

Aufbau und Arbeitsweise des Volumenometers nach Haase

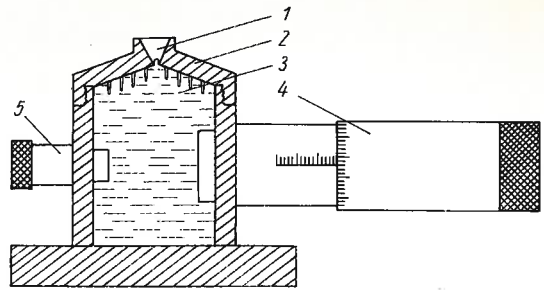
Das Volumenometer nach Haase arbeitet nach dem Verdrängungsverfahren und besteht im Prinzip aus einem verschließbaren, mit Quecksilber gefüllten Metallgefäß, das den eigentlichen Meßraum darstellt und in das eine Meßspindel hineinragt (Bild 1). Die Steigung der Meßspindel ist so ausgelegt, daß eine Umdrehung der Spindel eine Volumenänderung des Meßraumes von 1 cm³ bewirkt, wobei auf einer Skala in axialer Richtung die ganzen, an einer Trommelteilung die Bruchteile der Meßspindelumdrehung angezeigt werden. Die Meßtrommelteilung besitzt 100 Teilstriche. Damit entsprechen einem Teilstrich 0,01 cm³. Zum genauen Einstellen des Nullpunktes der Meßspindelskala bei vollständig mit Quecksilber gefülltem Meßraum dient eine zweite Spindel. Der Nullpunkt ist abgeglichen und das Volumenometer betriebsbereit, wenn in dem im Deckel des Metallgefäßes sich befindenden kegelstumpfförmigen Raum, der mit dem Meßraum verbunden ist, eine kleine Quecksilberkugel sichtbar wird. Um beim Messen zu sichern, daß der Probekörper auch jeweils vollständig in das Quecksilber eintaucht und den Zugang zum Deckelraum nicht verschließt, sind an der Innenseite des Deckels mehrere etwa 5 mm lange spitze Stifte angebracht.

Zur Messung des Probekörpervolumens wird der Probekörper bei zurückgedrehter Meßspindel und geöffnetem Gefäß in den Meßraum gebracht, das Gefäß verschlossen und die Meßspindel von Hand so weit hineingedreht, bis im Deckelraum die kleine Quecksilberkugel wieder zu sehen ist. Das gesuchte Volumen des Probekörpers kann dann an der Meßspindelskala direkt abgelesen werden.

Arbeitsweise der entwickelten Halbautomatik

Obwohl sich das Volumenometer in dieser Ausführungsform bewährt hat, macht sich doch vor allem bei Routinebestimmungen der Rohdichte, wie sie für die Beurteilung von Produktions- und Versuchschargen in großem Umfange notwendig sind, die manuelle Bedienung und das visuelle Abgleichen des Volumenometers mit Hilfe der im Deckelraum sichtbar werdenden Quecksilberkugel nachteilig bemerkbar. Zur Verringerung des für eine Volumenmessung benötigten Zeitaufwandes sowie zur Beseitigung des visuellen und damit subjektiven Abgleichens des Volumenometers wurde daher an die Meßspindel ein mit Niederspannung zu betreibender 8-W-Gleichstrommotor gekuppelt, der durch zwei Sonden gesteuert wird, die sich in einem mit dem Meßraum verbundenen Steigrohr befinden (Bild 2), wobei zwei Endschalter *E 1* und *E 2* den Laufweg der Meßspindel begrenzen. Ferner wurde das Volumenometer mit einem Kontaktschalter *S 3* versehen, der durch den vom aufgeschraubten Deckel auf ihn ausgeübten Druck den Motor automatisch einschaltet.

Die elektronische Schaltung für das gesamte Steuersystem des Motors zeigt Bild 3. Ihre Arbeitsweise soll im folgenden anhand eines Meßvorganges erläutert werden. Nachdem der zu untersuchende Probekörper in den Meßraum gebracht worden ist, wird der Deckel aufgeschraubt und damit der Kontaktschalter *S 3* betätigt. Dadurch liegt am Eingang des Tran-



1. Aufbau des Volumenometers nach Haase
1 Deckelraum (mit Quecksilberkugel), 2 Deckel, 3 Meßraum, 4 Meßspindel, 5 Abgleichspindel

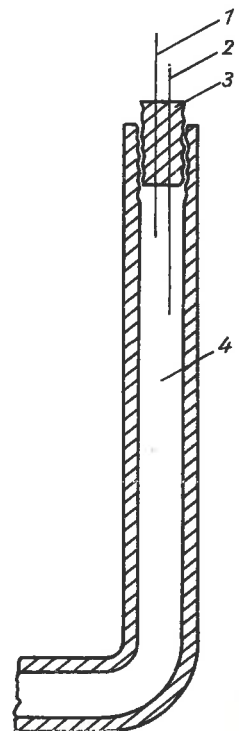
sistors *T 1* eine Spannung, die Transistoren *T 1* und *T 3* werden leitend und der Motor bewegt die Meßspindel in Richtung 1 mit einer Drehzahl von $n_1 = 80 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1}$. Hat der Quecksilberspiegel im Steigrohr die Sonde 1 erreicht, so schließt der Schalter *S 1* den Widerstand *R 2* kurz. Die Basisspannung an *T 1* wird verringert und *T 3* öffnet nur teilweise, d.h. *T 3* wirkt für den Motor als Vorwiderstand, und die Motordrehzahl nimmt auf $n_2 = 8 \text{ U} \cdot \text{min}^{-1}$ ab. Der jetzt langsamer steigende Quecksilberspiegel schließt bei Erreichen der Sonde 2 über die Sonde den Schalter *S 2*, wodurch der Kondensator *C 1* aufgeladen wird und Relais *Re 2* und Relais *Re 1* anziehen, da die Schalttransistoren *T 5* und *T 6* leitend werden. Der Motor stoppt, und das Volumen des Probekörpers ist an der Meßspindelskala direkt abzulesen. *Re 2* bleibt nur so lange angezogen, bis *C 1* entladen ist. Die Entladezeit kann dabei mit Hilfe des Potentiometers *P 1* innerhalb gewisser Grenzen verändert werden. Nach der Entladung von *C 1* fällt *Re 2* ab. Die Kontakte von *Re 2* gehen in den Ausgangszustand zurück. Der Eingang des Transistors *T 2* erhält eine Spannung, und die Transistoren *T 2* und *T 4* werden leitend. Der Motor bewegt die Meßspindel in Richtung 2 und der Deckel des Volumenometers kann zur Probekörperentnahme abgeschraubt werden. Der Endschalter *E 2* bringt die gesamte Schaltung in die Ausgangsstellung zurück. Bild 4 zeigt eine Gesamtansicht des Gerätes.

Fehlerbetrachtungen

Um einen Überblick über die Genauigkeit des Meßverfahrens zu erlangen, wurde das Volumenometer mit Testkugeln aus

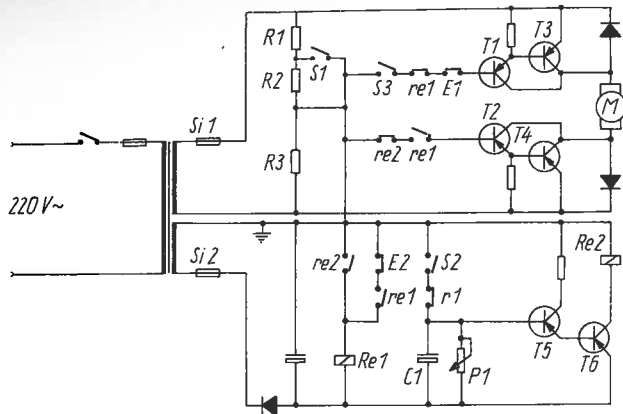
2. Steigrohr mit den beiden Sonden zum Steuern des Motors

- 1 Sonde 2
- 2 Sonde 1
- 3 Abgleichschraube
- 4 Steigrohr

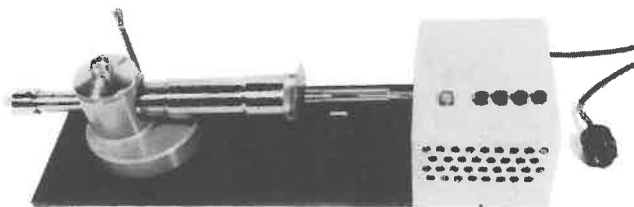


Tafel 1. Ergebnisse der Testkugeluntersuchungen

	Kugel 1		Kugel 2		Kugel 3		Kugel 4	
	$\frac{V_K - V}{V_K} [\%]$	$\frac{S_V}{V} [\%]$	$\frac{V_K - V}{V_K} [\%]$	$\frac{S_V}{V} [\%]$	$\frac{V_K - V}{V_K} [\%]$	$\frac{S_V}{V} [\%]$	$\frac{V_K - V}{V_K} [\%]$	$\frac{S_V}{V} [\%]$
2	0,31	0,11	0,39	0,07	0,19	0,07	0,07	0,09
3	0,37	0,26	0,57	0,39	0,34	0,26	0,03	0,21
4	0,32	0,13	0,62	0,28	0,30	0,23	0,06	0,10
5	0,34	0,12	0,57	0,26	0,43	0,22	0,11	0,15
6	0,34	0,11	0,57	0,30	0,39	0,26	0,10	0,18
7	0,33	0,21	0,55	0,25	0,33	0,28	0,09	0,12
8	0,46	0,39	0,56	0,20	0,39	0,27	0,04	0,19
9	0,43	0,39	0,61	0,32	0,38	0,27	0,05	0,12
10	0,41	0,36	0,59	0,23	0,34	0,28	0,04	0,17
15	0,26	0,41	0,53	0,24	0,31	0,19	0,08	0,20
20	0,14	0,44	0,48	0,25	0,35	0,24	0,09	0,19



3. Elektronische Schaltung des Steuersystems



4. Gesamtansicht des Volumenometers

Glas überprüft, die folgende Volumina besaßen:

- Kugel 1: $V_K = 2,000 \text{ cm}^3$
- Kugel 2: $V_K = 2,066 \text{ cm}^3$
- Kugel 3: $V_K = 4,066 \text{ cm}^3$
- Kugel 4: $V_K = 5,549 \text{ cm}^3$

Die mit den einzelnen Testkugeln gewonnenen Ergebnisse sind in Tafel 1 in Abhängigkeit von der Anzahl der durchgeführten Messungen wiedergegeben. Es bedeuten: n die Anzahl der Messungen, V_K das bekannte Volumen der Testkugel, V der mit dem Volumenometer aus n Messungen erhaltene Mittelwert und S_V die dazugehörige Standardabweichung.

Tonfreies Töpfergut

György Duma, Archäologisches Institut der Ungarischen Akademie der Wissenschaften und
Csaba Ravasz, Naturhistorisches Museum, beide Budapest

Es läßt sich kaum bestreiten, daß man die unglasierten Tongefäße der Vorzeit — nicht anders wie das Töpfergut unserer Tage — aus mineralischen Stoffen geformt hat, die mit Wasser vermengt bildsam werden; auch haben jene Gefäße ihre endgültige Gestalt durch Ausbrennen erhalten. Die natürlichen Gesteine, die in Gegenwart von Wasser bildsam werden, bezeichnet man im täglichen Sprachgebrauch als Tone, und so werden auch die aus ihnen verformten Gefäße Tongefäße genannt. Allerdings ist diese Benennung mit der heute üblichen Definition des Begriffes Ton nicht immer übereinstimmend.

Die Geologie bezeichnet als Tone diejenigen, vorwiegend aus wasserhaltigen Aluminiumsilikaten bestehenden natürlichen Gesteine lockerer Struktur, deren Korndurchmesser die

Größe 0,002 bis 0,005 mm nicht übertrifft. Typisch für sie ist, daß sie sich erdig anfühlen und daß sie in Gegenwart von Wasser bildsam werden. Eine weitere Klassierung innerhalb der genannten Gesteinsgruppe erfolgt nach dem vorwiegenden Mineralbestandteil. Dementsprechend finden sich kaolinhaltige, illithaltige, montmorillonithaltige usw. Tone. Einen geologisch wichtigen Gesichtspunkt für die Unterscheidung von Tönen bieten auch die Umstände ihrer Entstehung, der Petrifikation. Von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet, sind die meisten Tone feinkörnig-bröckelige Sedimentgesteine. Nur selten entstanden Tone aus magmatischen Gesteinen durch hydrothermale Einwirkung (Umwandlungsprodukte vulkanischer Herkunft) [1, 2].

Während die Geologie den Begriff des Tons durch die Korn-

Größe definiert und feinkörnig- und [3]

Größe definiert und feinkörnig- und [3]

Tafel 2. Auswahl der bei Routinebestimmungen der Rohdichte erhaltenen Ergebnisse für $n = 3$

Werkstoff	e [$\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$]	$\frac{S_e}{e}$ [%]
Siliziumkarbid	2,178	0,3
	2,266	0,4
	2,503	0,3
	2,707	0,4
Kohlenstoff	1,357	0,1
	1,558	0,1
	1,633	0,1

Tafel 2 zeigt eine Auswahl der bei Routinebestimmungen der Rohdichte an unterschiedlichen Siliziumkarbid- und Kohlenstoffwerkstoffen für $n = 3$ erhaltenen Ergebnisse. Auch bei diesen Messungen ergeben sich für die Variationskoeffizienten der Rohdichte Werte, die unter 0,5% liegen.

Anmerkung

Herrn Prof. Dr. Haase von der Sektion Verfahrenstechnik und Silikatechnik der Bergakademie Freiberg sei auch an dieser Stelle noch einmal für seine Unterstützung und für die Überlassung der Konstruktionszeichnungen für das von ihm entwickelte Volumenometer herzlich gedankt.

Literatur

- [1] Eder, F. X.: Moderne Meßmethoden der Physik. 1960: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, S. 35 ff.
- [2] Ebdenda, S. 133 ff.

Lösung von F. Hampel
 im Kom-
 den
 Anskoeffizient ist

Größe definiert, werden im technischen Sprachgebrauch als Tone feinkörnige Lockergesteine mit merklichem Tonmineralgehalt bezeichnet, welche auch spezifischen keramischen und bergbaulichen Forderungen Genüge zu leisten haben [3]. Bei der mikroskopischen Untersuchung des Grundstoffes von primitiven unglasierten Tongefäßen der Vorzeit haben wir wiederholt die Erfahrung gemacht, daß die Hauptmenge aus dicht ineinander passenden Mineralkörnern verschiedenster Form und Größe besteht. Die Körner füllen aber den Raum so weit aus, daß für die typischen Feinkörner der Tone kaum mehr Platz übrigbleibt. Den einstmaligen Rohstoff solcher Gefäße könnte man im Sinne der z.Z. anerkannten Definition nicht mehr als Ton bezeichnen. Nun gelang es auch in unseren Tagen, einen Naturstoff, welcher jenem vorzeitlich benutzten ähnelt, aufzufinden. Wir wollen im folgenden jenes bröckelige Sedimentgestein beschreiben, das — obwohl es nicht einmal im weitläufig-geologischen Sinne als Ton aufgefaßt werden kann — nichtsdestoweniger vorteilhafte keramische Eigenschaften besitzt [4].

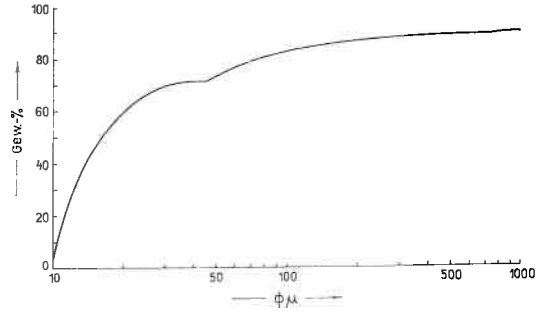
Makroskopisch beurteilt, erinnert die Gesteinsprobe, die uns zu dieser Untersuchung zur Verfügung gestellt wurde, sie an einen sandigen Löß¹⁾. Ihre Farbe ist bräunlich grau, sie ist leicht zu bröckeln, die hygroskopische Feuchtigkeit beträgt in lufttrockenem Zustand nicht mehr als 2%. Man kann sie mit Wasser unschwer aufweichen, aus der Trübe setzt sie sich augenscheinlich sofort ab.

Die Bestimmung der Kornverteilung stand mit diesen Beobachtungen in weitgehendem Einklang (Bild 1, Tafel 1). Danach ist die Probe als feinkörniger Schluff oder Silf zu bezeichnen, wobei Korndurchmesser von 0,01 bis 0,02 die vorherrschende Korngruppe bilden. Annähernd Gewichtsverteilung: 55% Feinschluff, 16% Grobschluff, 21% Sand. Die Kies- und die Tonfraktion bleiben insgesamt unter 10%. Selbst wenn man annimmt, daß im Laufe der Bestimmung die kleinen Körner nicht hinreichend aufgeschlossen wurden, so daß es angebracht wäre, statt 0,005 mm als typischen Grenzwert für grobe Teile den früheren, heute nicht mehr üblichen Wert von 0,01 mm Durchmesser anzusehen [5], könnte das untersuchte bröckelige Gestein nicht als Ton aufgefaßt werden, weil auch dann der Tonanteil nur 3,4% beträgt.

Es ist naheliegend, daß das verhältnismäßig grobkörnige Material in Gegenwart von Wasser nur eine geringe Bildsamkeit aufweist. Es überrascht dagegen, daß das Produkt, welches Körner unter Durchmesser 0,2 mm enthält, in getrocknetem Zustand sich bildsam und gut verarbeitbar erweist. Bei Anreicherung der kleinen Körner steigert sich die Plastizität, die Verarbeitbarkeit verschlechtert sich aber zusehends. Eine Silffraktion, die nur Körner unter 0,06 mm enthielt, erwies sich in keramischer Hinsicht als unbrauchbar. Nach Eintrocknen einer Trübe mit Körnern unter 0,04 mm Durchmesser konnte man das Auftreten der für Kolloide typischen, gekrümmten Filme — wie sie in der Praxis bei den Bentoniten zu beobachten sind — feststellen. Für keramische Zwecke eignete sich am ehesten das nur grob geschlämmte Produkt mit einer oberen Korngrenze von 0,2 mm. In diesem reichte sich die Menge der Körner unter 0,01 mm auf 3,87 Gew.-% an; die Ausbeute betrug 87%. Die Plastizität des grob geschlämmten Produktes ermöglichte die Herstellung von Probekörpern; es gelang sogar, handgeformte Gefäße auf der Töpferscheibe zu erzeugen.

Um Aufschluß über die Mineralbestandteile des beim Schlämmen gewonnenen tauben Gesteins (> 0,2 mm Dmr.) und des feinkörnigen Produktes (< 0,2 mm Dmr.) gewinnen zu können, wurden verschiedene physikalische und chemische Prüfungen vorgenommen. Mittels der mineralogisch-petrographischen Untersuchung des tauben Gesteins wollten wir auf die Transportart des Naturstoffes (Luft oder Wasser) rück-

¹⁾ Das als LÖß bezeichnete Material stammt aus Asparn bei Zaya, Niederösterreich. Es findet sich in der unmittelbaren Umgebung einer urzeitlichen Siedlung, in der beträchtliche Mengen von Scherben vorgefunden wurden. Nach Prof. F. Hampel vom N. Ö. Landesmuseum, Wien, ist zu vermuten, daß die urzeitlichen Gefäße aus dem hier untersuchten, sogenannten LÖß erzeugt wurden.



1. Kornverteilung des untersuchten Materials

schließen. Durch die Kenntnis der feinkörnigen Bestandteile versuchten wir, die Ursache der bei grobkörnigen Materialien ungewohnten Plastizität klarzustellen.

Die mineralogischen Prüfungen des beim Schlämmen abgetrennten tauben Gesteins mit 0,2 bis 0,33 mm Korndurchmesser ergaben folgende Mineralverteilung:

Die Mehrzahl der leichten Mineralien (58% der Körner) erwies sich als Quarz, zum guten Teil vulkanischer Herkunft, vielfach durch idiomorphe Kristalle vertreten. Orthoklase fanden sich seltener (4%), Plagioklase nur sporadisch (1%), Karbonate waren stark vertreten (30%), während Muskowit- und Tonmineralkörner in geringen Mengen (bis 5%) auftraten. Vereinzelt fand sich auch vulkanisches Glas mit einem Brechungsindex unter dem des Kanadabalsams.

Unter den Schwermineralen sind am stärksten vertreten Biotit (32%), Granat (19%) und Limonit (35%). Hämatit und Chlorit spielen eine untergeordnete Rolle (8 bis 6%). Epidot kam überaus selten vor. Es fanden sich im Gestein neben den angeführten Mineralen auch abgewetzte Foraminifera-Gerippe und Bruchstücke von Molluska-Schalen.

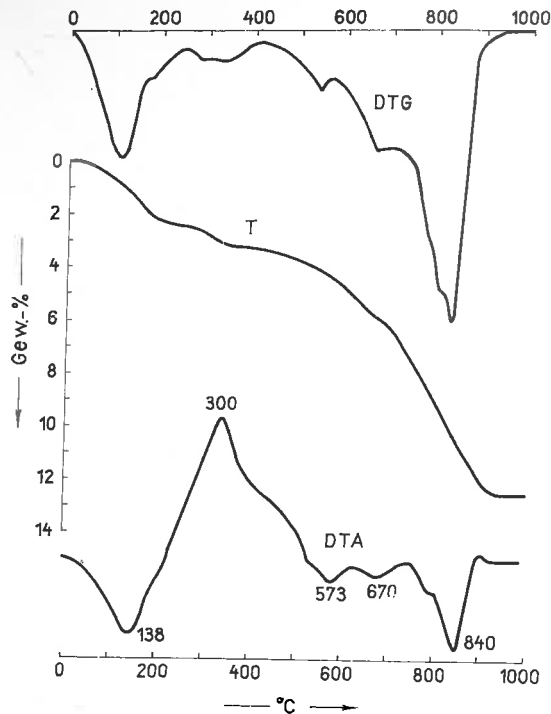
Der mittelmäßig abgewetzte Zustand der Minerale deutet auf Wassertransport (Geröllsteine) hin. Das Material des geringen Kiesanteils enthält — auf Grund makroskopischer Prüfung — Quarz, Lydith, Miozän-(?) Kalk, Mezozoos-(?) Dolomit, metamorphen Schiefer, Quarzit und vulkanischen Verwitterungsschutt.

Auf Grund der Korngröße bzw. der Mineralzusammensetzung, ferner des Geröllstein-Charakters der Bestandteile, kann das untersuchte Gestein als sandiger Schluff (Silt) aufgefaßt werden, der wahrscheinlich infolge fluviatiler Überlagerung von Miozängebirgen entstand. Da uns die Probe als sandiger Löß überreicht wurde, haben wir zu betonen, daß das Gestein nicht äolischer Herkunft ist, was auf Grund der Kornverteilung und der qualitativ-mineralogischen Analyse sicher festgestellt werden konnte.

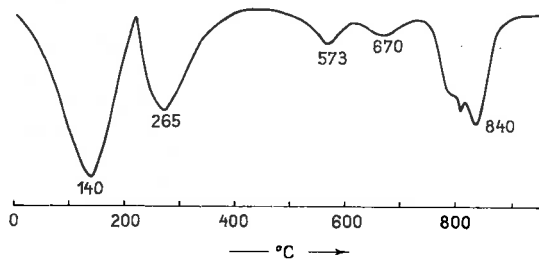
Die zur Identifizierung der Mineralbestandteile des aus Körnern unter 0,2 mm Dmr. bestehenden Teiles der Probe eingeleiteten röntgendiffraktometrischen Untersuchungen zeigten, daß die Hauptmenge aus denselben Mineralen besteht wie das taube Gestein: aus Quarz, Feldspat, Dolomit und Kalzit. Daneben konnte aber auch die Gegenwart von Tonmineralen der Kaolinit-, Illit- und der Montmorillonitgruppe festgestellt werden.

Tafel 1. Kornverteilung

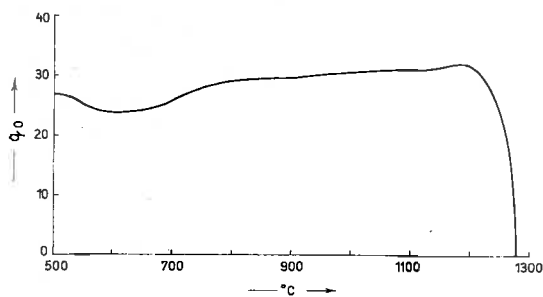
Durchmesser mm	Gewichtsprozent	Kumulativ Gew.-%	Geologische Bezeichnung
+ 1,50	7,30	100,00	Grobsand
- 1,50	1,23	92,63	
1,00	0,59	91,40	
0,75	0,30	90,81	Sand, mittel
0,60	0,50	90,51	
0,49	0,97	90,01	
0,30	1,17	89,04	Feinsand
0,20	3,00	87,87	
0,10	10,98	84,87	Aleurit, grob
0,05	1,53	73,89	
0,04	11,83	72,36	
0,02	57,13	60,53	Aleurit, fein
0,01	3,40	3,40	



2. Derivatografische Aufnahme der Feinkörner des sandigen Aleurits



3. DTA-Aufnahme der Feinkörner des sandigen Aleurits in Stickstoffatmosphäre



4. Veränderung der scheinbaren Porosität in Abhängigkeit der Temperatur

Die derivatografische Prüfung des geschlämmten Produktes wurde sowohl an der Luft als auch im Stickstoffstrom vorgenommen (Bilder 2 und 3). Eine genaue Auswertung der DTA-Kurve war aber — infolge der einander überdeckenden und beeinträchtigenden thermischen Reaktionen der verschiedenen Minerale des Gesteins — auch im letzteren Fall —

nicht möglich. Die Versuche zeigen jedoch einwandfrei, daß im Gestein Tonminerale vertreten sind, deren Gegenwart selbst in geringen Mengen die Entwicklung der plastischen Eigenschaft hinreichend erklären. Darauf deuten die bei 140 und 265 °C beziehungsweise bei 670 und 840 °C erscheinenden endothermen Reaktionen der Hydroglimmer (Vermikulit) und des Montmorillonits hin. Es ist des weiteren anzunehmen, daß auch der auf der DTA-Kurve mit einer Spitzentemperatur von 330 °C erscheinende organische Anteil die Bildsamkeit begünstigt. Nach der chemischen Zusammensetzung könnte der untersuchte sandige Schluff als Töpfer-ton aufgefaßt werden. Wenn man aber auch die Ergebnisse der sonstigen Versuche berücksichtigt, so kann mit Bestimmtheit behauptet werden, daß der auf chemischem Wege nachgewiesene Al_2O_3 -Gehalt nur zum Teil an die feinkörnigen Tonminerale (Korndurchmesser $< 0,01$ mm) und an die etwas gröber gekörnten Feldspate gebunden sein muß. Ein beträchtlicher Teil gehört zu den oft wahrnehmbaren, ausgelaugten Glimmern, die ihren Alkaligehalt teilweise oder völlig einbüßen (Vermikulit) [6] (Tafel 2). Versuche, die hinsichtlich der keramischen Verarbeitbarkeit des Schluffs Aufschluß geben sollten, zeigten, daß das Versuchsmaterial gegen Trocknen mäßig empfindlich ist. Die lineare Schwindung beträgt beim Trocknen 6% — entspricht also dem bei den Töpfer-tonen beobachteten Mittelwert. Die durch Pressen hergestellten Probekörper wurden in oxydierender Atmosphäre innerhalb der Temperaturgrenzen 400 bis 1300 °C unter gleichbleibenden Verhältnissen gebrannt. Es kam zur überraschenden Beobachtung, daß die bei 400 °C gebrannten Probekörper nur schwerlich, die bei 500 °C gebrannten überhaupt nicht mehr aufzuschlämmen sind. Auch konnte man unerwarteterweise unter 1200 °C keine Schwindung der Probekörper beobachten; darüber begann eine allmähliche Erweichung, und schließlich erschienen die Vorzeichen des Schmelzens. Um die während des Brandes ablaufenden Änderungen zu erfassen, wurde auf Grund der Wasseraufnahmefähigkeit die scheinbare Porosität der Probekörper als Funktion der Brenntemperatur bestimmt. Bis zur Temperatur von 1200 °C nahm die Porosität etwas zu, danach folgte eine rapide Abnahme, und zwar innerhalb verhältnismäßig enger Temperaturgrenzen. Bei 1280 °C waren die Körper dicht (Tafel 3, Bild 4).

Die Maßveränderungen durch den Brand wurden mit dem Hochtemperatur-Mikroskop — einer von uns modifizierten Apparatur der Fa. Zeiss — verfolgt. Größe der Probekörper: 3 mm \times 3 mm \times 3 mm; Aufheizgeschwindigkeit konstant 10°/min. Die Schattenbilder (Bild 5) zeigen deutlich, daß der Probekörper seine Gestalt unter 1200 °C nicht veränderte. Eine Verformung erfolgte erst über 1250 °C beim eintretenden Erweichen.

Die mit ansteigender Temperatur erfolgte Zunahme der Porosität — bei äußerlicher Maßbeständigkeit — kann auf dieselben Ursachen zurückgeführt werden, welche entsprechenden Erscheinungen bei Tonen und Kaolinen zugrunde liegen. Es erscheint angebracht, von einer inneren strukturellen Schrumpfung zu sprechen [7, 8].

Die Tonmineralschicht, welche die Oberfläche der verhältnismäßig groben Körner des Schluffs überzieht, vermag bei be-

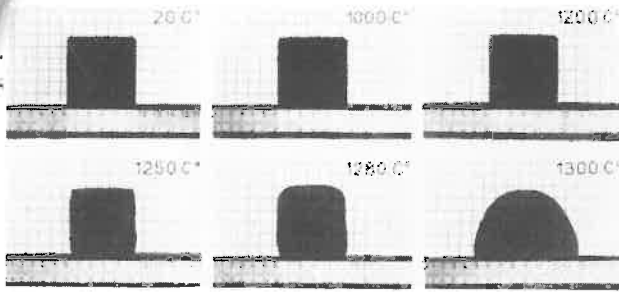
Tafel 2

Bestandteil	Gewichtsprozent
SiO_2	55,08
Al_2O_3	10,73
Fe_2O_3	6,86
TiO_2	0,01
CaO	9,33
MgO	2,31
K_2O	1,94
Na_2O	1,25
Glühverlust	12,50
	100,01 %

Tafel 3

Temperatur	Scheinbare Porosität
[°C]	[%]
500	26,8
600	24,0
700	25,8
800	29,3
900	29,3
1000	30,7
1100	31,0
1200	31,8
1280	0,0

frei, daß
erwart
ischen
i 140
en-
u.



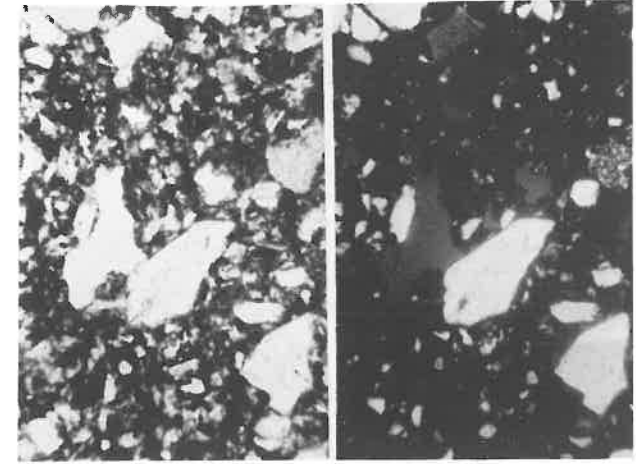
5. Mikroskopische Aufnahme (mittels Hochtemperatur-Mikroskops aufgenommen) über die Formveränderungen des aus sandigem Aleurit hergestellten Probekörpers, in Funktion der Temperatur

stimmter Schichtdicke und bestimmtem Wassergehalt die Bildsamkeit des Materials zu sichern. Erfolgt das Schlämmen bei stufenweise abnehmender Korngröße, dann wird der Gehalt an Tonmineralen im Verhältnis zu den groben Körnern angereichert, wodurch die kolloidalen Eigenschaften in den Vordergrund treten. Beim Trocknen gelangen die Körner näher zueinander, der Wassergehalt des Überzugs vermindert sich. Im Falle des untersuchten Modells gelangt dieser Vorgang bei einem Wert 6,6% der linearen Schwindung, wenn sich die groben Körner bereits gegenseitig berühren, zu seinem Ende. Die aneinandergelassenen Körner bilden ein festes Gerüst, das innerhalb bestimmter Temperaturgrenzen auch während des Ausbrennens die äußere Maßbeständigkeit sichern kann. Die Tonminerale, welche die Körner überziehen und stellenweise auch die Hohlräume ausfüllen, schrumpfen mit ansteigender Temperatur zusammen. Das hat eine Dilatation der Hohlräume des aus Tonmineralen bestehenden Gerüsts zur Folge. Diese Veränderung in der inneren Struktur kommt dann in der Zunahme der scheinbaren Porosität zum Ausdruck. Eine äußere Maßveränderung kann nur erfolgen, wenn auch die gerüstbildenden Mineralkörner selbst zu schmelzen beginnen. Man kann diesen Vorgang durch die mikroskopische Beobachtung von Dünnschliffen verfolgen. Die stufenweise eintretende Abrundung der ursprünglich eckigen Hohlräume läßt sich an den beigelegten Aufnahmen erkennen. Das aus Quarzkörnern bestehende Gerüst, welches den stärksten Widerstand gegen die Einwirkungen der Temperatur unter allen grobkörnigen mineralischen Bestandteilen zu leisten vermag, bleibt selbst in der Schmelze erhalten (Bild 8).

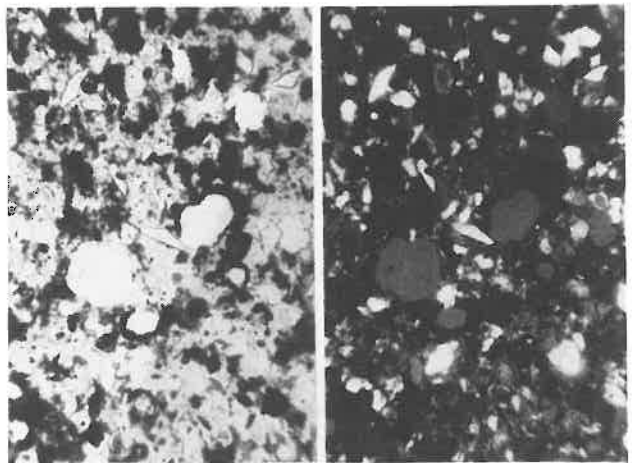
Die hier aufgeführten Versuchsergebnisse sind Glieder einer umfassenden Reihe von physikalischen und chemischen Prüfungen und dienen zum Nachweis, daß auch bröckelige Gesteine, die nach den heute üblichen Begriffen nicht als Tone bezeichnet werden, zur Bearbeitung mittels keramisch-technologischer Methoden geeignet sein können. Der von uns untersuchte sandige Schluff dürfte aber — mit Rücksicht auf die bei niedriger Temperatur beginnende Scherbenbildung, ferner auf die ungewöhnlich hohe Feuerfestigkeit — ein besonders geeigneter Rohstoff gewesen sein bei der Herstellung urzeitlicher Gefäße mit Hilfe einer primitiven Technologie [9].

Literatur

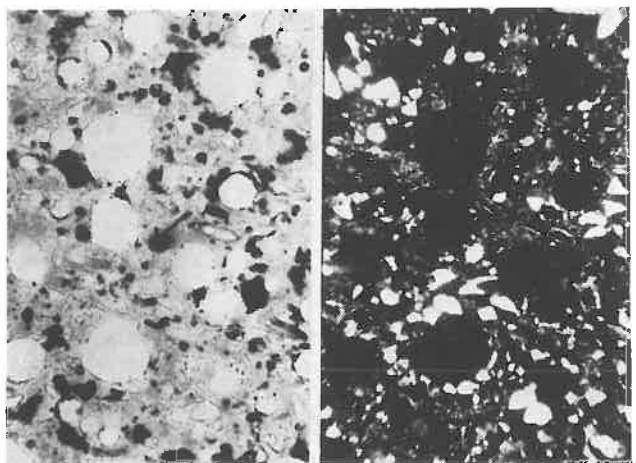
- [1] Bates, R. L.: Geology of the Industrial Rocks and Minerals. New-York, 1960.
- [2] Grim, R. E.: Clay Mineralogy, New-York, 1963.
- [3] Noll, W.: Wege der modernen Tonforschung. Sprechsaal-Jahrbuch 1943. S. 222
- [4] Das zu untersuchende Material wurde von Herrn Obermuseumsrat Hampl, F., Direktor des Niederösterreichischen Landesmuseums, zur Verfügung gestellt. Vorkommen: Asparn/Zaya, Niederösterreich.
- [5] Funk, W.: Die Rohstoffe der Feinkeramik, ihre Aufbereitung und Verarbeitung zu Massen und Glasuren. Berlin, 1933. S. 33.
- [6] Jasmund, K.: Die silikatischen Tonminerale. Weinheim, 1951. S. 110.



6. Die bei niedriger Temperatur eckigen Hohlräume



7. Allmähliche Abrundung der Hohlräume bei ansteigender Temperatur



8. Das im geschmolzenen Material nahezu unverändert gebliebene, aus groben Körnern bestehende mineralische Gerüst

- [7] Juhász, Z.: Die Schrumpfung der Kaoline beim Brennen I.-II. Épitöanyag (1960) S. 121, 176.
- [8] Juhász, Z.: Versuche mit dem Schamottekaolin von Segilong. Épitöanyag (1959) S. 17—27.
- [9] Duma, Gy. — Ravasz, Cs.: Tongefäße aus sandigem Aleurit. In litteris.

Orientierende Versuche zur Ermittlung der Spaltzugfestigkeit hitzebeständiger Betongemenge

Hermann Lorenz

Institut der Feuerfest-Industrie Meißen

Für die Standfestigkeit eines feuerfesten Baustoffes bei hoher Temperatur kann man die Qualität der Bindung als entscheidendes Kriterium ansehen. Ein Versagen eines Baustoffes unter Belastung bei hoher Temperatur resultiert in den meisten Fällen aus einem Versagen der Bindung, seltener ist es die Folge unzureichender Qualität der körnigen Bestandteile. Besonders geeignet, die Festigkeitseigenschaften der Bindung eines feuerfesten Baustoffes zu beurteilen, erscheint die Prüfung der Zugfestigkeit, da hier die stützende Gerüstwirkung der körnigen Bestandteile, wie sie beim Druckversuch zu verzeichnen ist, weitgehend in den Hintergrund tritt. Eine reine Zugfestigkeitsprüfung an feuerfesten Baustoffen bereitet jedoch vor allem in bezug auf die Herstellung geeigneter Prüfkörper und deren sichere Einspannung, zumal bei erhöhter Temperatur, ernste Schwierigkeiten. Zur Beurteilung des Verhaltens unter Zug zieht man deshalb oft die Biegeprüfung heran. Hierbei wird jedoch nur der untere Teil des Stabquerschnittes auf Zug beansprucht, während im oberen Teil Druckspannungen herrschen. Die Prüfung der Spaltzugfestigkeit, auch bekannt unter der Bezeichnung „Brasilianisches Verfahren“ oder „Diametraldruckversuch“ kommt einer reinen Zugprüfung wesentlich näher. In der Baubetonprüfung ist dieses Verfahren bereits seit rd. 30 Jahren bekannt, und es existieren dort im Spiegel der Literatur auch schon umfangreiche Erfahrungen. Stellvertretend dafür sei hier eine Arbeit von J. Bonzel [1] angeführt, in der sich auch ein umfangreicher Literaturnachweis findet. Betrachtungen über die Spannungsverteilung und die entsprechenden Berechnungsgrundlagen sind dort aufgeführt. Auch Claussen [2] und Lecrivain/Lambert [3] machen hierzu Angaben, so daß im vorliegenden Beitrag auf derartige Abhandlungen verzichtet werden kann. Im folgenden sollen lediglich einige allgemeine Gesichtspunkte, Vorteile und Nachteile der Prüfung der Spaltzugfestigkeit erwähnt werden.

Die Spaltzugprüfung ist besonders geeignet zur Untersuchung solcher Materialien, deren Zugfestigkeit wesentlich unter ihrer Druckfestigkeit liegt, und um solche handelt es sich ja bei allen feuerfesten Baustoffen. Aus diesem Grunde kann die Druckspannung an den Lasteintragsstellen der Prüfkörper relativ stark ansteigen, ohne daß dadurch der Bruch des Materials eintritt. Der Bruch wird bei den Materialien mit $\sigma_{dB} \gg \sigma_{zB}$ bei der vorliegenden Belastungsart stets durch ein Überschreiten der maximal ertragbaren Zugspannung ausgelöst. Der Bruch geht also nicht von der Oberfläche des Prüfkörpers aus, wie etwa bei der Biegeprüfung, und wird deshalb auch weniger durch oberflächliche Anrisse und Fehler beeinflusst [1, 2, 3].

Ein Vorteil der Spaltzugprüfung besteht darin, daß die notwendigen Prüfkörper (Zylinder, Würfel, zylindrische Scheiben u.ä.) einfach herzustellen sind, einfacher als Biegestäbe oder Prüfkörper für einen rein axialen Zugversuch. Beispielsweise können die gleichen zylindrischen Probekörper wie bei der Prüfung der Druckfeuerbeständigkeit, der Druckdauerstandfestigkeit, Kaltdruckfestigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit verwendet werden [3]. Hervorzuheben ist auch der gegenüber dem axialen Zugversuch und dem Biegeversuch relativ große auf Zug beanspruchte Querschnitt im Verhältnis zum Gesamtprobekörpervolumen [2]. Die Prüfung der Spaltzugfestigkeit kann an vergleichsweise kleinen, einfachen Prüfkörpern durchgeführt und, auch auf Grund der einfachen Prüfanordnung, ohne großen Aufwand auf eine größere Zahl von Einzelmessungen pro Erzeugnis bzw. Meßpunkt ausgedehnt werden [3, 4]. Ein weiterer Vorteil der Prüfung besteht darin, daß man im Gegensatz zum Biege-

versuch schon aus einem Normalstein Prüfkörper in allen 3 Raumrichtungen gewinnen und so ohne große Schwierigkeiten z.B. Einflüsse der Textur des Erzeugnisses auf seine Festigkeit verfolgen kann [2, 3]. Als Nachteil der Spaltzugprüfung muß es angesehen werden, daß man hierbei, bezogen auf gleichen Querschnitt, gegenüber dem Biegebruchversuch wesentlich höhere Kräfte bis zum Bruch der Prüfkörper benötigt.

Versuchsdurchführung

Die untersuchten Betongemenge sind in Tafel 1 grob charakterisiert. Hinsichtlich der verwendeten Bindemittel und Zuschlagstoffe sowie deren Verhältnis stimmen die Gemenge mit den entsprechenden vom VEB Silikatwerk Brandis gefertigten Feuerbeton-Fertigteilqualitäten überein. Die Gemenge wurden zu preßfähigen Massen angemacht und mit etwa 400 kp/cm² zu Stäben von 25 mm × 25 mm × 170 mm verpreßt. Diese wurden zur Abbindung bzw. Erhärtung unter normenüblichen Bedingungen mindestens 20 Tage gelagert. Die Stäbe wurden zu Würfeln mit einer Kantenlänge von 25 mm zersägt, die dann zur Prüfung auf Spaltzugfestigkeit benutzt wurden.

Für die Untersuchungen stand das in [5] beschriebene Gerät zur Prüfung der Heißbiegefestigkeit zur Verfügung. Es wurde nur soweit geändert, daß in einem Aufheizvorgang 6 Probekörper hintereinander geprüft werden konnten. Mit der durch dieses Gerät gegebenen Maximalkraft von 250 kp stand auch die oben angeführte Prüfkörperabmessung fest. Die auf Grund der 25 mm-Würfel mit den 250 kp erreichbare maximale Zugspannung von rd. 25 kp/cm² durch eine weitere Verkleinerung der Prüfkörperabmessungen zu erhöhen, schien auf Grund des Maximalkorns der verwendeten Gemenge von 3,15 mm nicht sinnvoll.

Die Prüfwürfel wurden, wie in Bild 1 skizziert, belastet. Das Auflageprisma und die obere Belastungsrolle, beide aus Sinterkorund, waren auf 2,5 mm Breite angeschliffen und fungierten so als Lastverteilungsstreifen. Allgemein wird in der Literatur festgestellt, daß man bei einer Breite der Streifen bis 0,1 *a* noch über einen ausreichend großen Teil des geprüften Querschnittes mit einer konstanten Zugspannung rechnen kann [1, 2, 3]. Aus der Bruchkraft wurde nach der in [1] für Würfel angegebenen Gleichung

$$Z = \frac{2P}{\pi \cdot a^2} = 0,64 \cdot \frac{P}{a^2} \quad [\text{kp/cm}^2]$$

die Spaltzugfestigkeit *Z* berechnet, wobei *P* die Bruchkraft und *a* die Kantenlänge des Würfels bedeuten.

Tafel 1. Untersuchte Betongemenge

Bezeichnung	Bindung	Zuschlagstoff	Orientierungswert für maximale Anwendungstemp. [°C]
FBG 7	Wasserglas	Kupferschlacke	700
FBG 16	Wasserglas	Silikabruch	1600
FBG 11	Portlandzement	Schamotte	1100
FBG 15	Hochtonerde-zement	Schamotte/ Edelkorund	1500
FBG 17	Hochtonerde-zement	Edelkorund	1700