Die Qualitätsbewertung feuerfester Steine

Autor(en): **Zschokke, Bruno**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **71/72 (1918)**

Heft 8

PDF erstellt am: **24.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-34798

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Licht empfängt der bis ins Dach durchgehende Hauptraum aus einem hochliegenden Fenster; er kann bei Bedarf rasch und gründlich über Dach gelüftet werden. Von ihm aus wird der ganze Hausbetrieb geleitet, in ihn führen unmittelbar alle Nebenräume: der kleine Vorratskeller, die Treppe zu den Schlafkammern, der Windfang von der Strasse her wie der Ausgang durch einen halboffenen sonnigen Werkschopf nach dem Garten, und endlich der Zugang zum kleinen Feierabend-Stübli, dem behaglichen Wohnraum des Hauses. In den beigegebenen Grundrissen, noch deutlicher in den vier Schnitten (Abb. 23 bis 26) sind sowohl die Verwendungsart der Räume wie auch ihre entsprechende konstruktive Durchbildung angedeutet.

Das Ganze beruht auf mannigfacher Beobachtung der Lebensweise und Lebensbedürfnisse einfacher, in ländlicher Umgebung meist glücklich und zufrieden lebender kleinen Leute. Der auf den ersten Blick etwas romantisch anmutende Vorschlag gewinnt bei näherer Betrachtung und Ueberlegung immer mehr an Glaubwürdigkeit, an Wirklichkeitwerten. Man findet ähnlich gestimmte Behausungen unter verschiedenen Himmelstrichen, im sonnigen Süden wie in Holland, vor allem in unsern Gegenden. Diesen ist der Entwurf speziell angepasst, insbesondere in der Orientierung der Bauten, wie auch aus der Fassaden-Gestaltung hervorgeht. Die Grundriss-Anordnung für die Häuser an der Sonnseite der Strasse zeigt Abb. 27. Grundsätzlich liegt der Arbeitraum an der Schattseite, wie in fast allen Bauernhäusern, Stübli und Schlafkammern dagegen nach Süden.

In der dargestellten Breite genügt der Typus einer Familie mit drei bis vier Kindern; eine weitere Schlafstelle bietet der Schragen im Stübli. Für grössere Bettenzahl lässt sich leicht sorgen durch Verbreiterung des Grundrisses um etwa 2,5 *m*, wodurch unten und oben je eine durchgehende Kammer zu je zwei Betten, sowie der Kopfzahl entsprechende Pflanzland-Vermehrung gewonnen wird. Ein anderes Mittel deutet der Verfasser an in kleinen, auf der Grenze stehenden Nebengebäuden, die je nach dem, anfänglich ja nicht bekannten, Bedarf an Betten (eventuell Werkstatt oder Stall) später errichtet werden können.

Es ist klar, dass dieses Kleinhaus in der Kubatur des Hauptraums einen gewissen Luxus bedeutet, mit blos etwa 60 Bewohnern pro *ha* auch bezüglich des Landbedarfs. Es ist eben für mehr ländliche Verhältnisse bestimmt, als weiträumige Wohnkolonie ausserhalb der Stadt auf billigem, mit Bahn oder Trambahn rasch erreichbarem Land. Der Verzicht auf jegliche sogen. bessere Ausstattung im Sinne städtischer Anforderungen an die Wohnungseinrichtung bringt andererseits entsprechende Einsparungen in Bau und ganz besonders im Haushalt-Betrieb mit sich.

Schliesslich muss überlegt werden, dass der in Geldwert nicht messbare Gewinn an Gesundheit und Zufriedenheit der Bewohner, an einem kräftigen, einfach gewöhnten Nachwuchs doch viel schätzenswerter ist, als kleine Raum-Einsparungen auf Kosten der Brauchbarkeit und Behaglichkeit der Wohnung. Das wissen einsichtige Grossindustrielle schon längst, wie die weiträumigen, z. B. im Rheinland blühenden Arbeiterkolonien lehren. Dem Vorschlag von Arch. M. Haefeli können wir nichts besseres wünschen, als dass eine unserer grossen Fabrikunternehmungen sich entschliessen möchte, durch einen Versuch seine Zweckmässigkeit zu erproben und, woran wir gar nicht zweifeln, einer breitern Oeffentlichkeit auch zu beweisen.

Die Qualitätsbewertung feuerfester Steine.

Von *Bruno Zschokke*, Prof. a. d. E. T. H.,
Adjunkt der Schweiz. Materialprüfungsanstalt.

(Schluss von Seite 59.)

Beim Erhitzen auf höhere Temperaturen wird demnach zuerst der Bestandteil mit dem niedrigsten Schmelzpunkt sich verflüssigen, während die übrigen noch völlig fest sind; es wird also zunächst bloss eine mehr oder minder starke Erweichung und erst mit der allmählichen Verflüssigung der andern Komponenten eine vollständige Schmelzung des Materials eintreten. Noch verwickelter gestalten sich aber die Verhältnisse, wenn bei höherer Temperatur ein oder mehrere Bestandteile des Steins mit den andern Lösungen bildet oder in *chemische* Wechselwirkung eintritt. Hierbei kann man dann oft die auffällige, aber durch die physikalischen Gesetze über die eutektischen Legierungen leicht erklärliche Erscheinung beobachten, dass das Steinmaterial einen erheblich niedrigeren Schmelzpunkt aufweist, als jeder einzelne seiner Bestandteile für sich allein.

Je nach der Natur und dem gegenseitigen Mengen-Verhältnis der verschiedenen Bestandteile eines feuerfesten Steins kann demnach der Temperaturbereich vom Beginn der ersten Erweichung (Sinterung) an bis zur vollständigen Verflüssigung, oft nur wenige, weit häufiger aber 50 bis 100 und noch mehr Grad betragen. Sind nun noch die Steine in einem Ofen vermauert, so wird an allen jenen Stellen, wo sie die oft bedeutende Last des darüber lagernden Mauerwerks zu tragen haben, die Erweichung und die damit verbundene Formänderung sich bei noch niedriger Temperatur fühlbar machen, als bei kleinen Probekörpern.

Aus diesen Betrachtungen geht ohne weiteres hervor, dass es nicht wohl angeht, den Schmelzpunkt von feuerfesten Steinen mittelst der sonst üblichen elektrischen oder optischen Pyrometer zu messen, sondern dass man zweckmässiger deren Erweichungsgrad in höherer Temparatur mit demjenigen der sog. *Seger'schen Schmelzkegel* vergleicht, deren Theorie und praktischer Gebrauch als bekannt vorausgesetzt werden dürfen. Man bezeichnet dann bekanntlich, nach rein konventionellen Abmachungen, als Schmelzpunkt des Materials denjenigen Erweichungsgrad, bei denen der Probekörper, bzw. der entsprechende Segerkegel, unter der Last des Eigengewichts mit seiner Spitze die Unterlage berührt, oder bei dem die scharfen Kanten der Kegel verschwunden, wobei sich ein Zusammensinken der Kegel bemerkbar macht. Der Schmelzpunkt wird dann durch die entsprechende Nummer des Segerkegels, welcher ein gleiches Verhalten zeigt, ausgedrückt. Nachdem übrigens seit etwa zehn Jahren die Schmelzpunkte der Segerkegel durch die physikalisch-technische Reichsanstalt in Berlin genau bestimmt worden, darf man, wenigstens mit annähernder Genauigkeit, an Stelle der Segerkegel-Nummer auch die entsprechenden Zentigrade einsetzen.

Zur Bestimmung der *Sinterungs- und Erweichungs-Verhältnisse* von feuerfesten Materialien bedient man sich auch heute noch in den Laboratorien fast allgemein des mit Retortengraphit geheizten Devilleschen Gebläseofens, in dem man mühelos in einer halben oder dreiviertel Stunden Temperaturen von etwa 1850° (Segerkegel 38) erreichen kann. Als ein Nachteil dieses Ofens muss allerdings bezeichnet werden, dass darin nur sehr kleine Versuchkörper von etwa 3 *cm* Höhe erprobt werden können, dass diese während des Versuchs der Sicht entzogen sind und der Schmelzpunkt daher nur durch eine Reihe von mehreren Versuchen ermittelt werden kann. Versuche mit grössern Muffeln und grössern Versuchkörpern, an welch letztern alle durch die Hitze bewirkten Aenderungen besser beobachtet werden könnten, scheiterten bisher an der praktischen Schwierigkeit, solche Versuchkörper gleichmässig zu erhitzen, eine Bedingung, die bei vergleichenden Versuchen mit Segerkegeln unbedingt erfüllt sein muss, um einwandfreie Resultate zu erhalten. Bei allen Laboratorium-Versuchen fällt ausserdem ein Moment ausser Betracht, das in der Praxis eine sehr grosse Rolle spielt: die *Zeit*, d. h. die *Dauer der Erhitzung*. Man darf daher die Ergebnisse, die mit genanntem Ofen erhalten werden, nicht ohne weiteres auf die praktischen Verhältnisse übertragen. Sie sind hauptsächlich da von Wert, wo es sich darum handelt, das pyrometrische Verhalten *mehrerer* Materialien *nebeneinander* zu vergleichen.

Da die sehr wünschbaren *Dauerversuche* mit ganzen Steinen aber grosse Versuchöfen mit einem sehr kostspieligen Betrieb erfordern und aus diesem Grunde in Laboratorien nicht wohl durchgeführt werden können, ist es

angezeigt, solche Versuche in einer schon vorhandenen und dazu geeigneten industriellen Feuerung durchzuführen. Es geschieht dies am besten dadurch, dass man einzelne Versuch-Steine in einen Feuerzug einsetzt, der ein leicht verschliessbares Guckloch besitzt. Derartige Versuche, die es auch gestatten, die Temperatur des Ofens periodisch mit einem optischen Pyrometer (z. B. dem Wannerschen oder Féryschen Pyrometer) nachzukontrollieren, haben, abgesehen davon, dass sie keinen besondern und kostspieligen Aufwand an Brennmaterial erfordern, den weitern Vorteil, dass sie auch die Wirkung der Beimengungen der Feuergase zum Ausdruck bringen, was bei Laboratorium-Versuchen, wo die Probekörper in Muffeln eingeschlossen sind, bekanntlich nicht der Fall ist. Besonders geeignet für derartige Versuche sind die Retortenöfen von Gaswerken, die wochenlang kontinuierlich im Betrieb stehen, und in denen ziemlich konstante Temperaturen von 1350° bis 1400° herrschen.

Auf die Lage des Schmelzpunktes von feuerfesten Steinen haben aber nicht nur Natur- und Mengenverhältnis der Komponenten, sondern noch eine Reihe anderer Faktoren einen ganz wesentlichen Einfluss, Faktoren, die teils *im Material selbst* liegen, teils *von aussen* auf dieses einwirken. Zu den erstern gehört einmal, wenn wir von den verschiedenen Fabrikationsmethoden der Steine absehen, die *Korngrösse* der einzelnen Bestandteile. Diese ist besonders von Wichtigkeit, wenn in höheren Temperaturen einzelne Bestandteile des Steins chemisch auf einander einwirken. Je feinkörniger die Bestandteile gemahlen, je inniger sie gemischt, um so leichter wird unter sonst gleichen Umständen die gegenseitige chemische Reaktion eintreten. So haben denn auch vielfache Versuche bei Chamotte-Steinen ergeben, dass Probekörper, hergestellt aus dem feinst gepulverten Steinmaterial, im Vergleich zu solchen, die aus dem Stein selber herausgearbeitet wurden, einen um 1 bis 2 Segerkegel, d. h. um 20 bis 50° tiefern Schmelzpunkt besitzen. Daher gilt auch in den Laboratorien als Regel, für die Schmelzpunktbestimmungen die Probekörper, wo immer möglich, aus dem Stein herauszuschneiden.

Zu den *innern Faktoren,* welche die Haltbarkeit eines feuerfesten Steins stark beeinflussen, gehört zweitens der *Porositätsgrad,* der namentlich da stark in Erscheinung tritt, wo die Ofensteine dauernd mit geschmolzenen Metallen oder Schlacken in Berührung stehen. Je poröser der Stein, eine desto grössere Angriffsfläche bietet er den genannten Agentien, um so leichter dringen diese ins Innere des Steins, und um so rascher wird dieser zerstört. Freilich bieten poröse Steine in anderer Richtung auch wieder gewisse Vorteile. So sind sie natürlich spezifisch leichter als die dichten Steine, und gegenüber schroffen Temperaturwechseln wesentlich widerstandfähiger, d. h. bei raschem Anheizen und Abkühlen von Oefen, oder beim Oeffnen von Ofentüren springen sie weniger leicht.

Zu den *Faktoren äusserer Art,* welche die Schmelzbarkeit feuerfester Steine in hohem Masse beeinflussen, gehören die verschiedenen Agentien, mit denen die feuerfesten Steine bei höhern Temperaturen zusammenkommen. Als solche wären zu nennen: die Bestandteile der Feuergase, wie Sauerstoff, Kohlensäure, Kohlenoxyd; saure, alkalische oder salzige Dämpfe, Flugasche, sodann flüssige Metalle, saure und basische Schlacken. Am bekanntesten ist wohl die Wirkung der *Flugasche* der Steinkohlen. Wie wohl in den meisten industriellen Feuerungen mit gewöhnlicher Rost- oder Generatorfeuerung die Temperaturen sich nur etwa zwischen 1000 und 1500° bewegen, die zu solchen Oefen verwendeten Chamottesteine aber einen Schmelzpunkt von 1650 bis 1750° besitzen, zeigen diese doch schon nach kürzerer oder längerer Zeit eine rot- oder schwarzbraun gefärbte, glänzende, verschlackte Oberfläche, eine Erscheinung, die nur eine Folge der chemischen Einwirkung der Flugasche auf das Chamottestein-Material ist. Ueber die ziemlich stark variierende Zusammensetzung solcher Flugaschen geben die in folgender Tabelle zusammengestellten, in der Eidg. Prüfungsanstalt für Brennstoffe ausgeführten chemischen Analysen Aufschluss:

Nr.	Material	Aschengehalt in %	Zusammensetzung der Asche in %							Verhältn.
			SiO_2	Al_2O_3 + P_2O_5[1]	F_2O_3	CaO	MgO	Alkal. (diff.-)	SO_3	$\frac{SiO_2}{Al_2O_3}$
1	Saarkohle	6,7	32,70	22,70	18,70	9,07	0,31	10,64	5,88	1,44
2	»	5,2	31,76	22,57	18,63	9,07	0,22	13,00	6,75	1,41
3	Deutscher Koks	10,6	46,85	34,89	8,49	4,25	1,69	1,60	2,23	1,34
4	Schweiz. Gaskoks	8,9	42,71	27,99	14,35	5,73	1,07	4,05	4,12	1,52
5	Schweiz Anthrazit	21,9	75,53	13,88	5,09	0,95	1,17	2,64 und Glühverlust	0,74	5,40

[1]) Der Gehalt an P_2O_5 beträgt nur etwa 0,1 bis 0,5 %.

Während nun gute Chamottesteine nur etwa 0,5 bis 2 % Flussmittel (Kalk + Magnesia + Alkalien) enthalten, finden wir in obigen Aschenproben 20,02; 22,29; 7,54; 10,85 und 4,76 %! Dementsprechend besitzen solche Aschen Schmelzpunkte von etwa 1100 bis 1650°. In der chemisch reinen, äusserst schwer schmelzbaren Tonsubstanz (Al_2O_3, $2\,SiO_2$), ist ferner das Verhältnis $SiO_2 : Al_2O_3 = 1{,}17$; in den hochwertigsten Chamottesteinen sogar 1,12, wogegen wir in obiger Tabelle wesentlich höhere Ziffern, beim schweizer Anthrazit sogar die abnorm hohe Ziffer von 5,40 finden! Die in den Flugaschen also im Ueberschuss vorhandene freie Kieselsäure wird daher bei höhern Temperaturen mit den darin vorhandenen Alkalien und alkalischen Erden leicht flüssige Verbindungen bilden, die auf das Chamottesteinmaterial als Flussmittel wirken; bei sehr starkem Ueberschuss an Kieselsäure kann diese mit der Tonsubstanz der Chamottesteine auch direkt niedrig schmelzende Doppelsilikate bilden. Aus dem Gesagten geht also hervor, dass hinsichtlich der Einwirkung auf Chamottesteinmaterialien diejenigen Flugaschen die günstigsten sind, die einerseits möglichst wenig Flussmittel enthalten und in denen das Verhältnis von Kieselsäure zu Tonerde dem der chemisch reinen Tonsubstanz möglichst nahe kommt.

Wie energisch die Einwirkung von Flugasche auf Chamottesteine sein kann, geht aus folgendem Versuch hervor. Bruchstücke eines Chamottesteines von der Zusammensetzung:

Kieselsäure (SiO_2) 63,36 %	Kalk (CaO) 1,05 %
Tonerde (Al_2O_3) 30,70 %	Magnesia (MgO) 0,53 %
Eisenoxyd (Fe_2O_3) 2,40 %	Alkalien (K_2O, Na_2O) 1,96 %

wurden pulverisiert und daraus folgende zwei Sorten Probekörper hergestellt:

Probe A: Aus dem reinen Chamottemehl.

Probe B: Aus 1 Teil Chamottemehl + 1 Teil Flugasche.

Während die gleichzeitig erhitzten Probekörper sich bis zu den Temperaturen von 1100 und 1200° nahezu gleich verhielten, machte sich bei 1300° bereits ein Unterschied zu Ungunsten von B bemerkbar, der sich bei höhern Temperaturen immer schärfer ausprägte; denn während bei 1500° der Probekörper A nur eine leichte Biegung aufwies und scharfkantig blieb, war Probe B bereits kugelig zusammengeschmolzen. Der Schmelzpunkt von B liegt also bei etwa 1480°, während auf Grund eines besonderen Versuches der von A bei 1680° liegt. Der Zusatz von Flugasche hat also im vorliegenden Fall den Schmelzpunkt des Chamottematerials um etwa 200° erniedrigt.

Der Einfluss der *chemischen Beschaffenheit des Brenngutes auf Chamottesteinmaterial* tritt z. B. bei den Brennöfen für Portlandzement, wo sehr hohe Temperaturen (1500° und mehr) erreicht werden, deutlich in Erscheinung, wie aus nachstehendem, der Praxis entnommenen Beispiel hervorgeht.

Von zwei Sorten Chamottesteinen, die zur Ausfütterung eines Zementbrennofens dienten, verhielt sich Material A sehr schlecht, Material B dagegen sehr gut. Die chemische Zusammensetzung und die Schmelzpunkte beider Chamottesteinsorten sind in der nachstehenden Zusammenstellung enthalten:

Material	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O Na_2O	Schm.-Pkt
A	70,34 %	26,43	2,76	0,24	0,21	—	1630°
B	56,92 %	36,77	3,30	0,30	0,16	2,55	1750°

Das wesentlich günstigere Verhalten des Steines B gegenüber A erklärt sich wohlverstanden nicht nur aus seinem an und für sich höheren Schmelzpunkt, sondern namentlich aus seiner wesentlich stärkern basischen Be-Beschaffenheit (36,77 % Al_2O_3 gegenüber 26,43 %), welcher Punkt in Hinsicht auf die stark basische Beschaffenheit des Ofeneinsatzes von besonderer Wichtigkeit ist. Auch direkte, vergleichende Schmelzpunkt-Versuche mit Probekörpern, die teils aus reinem Chamottesteinmehl, teils aus solchem Material mit Zusatz von gleichen Gewichtmengen von Zementrohmehl hergestellt wurden, bewiesen in deutlicher Weise die Ueberlegenheit des Steinmaterials B über A.

Da nach diesem Beispiel, wie zahlreichen praktischen Erfahrungen, für Zementöfen ein Chamottesteinmaterial von möglichst hohem Tonerdegehalt unerlässlich ist, sucht man in neuester Zeit, mit gutem Erfolg, die verhältnismässig sehr kieselsäurereichen und tonerdearmen schweizerischen Rohmaterialien für Chamottesteine dadurch an Tonerde anzureichern, dass man ihnen z. B. einen angemessenen Zusatz an sogenanntem „Abrasit" gibt, ein im elektrischen Ofen künstlich erzeugtes Aluminiumoxyd von ungefähr folgender Zusammensetzung:

94 bis 96 % Al_2O_3 1 bis 2 % Fe_2O_3
1 bis 2 % SiO_2 2 bis 4 % Titansäure.

Noch intensiver als Flugstaub und festes Brenngut von zu basischer Beschaffenheit wirken auf Chamotte-Steine flüssige Metalle und gewisse basische Schlacken.

Aus den vorstehenden Betrachtungen geht somit einmal hervor, dass zu einer genauern Kennzeichnung der pyrometrischen Eigenschaften von feuerfesten Steinen die Bestimmung von deren Schmelzpunkt allein nicht hinreicht, sondern dass deren Sinterungs- und Erweichungsverhältnisse auf der ganzen Temperaturstufenleiter von etwa 1000° bis zum Schmelzpunkt ermittelt werden müssen. Im weiteren muss die chemische Zusammensetzung der Steine ihrer jeweiligen besondern Verwendung, also der chemischen Beschaffenheit des Brenn- oder Schmelzpunktes angepasst werden, und schliesslich ist es notwendig, auch die chemische Zusammensetzung des Heizmaterials, bezw. dessen Asche zu berücksichtigen. Es ist also durchaus notwendig, die Prüfung der Erweichungsverhältnisse der feuerfesten Steine noch durch deren chemische Analyse, sowie durch direkte experimentelle Untersuchungen über die gegenseitige chemische Wechselwirkung von Ofenfuttermaterial, Brenn- oder Schmelzgut, und Heizmaterial zu ergänzen.

*

Nebst den Erweichungsverhältnissen spielt die Bestimmung der *Dilatations*verhältnisse, d. h. des *„Schwindens"* oder *„Wachsens"* der Steine in höherer Temperatur eine wichtige Rolle, weil davon in hohem Masse die mechanische Haltbarkeit und Stabilität des Ofenmauerwerks abhängt. Je geringer diese Volumenveränderungen, um so wertvoller das Material. Während es bei Chamottesteinmaterial durch geeignete Auswahl von Chamottekörnern und Bindeton verhältnismässig leicht ist, Steine herzustellen, bei denen die Schwindung auf ein Minimum reduziert wird, liegen die Verhältnisse bei den Dinas-Steinen schwieriger, da das Ausgangsmaterial zu ihrer Herstellung, der Quarz, je nach seiner kristallinischen und petrographischen Beschaffenheit, Steine von sehr verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten liefert. Bekannt ist, dass im Gegensatz zu Chamottesteinen, Dinas-Steine im Feuer ganz beträchtlich *wachsen* können. Diese unangenehme Eigenschaft beruht auf der Eigentümlichkeit vieler Quarzvarietäten, bei Temperaturen von 1000° und darüber allmählich in eine andere kristallinische Modifikation, den sog. „Tridymit" überzugehen, welche Umwandlung mit einer Verringerung des spez. Gewichts von 2,65 auf 2,32 und dementsprechend mit einer Volumenvergrösserung verbunden ist, die nach einigen Forschern 10, nach andern 16 bis 17, ja sogar 20,7 % betragen soll. Feinkörnigkeit des Quarzes und Verunreinigungen mit Eisen- und Aluminiumoxyd befördern erfahrungsgemäss diesen Umwandlungsprozess, während grobkörniger reiner Quarz sich nur langsam verändert. Es ist daher ohne weiteres klar, dass zur Herstellung eines guten Dinas-Steins mit einem Gehalt von 95 bis 98 % Kieselsäure, vor allem aus nur ein *scharfgeglühter* Quarz verwendet werden soll, in dem schon durch dieses Vorglühen die Umwandlung von Quarz in Tridymit erfolgt ist.

Ein dritter Faktor, der bei der Bewertung feuerfester Steine ins Gewicht fällt, ist ihre *Druckfestigkeit*. Im allgemeinen kann man sagen, dass die Ansprüche, die in der Praxis hinsichtlich der Druckfestigkeit an feuerfeste Steine gestellt werden, nicht sehr beträchtlich sind, soweit man wenigstens nur mit jenen Drucken rechnet, die durch das Gewicht des Ofenmauerwerks ausgeübt werden. Die höchsten Bauten aus feuerfesten Steinen, die in der Praxis vorkommen, mit einer Maximalhöhe von etwa 35 *m*, sind wohl die Cowper-Apparate, die beim Hochofenbetrieb zur Erzeugung des heissen Gebläsewindes dienen. Setzt man das Raumgewicht der hierfür verwendeten Chamottesteine gleich 2,0 bis 2,5, so kommt man zu einer Maximalbelastung von bloss:

$$35 \times 100 \times 2 \text{ (bezw. } 2{,}5) = 7{,}0 \text{ bis } 8{,}75 \ kg/cm^2.$$

Es ist jedoch mehr als wahrscheinlich, dass bei zahlreichen Oefen die Steine tatsächlich eine wesentlich grössere Druckbeanspruchung auszuhalten haben, als obige Ziffern angeben; denn das Mauerwerk sozusagen aller Oefen wird ja durch gusseiserne oder stählerne Bekleidungsplatten, oder Armierungsringe, Träger und Schienen zusammengehalten, die ihrerseits durch Ankerschrauben gegeneinanderpresst werden. Diesem Druck wirkt nun der zufolge der Hitze und Ausdehnung entstehende Druck des Mauerwerks entgegen, sodass offenbar im Ofenmauerwerk lokale starke Druckspannungen entstehen, die Steine mit angemessen starken Druckfestigkeiten erfordern. Es weisen denn auch die Chamottesteine Festigkeitsziffern auf, die im Minimum etwa 50 kg/cm^2, im Maximum aber das zehnfache erreichen können. Nach einem Beschluss des „Verein deutscher Fabriken feuerfester Produkte" sollen Chamottesteine im Mittel aus 20 Einzelversuchen eine Mindestfestigkeit von 120 kg/cm^2 aufweisen. Diese Zahl scheint allerdings etwas willkürlich gewählt, einmal weil erfahrungsgemäss feuerfeste Steine nach öfterm Erhitzen auf höhere, aber noch weit unter dem Schmelzpunkt liegende Temperaturen und nachherigem Abkühlen nicht unbedeutende Veränderungen ihrer Festigkeit erleiden, und zweitens weil es bei feuerfesten Steinen überhaupt weniger auf ihre Festigkeit bei gewöhnlicher Temperatur, als bei höheren Temperaturen ankommt.

Weiterhin sind manche Steine auch einer starken *mechanischen Abnützung durch Reibung* ausgesetzt, so insbesondere die Futtersteine von Schachtöfen aller Art, in welch letztern die zum Teil sehr harte Beschickung, wie Erze, Koks, Metallmasseln, unter starkem Druck nach abwärts gleitet; in solchen Fällen wird von Steinen auch ein starker Widerstand gegen Abnützung durch Reibung gefordert. Eine weitere, ebenfalls sehr wichtige Eigenschaft der feuerfesten Steine ist schliesslich ihre *Wärmeleitungsfähigkeit*, und zwar wird, je nach dem besondern Verwendungszweck, im einen Fall eine möglichst geringe, im andern Fall wieder eine hohe Leitungsfähigkeit gefordert. Schlechte Leitungsfähigkeit wird gefordert von Steinen für Ofenwandungen, die den heissen Ofenraum gegen aussen abschliessen, hohe Leitungsfähigkeit dagegen für alle solche Zwecke, bei denen durch die Steinmassen Wärme übertragen werden soll, z. B. für Kammern und Retortenwandungen, Tiegel, Muffelwände, Gittersteine von Wärmespeichern (Regeneratoren) usw.

Aus den vorliegenden Betrachtungen ist ersichtlich, wie zahlreich und mannigfaltig die Momente sind, die bei der Beurteilung der Qualität feuerfester Erzeugnisse in Betracht kommen. Es würde zu weit führen, hier auf weitere Einzelheiten der Untersuchungsmethoden, die zur Ermittlung obgenannter Eigenschaften in Gebrauch stehen, näher einzutreten. Während einzelne Eigenschaften, wie zum Beispiel die chemische Zusammensetzung, die Porosität,

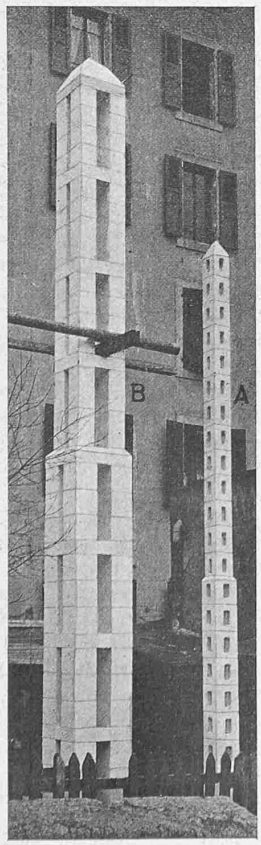
die Druckfestigkeit bei gewöhnlicher Temperatur, der Widerstand gegen Abnützung durch Reibung und schroffe Temperaturwechsel, genau und ebenso leicht zu ermitteln sind, wie bei gewöhnlichen, natürlichen oder künstlichen Bausteinen, bietet die einwandfreie Ermittlung der speziell *pyrometrischen Eigenschaften*, d. h. der Sinter- und Schmelzpunktverhältnisse, des Ausdehnungs-Koeffizienten, der Druckfestigkeitverhältnisse, bei höhern Temperaturen, des Wärmeleitungsvermögens, zum Teil beträchtliche Schwierigkeiten, die noch nicht völlig überwunden sind. Je grösser aber der Verbrauch der schweizerischen Industrie an feuerfesten Materialien sein wird, je höher diese im Preise steigen, um so dringender wird für den Verbraucher die Notwendigkeit, sich wenigstens über deren wichtigste Eigenschaften Gewissheit zu verschaffen.

Aus diesen Betrachtungen geht aber im weitern hervor, dass in Hinblick auf die so verschiedenartigen Anwendungsgebiete der feuerfesten Steine sich über ihre Eigenschaften nicht wohl schablonenhafte, allgemein bindende Vorschriften aufstellen lassen, wie für manche andere Materialien der Technik, sondern dass von Fall zu Fall diese Eigenschaften den jeweiligen besondern Anforderungen angepasst sein müssen.

Nouveaux pylones en béton armé.

Par *L. Perrin*, Ingénieur, Professeur à l'Ecole des Arts et Métiers de Genève.

Un nouveau système de pylones pour lignes télégraphiques et de transport de force a été développé récemment par la Société Mixedstone à Genève suivant ses procédés déjà connus par leur application dans la construction des bâtiments. Ces pylones sont constitués par des éléments faits d'avance de 20 à 30 *cm* de hauteur environ, formant coffrage. Les éléments peuvent être fabriqués dans un chantier et amenés à pied d'œuvre facilement. Ils sont ensuite placés les uns sur les autres, puis, à leur intérieur, on place les armatures; le tout forme un bloc monolithe par le coulage d'un ciment riche enrobant les armatures. Le montage des pylones s'effectue ainsi sans coffrage avec un échafaudage volant.



Des pylones construits d'après ce système ont été essayés le 2 mai 1918 en présence d'autorités techniques (représentants de la Direction Générale et du 1er arrondissement des Chemins de fer Fédéraux, de la Direction Générale des Télégraphes, de l'Inspectorat fédéral des Courants forts etc.) et sous la direction de M. *A. Paris*, professeur à l'Université de Lausanne. Le programme d'essai comportait l'épreuve de deux types de pylones (voir les figures), c'est-à-dire d'un poteau *A* pour ligne télégraphique à faible charge, de 6 *m* de hauteur et 1,50 *m* en terre,

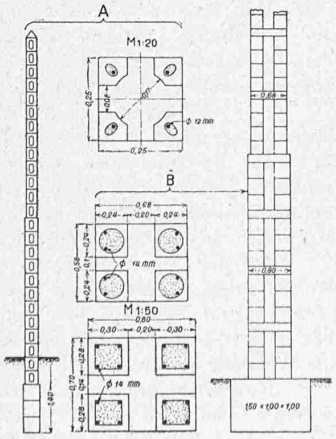


Fig. 1 et 2. Pylones en béton armé système „Mixedstone".

en éléments évidés et superposés, et d'une paire de pylones *B* pour ligne à haute tension, formés de quatre colonnes reliées par des ceintures armées, de 8,95 *m* de hauteur.

Le poteau *A* pour ligne télégraphique présente les caractéristiques suivantes: Dimensions 25 × 25 *cm* à sa base et 20 × 20 *cm* dès la mi-hauteur jusqu'au sommet. Les éléments sont creux de 25 *cm* de hauteur, jointoyés au ciment et armés de 4 barres de 12 *mm* placées près des arêtes à 4,5 *cm* des faces, les barres rondes de 12 *mm* ne sont pas munies d'étriers. Suivant les prescriptions fédérales $T_B = 30$ *kg/cm²*, $T_F = 1000$ *kg/cm²*, la charge normale au sommet ressortait à 70,5 *kg*.

Le chargement s'est fait par l'intermédiaire d'une poulie fixée à l'un des gros pylones. La caisse et la chaîne de suspension pesaient 34 *kg*. Le matériel à disposition comportait des pièces en ciment, pesées chaque fois par groupe.

Le tableau ci-dessous donne le résultat des mesures et les calculs de déplacement.

Lecture des fleximètres en mm pour poteau A

No.	charge en *kg*	I à + 5,72	II à + 2,55	III à + 0,99	Observations:
1	64,2	38	4,5	0,25	charge normale
2	84,5	59	8,31	0,50	
3	34	28	4,45	0,50	déchargement
4	84,7	58	12,20	2,05	
5	109,8	76	17,30	3,20	première fissure microscopique après 30 min.
6	135	102	23,4	4,95	
7	173	146	34,1	7,70	petits écaillements
8	211		46.9	11,50	rupture après 10 min.

La charge de rupture atteint les 299 % de la charge normale. L'allure générale des courbes est normale et dénote un bon fonctionnement du système aux efforts principaux.

Le pylone *B* pour ligne à haute tension présentait les caractéristiques suivantes:

Secteur inférieur 70 × 80 composé de 4 fûts de 28 × 30 *cm*. Secteur supérieur à 4,70 *m* au-dessus du sol de 56 × 68 *cm* composé de 4 fûts de 24 × 24 *cm*. Malgré l'évidement en croix, les pleins comportent environ le 60 % des vides.

La charge normale ressortait à 765 *kg* au sommet. Les mesures de déformations ont eu lieu au moyen de 6 fleximètres. Le chargement s'est effectué au moyen d'une bêne suspendue à un câble tendu horizontalement entre les deux pylones.

Le tableau ci-dessous donne le résultat des charges et les lectures des déplacements, pour chacun des deux pylones (B_1 et B_2) séparément.

Lecture des fleximètres en mm pour pylones B.

No.	Poids vertical *kg*	Poussée horizont *kg*	I à + 4,10		II à + 6,50		III à + 8,90		Observations
			B_1	B_2	B_1	B_2	B_1	B_2	
1	105	198	0,05	0,22	0,87	0,67	1,44	1,57	
2	148,3	274	0,41	0,60	1,60	1,70	2,67	2,78	
3	241,8	419	1,62	1,86	4,13	4,17	6,05	6,26	
4	294,6	500	2,84	3,14	6,06	6,23	8,73	8,88	
5	0	0	1,17	3,22	1,96	3,86	2,52	3,48	déchargement
6	294,5	500	3,10	3,78	6,44	6,54	9,30	9,64	
7	503,3	787	8,80	9,74	15,80	16,25	22,60	22,65	charge normale
8	607,6	865	12,65	14,32	21,35	24,00	27,20	27,70	
9	761,9	1006	20,75	22,40	35,80	36,4	50,7	50,5	
10	1039,7	1220	Lectures ne donnent plus de résultats exacts. Terrain cède sous la fondation. Première petite fissure microscopique.						
11	1520,4	1600							

La rupture n'a pa pu avoir lieu, car les fondations ont cédé lorsque la charge a atteint les 200 % de la charge normale. L'apparition de premières petites fissures indique plutôt une tendance qu'un travail intérieur.

La conclusion qui peut être tirée de ces essais, c'est que les pylones Mixedstone se comportent absolument de la même manière que les pylones habituels coulés d'une pièce. Les fissures n'ont aucune tendance de se former aux joints des pièces, qui n'ont aucune influence sur la résistance du système.