ribbildung in Glashäfen
 173.
 Roheisenmischer 92.
 Rohrleitung, Ausmauerung
 179.
 Rohstoffe für Silika und
 Schamotte 9.

Salzanfressungen in Gas-
 werken 123, 140.
 — bei Koksofen-Steinen
 119ff.
 — bei Silikasteinen 137.
 Salzangriffe 61.
 Salze des Kohlenwasch-
 wassers, Ermittlung 122.
 Salz-einwirkungen 155.
 Salzgehalt des Kohlen-
 waschwassers 121.

Salzgehalt, der Kohle 124.
 Salzglasur bei Koksofen-Steinen 120.
 Sand 252.
 Sandhaltige Kohle, Einwirkung auf Dampfkessel-Steine 191.
 Saure Steine 5, 6.
 — Steine s. a. Silika, Dinas, Tondinas, Deutscher Dinas, Kalkquarzsteine.
 Säurefestigkeit 175.
 Schachtöfen 102, 103.
 — für Zement, Anforderungen an ff. Steine 146.
 Schachtsteine s. Hochofensteine.
 Schamotte, Entstehung des Wortes 8.
 Schamottegießverfahren 171.
 Schamottematerial, Erfahrungen im Kohlendestillationsbetrieb 131.
 Schamottemörtel 250.
 Schamotteofen, In- und Außerbetriebsetzung 45.
 Schamottesteine 5.
 — chemische Zusammensetzung 8.
 — Dichte und Porosität 69.
 — Eigenschaften 148, 149, 246.
 — Erweichung und Belastung in der Hitze 34, 42.
 — Gasdurchlässigkeit 71.
 — Raumänderungen 44.
 — Unterschied vom Silikastein 18.
 — Verhalten unter Belastung 209.
 — Wärmeleitfähigkeit 50 bis 55.
 Schamottetiegel 114.
 Schamottewand eines Koksofens 136.
 Schiefertone, Entstehung, Eigenschaften und Zusammensetzung 10.
 — Schwindung 12.
 Schiffchen 172.
 Schlacken, Einwirkung auf Hochofensteine 83.
 — Einwirkung auf Kalkofen-Steine 151.

Schlacken, Einwirkung auf Schamottesteine 65.
 — Einwirkung auf Zinkmuffeln 109.
 Schlackenabstrichgenerator 179.
 Schlackenanalyse von Kuppelöfen 100.
 Schlackenangriffe 61, 182.
 — Prüfung auf Widerstand gegen 229, 230 ff.
 Schlackenansätze bei Koksofen-Steinen 127.
 Schmelzbarkeit s. a. Schwerschmelzbarkeit, Kegelschmelzpunkt.
 — der Quarz-Tonerde-Mischungen 11.
 Schmelzmittel s. Flußmittel.
 Schmelzöfen für Emaille 161.
 Schmelzpunkt s. a. Kegelschmelzpunkt 20.
 — der Koksofen-Steine 117.
 Schmelztiegel s. Tiegel.
 Schmierton 255.
 Schmiervverfahren bei Koksofenwänden 130.
 Schornsteine 190.
 Schwefelkies, Einwirkung auf Hochofensteine 85.
 Schweißofenqualität 4, 91.
 Schwellung, Prüfung 223 ff.
 — s. a. Dehnung, Ausdehnung, Wärmeausdehnung.
 Schwerschmelzbarkeit 19.
 — Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung 23.
 Schwinden, Normen 226.
 — der Steine 43.
 Schwindrisse 174.
 Schwindung der ff. Tone 12:
 — Prüfung 223 ff.
 Segerkegel 13, 193—194.
 — Einfluß der Ofenatmosphäre 194.
 — Schmelzbarkeit und Zusammensetzung 11.
 Segervolumenometer 234.
 Siemens-Martinofensteine 92.
 Silika 5.

Silika s. a. Kalkquarzsteine.
 — Eigenschaften 148.
 — im Glashüttenbetrieb 166.
 Silikakammern, Außerbetriebsetzung 136.
 Silikamaterial für Gasretorten 140.
 — im Koksofenbetrieb 131 ff.
 — Nachteile im Koksofenbetrieb 135.
 — Verhalten gegen Abkühlung 135.
 — Vorteile im Koksofenbetrieb 133—135.
 Silikamörtel 251.
 Silikaofen, In- und Außerbetriebsetzung 45.
 Silikasteine 7.
 — Abschmelzerscheinungen und andere Eigenschaften 21, 22.
 — amerikanische 132.
 — chemische Zusammensetzung 7.
 — Eigenschaften 246.
 — Erweichung unter Belastung 42.
 — für Martinöfen 93, 94.
 — gutgebrannte 17.
 — Raumänderungen 44.
 — schlechtgebrannte 17.
 — Standfestigkeit unter Belastung in der Hitze 34.
 — Unterschied vom Schamottestein 18.
 — Verhalten gegen Feuchtigkeit 133.
 — Verhalten gegen Salze 133 ff.
 — Verhalten unter Belastung 209.
 — Vorschläge zu neueren Untersuchungsarten.
 — Wachsen bei steigender Temperatur 45.
 — Wahl der Quarzite hierfür 18.
 — Wärmeausdehnungskoeffizient 46—48.
 — Wärmeleitfähigkeit 50 bis 55.

Silikasteine, Zusammensetzung 94, 95.
 Silikawand eines Koksofens 136.
 Silikaziegel 177.
 Sillimanit 93, 176.
 Siloxikon 245.
 Spezifische Wärme 56—59.
 — Wärme, Abhängigkeit von der Temperaturhöhe 57—58.
 — Wärme, Prüfung 228.
 Spezifisches Gewicht 68.
 — Gewicht, Einfluß auf die Wärmeausdehnung 45—48.
 — Gewicht, Ermittlung 233 ff.
 — Gewicht, Rückschlüsse aus seiner Bestimmung 70.
 — Gewicht von Zementofensteinen 145.
 — Gewicht, Zusammenhang mit der Wärmeleitfähigkeit 50.
 Specksteinsteine 246.
 Spinell 176.
 Spinellbildung in Muffelmassen 108.
 Stahlindustrie, Lebensdauer der Steine 96.
 Stahlwerkskupolofen, Stärke der Mauer 98.
 Stahlwerksteine 91 ff.
 Stampfen d. Kupolofens 97.
 Stampfkammern 130.
 Stampfmasse für Koksofenwände 129.
 — quarzhaltige 248.
 Stampfverfahren in der Leuchtgasindustrie 130.
 Standfestigkeit unter Belastung in der Hitze, Bestimmung 29, 34, 207 ff.
 — Abhängigkeit von der Brenntemperatursetzung 37, 38, 40.
 — Abhängigkeit von der Erhitzungsdauer 40.
 — Abhängigkeit von der Korngröße 40.
 — Abhängigkeit von der Porosität und Raumgewicht 39.

Standfestigkeit, Abhängigkeit von der Temperaturhöhe 40.
 — bei verschiedenen Temperaturen 41.
 — unter Belastung 31; s. a. Belastung.
 — unter Belastung der Zementofensteinen 147.
 — Zusammenhang mit anderen Stein-Eigenschaften 36.
 Standfestigkeitsversuche, Einfluß der erhöhten Belastung 35.
 — des Verfassers 35.
 — des Bureau of Standards 36.
 Stärke des Mauerwerks beim Kupolofen 97.
 Staubangriffe 61.
 Staubsack 179.
 Stegerpresse 211.
 Steingrößen 242.
 Stichflammen 174.
 Stockholmer Versuchssofen 219.
 Stopfen 96.
 Stoßofensteinen 96.
 Strahlungsverluste 149.
 Strecksteine 170.
 Struktur 73.
 Suprafax 177.
 Talkschiefer im Gießereiofen 97.
 Temperaturen, Einfluß auf Standfestigkeit 40, 41.
 Temperaturhöhe, Einfluß auf die Wärmeleitfähigkeit 51, 54.
 — Einfluß auf die spezifische Wärme 57.
 Temperaturmessung 209.
 Temperaturverhältnisse im Probekörper bei Standfestigkeitsversuchen 37.
 Temperaturwechsel 182.
 — Einfluß auf Koksofensteine 128.
 — Prüfung auf Widerstand gegen — 228 ff.
 — Verhalten der Steine hierbei 59.
 Thomasverfahren 92.

Tiefensteinen 96.
 Tiegel 96, 113—114.
 Tiegelofen 103, 175.
 Tiegelofensteinen 96.
 Tone 245.
 — akzessorische Beimengungen derselben 12.
 — Bildungsweise 25.
 — chemische Zusammensetzung 13.
 — Erweichungserscheinungen 13.
 — feuerfeste, Entstehung 9.
 — Schmelzpunkt 13.
 — Wärmeausdehnungskoeffizient 46—48.
 Tondinas 5.
 Tondinassteine, chemische Zusammensetzung 7.
 Tonerde 10, 246.
 Tonerdegehalt, Einfluß auf Qualität der Schamottesteine 24.
 Tonerde-Quarzmischungen, Schmelzbarkeit 11.
 Tonerdesteine 148.
 Tonerdetiegel 96.
 Tongebundene Steine 6.
 Tonindustrie-Laboratorium Prüfmaschine für Steinerweichung in der Hitze 211.
 Tonquarzsteine 5, 6.
 — chemische Zusammensetzung 7.
 — s. a. Dinas und Tondinas.
 Tonsteine 5.
 Tonsubstanz 10.
 Transport der ff. Steine 189, 240.
 Tropfwasser s. Kohlenwaschwasser.
 Tridymit 14, 15.
 — Dichte 68.
 — Entstehung aus Quarz 44.
 Überzüge 249, 255.
 Ultramarinofen 175.
 Ungebrannte Steine 247.
 Untersuchung s. Prüfung.
 Unterwindfeuerungen 190.

Värtagaswerk, Versuche über Standfestigkeit in der Hitze 32—34.
 Verladen 189, 240.
 Verpackung 189.
 Versuchsöfen s. Laboratoriumsöfen.
 Volumenbeständigkeit 44.
 Volumgewicht, Bestimmung 233 ff.
 — der Zementofen-Steine 145.
 Volumenmesser 234.
 Volumenometer 234.
 Vorlagen der Zinkreduktionsgefäße 113.
 Vulkan-Kaolinsand 97.

Wachsen der Steine 43.
 — Normen 226.
 Walzwerksofensteine 96.
 Wangen 187.
 Wanne s. Glaswanne oder Glasschmelzwanne.
 Wannenmaterial 161, 162.
 Wärme, spezifische s. Spezifische Wärme.
 Wärmeausdehnung 42.
 — Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren 45 bis 48.
 Wärmeleitfähigkeit 48.
 — Abhängigkeit von Porosität 68.
 — äußere 53.
 — des Carborundsteines 146.
 — der Kalkofensteine 153.
 — der Koksofensteine 128.
 — innere 52.

Wärmeleitfähigkeit Prüfung 228.
 — bei steigender Temperatur 51, 54.
 — Zahlenbeispiel 56.
 — im Zusammenhang mit Porosität, Zusammensetzung usw. 50.
 Wärmeverluste durch Strahlung 149.
 Wärmeverteilungsgeschwindigkeit 55.
 Wärmeofensteine 96.
 Waschwasser s. Kohlenwaschwasser.
 Wasseraufnahme der Kapselmassen 158.
 — der Steine 69.
 Wassergenerator s. Generator.
 Wasserkühlung bei Hochofensteinen 82.
 Wasserrisse 174.
 Widerstand gegen chemische Angriffe 61.
 Winderhitzer s. a. Cowper.
 Winderhitzerqualität 58.
 Winderhitzersteine 89—90.
 — Druckbelastung 90.
 — Zerstörungsursachen 90.
 Windleitungssteine 91.
 Witterungseinflüsse 239.

Zelligwerden der Steine 163.
 Zement, feuerfester 249.
 Zementdrehofen, Ansatzanalysen 145, 147.
 — Lebensdauer der ff. Steine 150.
 Zementklinker 143, 148, 149.

Zementofensteine, 142ff.
 — Eigenschaften 148.
 — Lebensdauer 147.
 — Prüfung nach Störmer 143.
 — Raumgewicht 145.
 — Zusammensetzung 142.
 Zementschachtofensteine 146.
 Zerstörung, frühzeitige und ihre Ursachen 1, 2.
 Ziegelbrennöfen 154ff.
 Zinkdämpfe, Einwirkung auf Hochofensteine 89.
 Zinkdestillierofen 103.
 Zinkgehalt der Muffelmassen 106.
 Zinkindustrie, Steinqualität 111.
 Zinkmuffeln, Blaufärbung 108.
 — Durchlässigkeit von Dämpfen und Gasen 112.
 — Glasieren 106.
 Zinkmuffelmassen, Lebensdauer 105.
 Zinkoxydaufnahme durch Muffeln und Retorten 110.
 Zinkreduktionsgefäße, Anforderungen 104.
 — Zerstörungsursachen 105.
 Zinnflammofen, Steine hierfür 102.
 Zinnschachtofen, Steine hierfür 101.
 Zirkon 176.
 Zirkonoxyd 146, 246.
 Zugverhältnisse bei Dampfkesseln 186.

VERLAG VON OTTO SPAMER IN LEIPZIG-REUDNITZ

Seit Januar 1925 erscheint:

FEUERFEST

Zeitschrift für Gewinnung, Bearbeitung, Prüfung
und Verwendung feuerfester Stoffe

Schriftleitung:

Ob.-Ing. L. LITINSKY

Erscheint monatlich einmal. / Vierteljährlich 2.80 Goldmark

Für das Ausland Zuschlag für Porto usw.

Die Zeitschrift stellt sich die Aufgabe, ein Bindeglied zwischen Verbrauchern und Erzeugern zu werden. Da jede Industrie, jeder Fabrikationsprozeß an das feuerfeste Material besondere Ansprüche stellt, so ist für dieses Industriegebiet ein Fachorgan ein tatsächliches Bedürfnis, um den modernen Methoden der Gewinnung, der Prüfung nachfolgen zu können. Das Programm der Zeitschrift umfaßt die Gewinnung und Aufbereitung der Rohstoffe, die Bearbeitung dieser Stoffe zu feuerfesten Steinen, die Anforderungen der verschiedensten Industriezweige, die charakteristischen Eigenschaften einzelner Fabrikationsprozesse in ihren typischen Wechselwirkungen, die Prüfung und Beurteilung der feuerfesten Stoffe und schließlich Normalisierungsfragen.

★

PROBENUMMERN KOSTENLOS VOM VERLAG

VERLAG VON OTTO SPAMER IN LEIPZIG-REUDNITZ

M E S S U N G G R O S S E R G A S M E N G E N

Anleitung zur
praktischen Ermittlung großer Mengen von Gas- und
Luftströmen in technischen Betrieben

von

Ing. L. LITINSKY

Mit 138 Abbildungen, 37 Rechenbeispielen, 8 Tabellen im
Text und auf einer Tafel, sowie 13 Schaubildern und Rechentafeln im Anhang
Geh. 16 Goldmark, geb. 18 Goldmark.

Glückauf: Eine zusammenfassende Darstellung des Standes auf diesem Sondergebiete des Meßwesens und der gewonnenen Erfahrungen wird vielen Betriebsleitern sehr willkommen sein. Der Verfasser des vorliegenden Buches versucht mit großer Gründlichkeit diese Übersicht zu geben. Seine Arbeit erstreckt sich auf das Gesamtgebiet der Gasmessungen und auf eine vergleichende Abschätzung der Meßarten. Theoretische Erörterungen finden nur insoweit Platz, als sie zum Verständnis der Meßverfahren nötig sind. Überall sind die praktischen Dinge in den Vordergrund gerückt. Ein genaueres Unterrichten über Einzelheiten ist durch entsprechende Hinweise auf Arbeiten in dem Schrifttum erleichtert. Durchgerechnete Zahlenbeispiele fördern die Beurteilung der Meßgeräte und die richtige Auswertung der Meßergebnisse.

Das Buch ist ein wertvoller Berater des Wärmetechnikers und Betriebsleiters in allen Fragen der Gas- und Luftmessungen. Einwände gegen den sachlichen Inhalt sind nicht zu erheben.

Journal of the Society of Chemical Industry: The present volume can be heartily recommended. It should appeal especially to the chemical technologist, as throughout the practical aspect is kept well in the foreground. — Each chapter concludes with a most valuable comparison of the relative merits and demerits of the various types of instruments described.

Chaleur et Industrie: M. Litinsky montre dans son livre que l'on peut facilement mesurer des quantités de gaz. Il examine toute les méthodes qui ont été employées ou proposées, les compare entre elles, et expose les avantages et les défauts de chacune. C'est le premier ouvrage, à notre connaissance du moins, où la question de la mesure des quantités de gaz soit traitée dans son ensemble. A ce titre il sera précieux, car les ingénieurs qui auraient à traiter un problème de ce genre y trouveront rapidement les renseignements dont ils ont besoin.

WÄRMEWIRTSCHAFTSFRAGEN

Von

Obering. L. LITINSKY

Mit 40 Abbildungen und 17 Tabellen. Geh. 4.70 Goldmark, geb. 5.50 Goldmark.

Inhalt: Wärmetechnische Berechnung eines Gaskammerofens zum Brennen von Schamottewaren — Wärmebilanz eines Glasschmelzofens — Erfahrungen mit Holzgeneratoren — Regenerator oder Reku­perator — Einzelgenerator oder Zentralgenerator in Gaswerken — Ermittlung des Wärmeverbrauchs für die Kohlendestillation — Zur Beurteilung der Wärmeverluste im Schornstein nach dem CO₂-Gehalt der Abgase — Trockene oder nasse Löschweise des Kokses.

Haustechn. Rundschau: Die wärmetechnisch interessierten Fachkreise werden in dem Buche viel Angenehmes und in den ausgerechneten Beispielen nützliche Hinweise finden, die sich auch in anderen als den behandelten Sonderfällen vorteilhaft verwerten lassen dürften. Verfasser verfügt offenbar über weitreichende Kenntnisse und Erfahrungen auf feuerungs- und gastechischem Gebiete, die ihn befähigen, wärmetechnische Fragen in ihren Einzelheiten zu klären und diese in leichtverständlicher Form dem Verständnis des Lesers nahezubringen.

VERLAG VON OTTO SPAMER IN LEIPZIG-REUDNITZ

ZERKLEINERUNGS- VORRICHTUNGEN UND MAHLANLAGEN

VON
CARL NASKE
ZIVILINGENIEUR

Dritte, erweiterte Auflage. Mit 415 Figuren im Text.
Geh. 14 Goldmark, geb. 16 Goldmark.

Die chemische Industrie: Das Buch von Naske, welches als Muster und Vorbild einer Monographie über ein bestimmtes technologisches Gebiet gelten kann . . . Alles in allem hat der Autor es verstanden, in einer flüssigen und klaren Sprache, die alles Überflüssige ausscheidet, dem Leser in mustergültiger Weise das Gebiet der Zerkleinerungsmaschinen und Zusatzapparate zu erschließen . . . Vor allem verdienen die bildlichen Darstellungen besonderes Lob.

Dinglers polytechnisches Journal: Der leichtverständliche Text wie die vorzüglichen Abbildungen der einzelnen Maschinen und ihrer hauptsächlichsten Konstruktionsteile gestalten das Werk zu einer wertvollen Bereicherung unserer technischen Literatur . . . In dem gesamten Werk spürt man die eingehende Arbeit eines anerkannten Fachmannes, der den Gegenstand vollkommen beherrscht und die einzelnen Teile kritisch zu würdigen versteht.

Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure: Bei den Beschreibungen aller Maschinen ist mit gründlicher Sachkenntnis und anerkennenswertem Verständnis der Bedürfnisse der Praxis vorgegangen, und man erkennt aus der klaren, ansprechenden Schreibweise, aus der Schilderung der Konstruktionseinzelheiten, daß der Verfasser aus dem wirklichen Betriebe geschöpft hat und auch für den praktischen Betrieb seine Ratschläge gibt . . . Das ganze Werk dürfte sowohl dem Ingenieur, der sich mit der Ausführung von Zerkleinerungsanlagen befaßt, wie auch dem Betriebsingenieur und Betriebschemiker ein treuer Berater sein.

Sprechsaal, Koburg: Ein Bild des reichen Inhalts des Werkes gewinnt man aus den nachstehend kurz angeführten Kapiteln mit deren Unterabteilungen . . . Der Verfasser hat die ihm gestellte Aufgabe mit vielem Geschick und großer Sachkenntnis gelöst; die Ausführungen sind klar und zeugen von intensiver Beschäftigung mit der Materie und von reicher Erfahrung, was namentlich in der Beurteilung der Arbeitsweise der verschiedenen Ausführungsformen der beschriebenen Maschinen zum Ausdruck kommt. . . . Im großen ganzen hat Naske ein schönes Buch verfaßt von dauerndem Wert, das nicht nur im engeren Kreise der Chemiker und Ingenieure Beifall finden wird, sondern überhaupt bei allen, die einen Überblick über das große Gebiet der Zerkleinerungsmaschinen gewinnen wollen und damit zu tun haben.

VERLAG VON OTTO SPAMER IN LEIPZIG-REUDNITZ

KRAFTGAS

THEORIE UND PRAXIS DER VERGASUNG FESTER BRENNSTOFFE

Von

PROFESSOR DR. FERD. FISCHER

Zweite Auflage, neu bearbeitet und ergänzt von

DR.-ING. J. GWOSDZ, REGIERUNGSRAT

Mit 245 Figuren.

Geh. 12 Goldmark, geb. 15 Goldmark

★

Inhaltsübersicht:

Einleitung. — Beurteilung von Kraftgas. — Rohstoffe für die Herstellung von Kraftgas. — Entgasung. — Vergasung. — Ammoniakbildung bei der Entgasung und Vergasung. — Gasbildung im Generator. — Leuchtgas, Kokereigas und Schwelgas. — Wassergas. — Bestandteile der Gaserzeuger (Generatoren). — Gasgeneratoren mit Gebläsebetrieb. — Generatoren für Gewinnung von Nebenerzeugnissen. — Sauggasanlagen. — Sauggaserzeuger für teerabgebende Brennstoffe. — Hochofengase. — Register.

★

Glückauf: Nach Ferdinand Fischers Tode konnte für die Neubearbeitung nur ein Fachmann von der Bedeutung des Regierungsrates Gwosdz in Betracht kommen. Gwosdz hat seine Aufgabe glänzend gelöst; er hat ganz im Sinne Fischers die Neuheiten der Theorie und Praxis der Vergasung fester Brennstoffe neu bearbeitet und ergänzt.

Sprechsaal: Die Durchsicht des Buches zeigt uns den Bearbeiter auf der Höhe seiner Aufgabe... Der Verfasser konnte als anerkannter Fachmann überall aus dem vollen schöpfen, und das kommt dem Buche zugute. Alle Industrien, die mit Kraftgas arbeiten, werden daher das Werk nur mit Vorteil benutzen und sich daraus Rat und Anregung holen.

Zeitschrift für angewandte Chemie: Es galt zu sichten, das Material dem System anzupassen und, wo ein Schema noch nicht vorhanden war, neue Kapitel einzufügen. Dies ist dem Bearbeiter in ganz hervorragender Weise gelungen... Wie der Bearbeiter beispielsweise die charakteristischen Merkmale der einzelnen Gaserzeugerkonstruktionen an der Hand ausgezeichneter Zeichnungen hervorhebt, muß als vorbildlich bezeichnet werden.

Chemiker-Zeitung: Was an brauchbaren Verfahren und Vorrichtungen betr. Kraftgas bekannt ist, findet sich in dem Buch unter einheitlichen Gesichtspunkten in übersichtlicher Weise zusammengestellt und durch einen Text verbunden, dem man überall die Sachverständigkeit seines Verf. anmerkt.

VERLAG VON OTTO SPAMER IN LEIPZIG-REUDNITZ

DER WÄRMEINGENIEUR

Führer durch die industrielle Wärmewirtschaft
Für Leiter industrieller Unternehmungen und den praktischen
Betrieb dargestellt

Von

Städt. Baurat Dipl.-Ing. Julius Oelschläger
Oberingenieur, Wismar

Zweite, vervollkommnete Auflage

Mit 364 Figuren im Text und auf 9 Tafeln. Geh. Gm. 21.—; geb. Gm. 24.—

Aus den Besprechungen der ersten Auflage:

Wochenblatt für Papierfabrikation: Endlich ist ein Buch erschienen, welches wie kein zweites bisher geeignet ist, als Nachschlagewerk für den Betriebswärmeingenieur zu dienen. Noch größeren Wert aber hat dieses Buch meiner Ansicht nach als kurzgefaßtes Lehrbuch für die Ausbildung der Wärmetechniker an allen technischen Lehranstalten. — Das Werk enthält, fundamental entwickelt, eine zusammengefaßte Übersicht über die gesamte Wärmetheorie einschließlich der neuesten Forschungen mit allen notwendigen Formeln, Tabellen und Schaubildern und eine folgerichtige Zusammenstellung aller in der Praxis zur Wärmeerzeugung oder Wärmeverwendung dienenden Apparate und Hilfsmittel nebst knapper, aber leichtverständlicher Beschreibung und Anwendungserklärung. Ich habe bis jetzt kein Buch gefunden, welches wie das vorliegende geeignet wäre, in geradezu idealer Weise dem angehenden Techniker die gesamte Wärmelehre und Anwendung zu erschließen, und ich kann allen Lehranstalten nur dringend raten, ihren Lehrplan diesem vorzüglich aufgebauten Buche anzupassen.

Brennstoff- und Wärmewirtschaft: . . . eine fleißige, verdienstvolle Arbeit, deren Anschaffung empfohlen werden kann.

Gesundheitsingenieur: . . . Das Werk Oelschlägers wird allen denen, die im Bereich der Kraft- und Wärmewirtschaft arbeiten, willkommen sein, so daß es die im Titel angegebene Aufgabe wohl zu erfüllen vermag.

Papierzeitung: Die Frage der Verwendung minderwertiger Brennstoffe, der Verwertung von Abwärme und die Wärmewirtschaft ganzer Anlagen wird eingehend erörtert. An Hand des Buches läßt sich an jeder Stelle die Prüfung der Energie und besonders der wärmetechnischen Verhältnisse ermöglichen. . . Die Arbeit zeugt von großer Gründlichkeit; der Verfasser geht im Aufbau zielbewußt seinen eigenen Weg. Dabei gibt das Buch an Hand von vielen klaren Abbildungen und Schaubildern in wissenschaftlich einwandfreier Darstellung des Jetztstandes unserer Wärmewirtschaft dem technisch tiefer gebildeten Betriebsleiter ein Bild vom Erreichten und Möglichen . . .

Dinglers polytechnisches Journal: . . . was der kenntnisreiche Verfasser mit Bienenfleiß und bewundernswertem Geschick hier zusammengetragen hat . . . Kein Wärmefachmann wird das Werk entbehren mögen, jeder Nichtfachmann aus ihm wenigstens durch Nachschlagen wertvollste Aufklärung ziehen. Allerwärts sollte es studiert und benutzt werden.

Haustechnische Rundschau: Dieses hochbedeutsame Werk gibt einen Überblick über die Gebiete der industriellen Wärmetechnik . . . wird das Buch, das mit großer Sachkenntnis nicht nur auf dem Gebiete der Wärmetechnik, sondern auch auf vielen der näher behandelten Sondergebiete geschrieben ist, den Leitern solcher Betriebe wertvolle Anregungen und Anleitungen geben, wie sie deren Wirtschaftlichkeit verbessern können. . . Zum Studium der in die Wärmewirtschaft industrieller Betriebe einschlägigen Fragen und Aufgaben kann das Buch allen Werksleitern, Betriebsingenieuren, Zivilingenieuren und Studierenden wärmstens empfohlen werden.

VERLAG VON OTTO SPAMER IN LEIPZIG-REUDNITZ

CARBID UND ACETYLEN

als Ausgangsmaterial für Produkte der chemischen Industrie

Von

Prof. Dr. **J. H. Vogel** und Dr.-Ing. **Armin Schulze**
Berlin Altenburg

Mit 2 Figuren im Text

Geheftet 5.— Goldmark, gebunden 6.50 Goldmark

FEUERUNGSTECHNIK

ZEITSCHRIFT FÜR DEN BAU UND BETRIEB
FEUERUNGSTECHNISCHER ANLAGEN

Schriftleitung:

DIPL.-ING. DR. P. WANGEMANN

Erscheint monatlich zweimal / Vierteljährlich 4 Goldmark
Für das Ausland Zuschlag für Porto usw.

Die „Feuerungstechnik“ soll eine Sammelstelle sein für alle technischen und wissenschaftlichen Fragen des Feuerungswesens, also: Brennstoffe (feste, flüssige, gasförmige), ihre Untersuchung und Beurteilung, Beförderung und Lagerung, Statistik, Entgasung, Vergasung, Verbrennung, Beheizung. — Bestimmt ist sie sowohl für den Konstrukteur und Fabrikanten feuerungstechnischer Anlagen als auch für den betriebsführenden Ingenieur, Chemiker und Besitzer solcher Anlagen.

CHEMISCHE APPARATUR

ZEITSCHRIFT FÜR DIE MASCHINELLEN UND APPARATIVEN
HILFSMITTEL DER CHEMISCHEN TECHNIK

Schriftleitung: Zivilingenieur **BERTHOLD BLOCK**

Erscheint monatlich zweimal / Vierteljährlich 4 Goldmark
Für das Ausland Zuschlag für Porto usw.

Die „Chemische Apparatur“ bildet einen Sammelpunkt für alles Neue und Wichtige auf dem Gebiete der maschinellen und apparativen Hilfsmittel chemischer Fabrikbetriebe. Außer rein sachlichen Berichten und kritischen Beurteilungen bringt sie auch selbständige Anregungen auf diesem Gebiete. Die „Zeitschriften- und Patentschau“ mit ihren vielen Hunderten von Referaten und Abbildungen sowie die „Umschau“ und die „Berichte über Auslandpatente“ gestalten die Zeitschrift zu einem **ZENTRALBLATT FÜR DAS GRENZGEBIET VON CHEMIE UND INGENIEURWISSENSCHAFT**