

Bild 15. Die Lichtablenkung einer Glasplatte bei schrägem Einfall des Lichtstrahls.

Die Dicken für alle übrigen Punkte der Platte kann man dann leicht auf Grund der obigen Gleichungen aus der Schlierenaufnahme gewinnen.

Handelt es sich um reflektiertes Licht (Bild 14), so ist für einen Ablenkwinkel ε der zugehörige Neigungswinkel der Oberfläche $\frac{\varepsilon}{2}$. Die Erhebungen der Spiegeloberfläche ergeben sich dann analog zu den obigen Gleichungen:

$$\Delta d = \frac{1}{2} \int_{x_0}^x \varepsilon_x dx$$

bzw.

$$\Delta d = \frac{1}{2} \int_{y_0}^y \varepsilon_y dy$$

In all den Fällen, in denen Licht schräg durch eine Scheibe tritt, ist bei gleichem Keilwinkel der Glastafel der Ablenkwinkel ε größer als bei senkrecht durchfallendem Licht. Wenn die Empfindlichkeit der Apparatur nicht ausreicht, genügt daher zunächst ein Schrägstellen der Glastafel.

Die Verhältnisse seien an Hand des Bildes 15 näher erläutert. Das Licht falle schräg unter dem Winkel α ein. Das SNELLIUS'sche Brechungsgesetz lautet:

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}$$

also:
$$\beta = \arcsin \left(\frac{1}{n} \sin \alpha \right)$$

Die Differentiation nach α ergibt:

$$\frac{d\beta}{d\alpha} = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{n^2} \sin^2 \alpha}} \cdot \frac{1}{n} \cdot \cos \alpha$$

$$d\beta = \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \cdot d\alpha$$

Faßt man den Keilwinkel δ als eine kleine Einfallswinkeländerung auf, so ist $d\beta = \delta$ und da $d\alpha = \alpha - \alpha' = \varepsilon + \delta$

folgt:
$$\varepsilon = \delta \left(\frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{\cos \alpha} - 1 \right)$$

Diese Formel für ε enthält als Spezialfall, wenn $\alpha = 0$, die oben zuerst erwähnte einfachere Formel.

Nimmt man $n = 1,5$ an, so ist $\varepsilon = \delta$ bei einem Ein-

fallswinkel von $\alpha \approx 50^\circ$. Führt man also die Messung der Lichtablenkung an einer unter diesem Winkel stehenden Glastafel durch, so sind die ermittelten Ablenkwerte gleich ihrem Keilwinkel.

Will man den Absolutwert der Dicke wissen, so muß man ihn mindestens für einen Punkt der Platte kennen oder auf irgendeine Art, z. B. mit der Mikrometerschraube ermitteln. Die

13. Die vollständige Analyse eines Flachglases.

Zur vollständigen Analyse des Zustandes eines Flachglases wäre es notwendig, sowohl die Form beider Oberflächen als auch den Verlauf des Brechungsindex zu kennen. Nicht für die unmittelbare Praxis, wohl aber für wissenschaftliche Zwecke wird dies gegebenenfalls notwendig sein. Wie die Form der Oberflächen ermittelt werden kann, wurde soeben beschrieben. Allein daraus müßten sich dann die Ablenkwinkel für durchfallendes Licht ergeben, wenn das Glas selbst homogen ist. Vergleicht man also die so ermittelten Werte mit den aus dem Versuch gewonnenen, so kann die Differenz (abgesehen von Meßfehlern) nur auf Schwankungen im Brechungsindex zurückzuführen sein. Die Existenz der Schlieren im Glas läßt sich also in dieser Weise feststellen, ebenso ihr Einfluß auf die Fehler für durchfallendes Licht. Der genaue Verlauf der Brechzahl innerhalb des Glases ist allerdings nicht eindeutig bestimmt.

14. Zusammenfassung.

Im Vorstehenden wurde nach einer kurzen Zusammenstellung der bei Flachglas möglichen Fehler ein farbiges Schlierenverfahren näher beschrieben, das in zwei Ausführungsformen, dem Gitterblendenverfahren und dem Prismenverfahren verwendet werden kann. Das letztere wird im allgemeinen nur dann Anwendung finden, wenn es sich darum handelt, sehr geringe Lichtablenkungen nachzuweisen, wie z. B. bei der Prüfung von gutem Spiegelglas. Von dem Objekt wird ein optisches Bild erzeugt, das Felder mit verschiedenen Farben enthält. Jeder Farbe ist eine ganz bestimmte Lichtablenkung in dem zu prüfenden Objekt zugeordnet. Die Empfindlichkeit läßt sich in weiten Grenzen variieren. Zahlreiche Anwendungsbeispiele werden an Hand von Farbaufnahmen beschrieben; sie zeigen, daß die quantitative Prüfung von Flachglas mit Hilfe dieses farbigen Schlierenverfahrens in einfacher Weise möglich ist.

Zum Schluß danken wir insbesondere der DEUTSCHEN GLASTECHNISCHEN GESELLSCHAFT, dem VEREIN DEUTSCHER TAFELGLASHÜTTEN (VDT) und dem VEREIN DEUTSCHER SPIEGELGLASFABRIKEN (VDS) für die Vermittlung bei zahlreichen Glashütten, die uns Versuchsmaterial zur Verfügung stellten. Ferner danken wir auch Herrn Dr. JEBSEN-MARWEDEL, der uns mehrfach mit Rat und Tat zur Seite stand.

Schrifttum:

- TOEPLER, A.: „Beobachtungen nach einer neuen optischen Methode“. Bonn 1864. — Poggendorfs Ann., **127** (1866), S. 556; **128** (1866), S. 126; **131** (1867), S. 33, 180; **134** (1868), S. 194. — Ferner OSTWALDs Klassiker der exakten Wissenschaften, Nr. 157 und 158, Leipzig 1906.
- SCHARDIN, H.: „Das TOEPLER'sche Schlierenverfahren“. VDI-Forschungsheft 367, Juli/Aug. 1934 (Ref. Glastechn. Ber., **15** (1937), S. 477.); und *Ergebn. exakt. Naturw.*, **20** (1942), S. 303 ff. Hier finden sich auch weitere Schrifttumsangaben.
- JEBSEN-MARWEDEL, H.: „Glastechnische Fabrikationsfehler“. Berlin: Springer, 1936. (15 702)

DK 666.11.019.2 : 620.192.3 : 666.76 (045)

Ueber die Schlierenbildung in Gläsern durch feuerfeste Massen.

Von M. THOMAS.

Nach gemeinsamen Arbeiten mit H. KALSING und K. LITZOW.
(Mitteilung aus dem GLASWERK WEISSWASSER der OSRAM G. M. B. H., K.-G.)

(Eingegangen am 1. 8. 1942.)

Im Jahre 1928 wurde aus dem glastechnischen Laboratorium der OSRAM G. M. B. H., K.-G. über zahlreiche

Eigenschaften von 20 bekannten feuerfesten Tonen aus dem Altreich und dem Sudetenland berichtet¹⁾, und zwar

wurden besonders die für die Glasindustrie wichtigen Eigenschaften besprochen. Außer den allgemein interessierenden wichtigen Untersuchungen wie chemische, rationelle und Schlamm-Analyse, Anmachewasser, Biegezugfestigkeit in lederhartem Zustand, Trocken- und Brennschwindung bei verschiedenen Temperaturen sowie Segerkegelschmelzpunkt wurden folgende insbesondere für die Glasindustrie wichtige Eigenschaften bestimmt: Druckerweichungsverhalten, chemische Widerstandsfähigkeit der gebrannten Tone gegen die verschiedenen stark angreifenden Glasrohstoffe, gegen verschiedene Glasgemenge, gegen ruhendes und bewegtes Glas.

Ueber eine der wichtigsten Fragen, nämlich die Schlierenbildung in Gläsern durch die gebrannten Tone, wurde seinerzeit nicht berichtet, und zwar im wesentlichen deswegen, weil wir glaubten, diese Frage nur im Betriebsmaßstab klären zu können. Mißerfolge mit verschiedenen feuerfesten Massen im Großbetrieb durch Schlierenbildung veranlaßten uns aber doch, nach einer weniger kostspieligen und zeitraubenden Untersuchungsmethode zu suchen, um stark schlierende Massen von wenig schlierenden unterscheiden zu können. Eine als brauchbar befundene Methode wurde auf Massen aus den genannten Tönen angewendet. Wir erhielten dabei größtenteils eindeutige Ergebnisse. Versuche, diese Ergebnisse über die Schlierenbildung der Tone zu den bereits bekannten Eigenschaften der Tone in Beziehung zu setzen, ergaben keine sichtbaren Zusammenhänge. Aus diesem Grunde wurde über die schon 1931 abgeschlossenen Untersuchungen nicht berichtet. Nachdem wir aber auf Grund der gesamten Untersuchungen an den genannten feuerfesten Tönen, insbesondere auch der Schlierenprüfung, im eigenen Betrieb Hafens- und Wannensteinmassen entwickelt haben, die sich bis zu 12 Jahren gut bewährten, glauben wir heute unsere Zurückhaltung aufgeben zu sollen, zumal über diesen Gegenstand wenig berichtet ist.

Ausgangspunkt dieser Untersuchungen war das Verhalten zweier Hafensmassen, die in Anlehnung an die genannte frühere Untersuchung durch den Tonerdegehalt gekennzeichnet werden, obgleich der Tonerdegehalt vielleicht nicht immer das wesentliche Merkmal ihres Verhaltens ist. Von diesen Hafensmassen zeigte eine Masse mit 23% Tonerde beim Schmelzen eines Kalk-Magnesia-Glases zwar geringere Widerstandsfähigkeit gegen chemische Auflösung und geringere Feuerfestigkeit als eine Masse mit 42,5% Tonerde, zeichnete sich aber durch erheblich geringere Schlierenbildung aus; der Produktionsausfall durch Schlieren betrug bei dieser Masse während einer längeren Herstellungsprobe von Glühlampenkolben im Mittel rd. 1% gegenüber 6% bei der chemisch widerstandsfähigeren tonerdereichen Masse. Besonders gutes Vorbrennen der tonerdereichen Häfen zur Verminderung der Porosität und zur daraus folgenden Erhöhung der chemischen Widerstandsfähigkeit führte zu keinem besseren Ergebnis. Auch andere Gläser ähnlicher Zusammensetzung, beispielsweise Thüringer Apparategläser, wurden mit dem gleichen Erfolg bzw. Mißerfolg in den beiden Hafensorten geschmolzen. Auch bei der für diese Gläser bez. Glasgüte als am richtigsten erkannten Schmelzmethode, nämlich kurze, scharfe Schmelze, kamen wir für die tonerdereichen Häfen nicht zu befriedigendem Ergebnis.

Ferner lagen uns verschiedene Wannensteinarten vor, welche gegenüber dem genannten Kalk-Magnesia-Glas in Wannengroßversuchen recht beträchtliche Unterschiede bez. Schlierenbildung zeigten. Zwei Wannensteine mit einem Gehalt von 26,8% bzw. 37,9% Tonerde ergaben nur Schlieren in der Größenordnung von 1%. Andere Steine, die nach einem besonderen Verfahren hergestellt worden waren, mit 36,8% Tonerde, ergaben dagegen bei Glühlampenkolben Schlierenausfall in der Größenordnung von 10–15%.

Es galt nun, Methoden zu finden, um diese in der Praxis gefundenen Unterschiede in der Schlierenbildung auch in kleinerem Maßstab sichtbar zu machen. Als recht brauchbar, insbesondere auch für die Frage der Steinchenbildung, erwies sich folgendes, allerdings nicht überall anwendbares Verfahren: Wir gaben ein relativ großes Stück des zu untersuchenden Materials, beispielsweise einen Würfel von 10 cm Kantenlänge, u. U. nach geeignetem Vorbrand in einen Hafen oder eine Tageswanne, die mit dem in Frage kommenden Glas beschickt werden. Durch normales Schmelzen und Ausarbeiten während einiger Wochen in Gegenwart des zu prüfenden Steines läßt sich meist schon sehr bald durch den Produktionsausfall feststellen, ob der Stein stark Steinchen oder Schlieren abgibt. Günstig ist es hierbei, wenn man einen unter gleichen Bedingungen arbeitenden Hafen ohne Stein zum Vergleich zur Verfügung hat. Auch bez. der Angreifbarkeit verschiedener feuerfester Massen erhält man so eine gute Differenzierung. Wir konnten auf diese Weise verschiedentlich eine erste Orientierung über angebotene Steine erhalten.

Für die Untersuchung der früher auf andere Eigenschaften untersuchten Tone sowie zur Prüfung relativ kleiner Stücke feuerfesten Materials erschien es nun wünschenswert, auch eine Laboratoriumsmethode zur Verfügung zu haben²⁾. Als zweckmäßige Art der Ausführung einer Schlierenprüfung im Laboratorium hat sich in Anlehnung an die soeben beschriebene Methode folgendes Verfahren herausbilden lassen: Aus dem zu prüfenden Stein wird ein Körper der Größe $10 \times 10 \times 20$ mm³ (bei grobkörnigem Material u. U. auch größer) herausgeschliffen und in einem Platintiegel bei einer geeigneten Temperatur mit etwa 60 g Gemenge überschüttet. Bei dem genannten Kalk-Natron-Glas hat sich die Ausdehnung des Versuches über 3 Stunden bei 1400° C bewährt. Nach Beendigung der Schmelze wird der Schamottekörper aus dem Tiegel entfernt und das Glas zu kleinen Plättchen von etwa 30 mm \varnothing und 6 bis 7 mm Dicke ausgegossen. Die Plättchen werden an beiden Seiten auf etwa 5 mm abgeschliffen und anschließend poliert.

Zur Auswertung der Schlierigkeit der Plättchen lag es nahe, die TÖPLERsche Schlierenmethode etwa durch photometrische Erfassung der durch die Schlieren abgelenkten Strahlen mittels einer ULBRICHTschen Kugel quantitativ zu gestalten; das Verfahren erwies sich jedoch als zu unempfindlich. Es lag ferner nahe, wie bereits verschiedentlich vorgeschlagen, durch das Plättchen ein Netz von sich senkrecht schneidenden Geraden zu betrachten und die Anzahl der verzerrten Quadrate auszuzählen. Als völlig ausreichend und bei der großen Anzahl der Proben am schnellsten zum Ziele führend erwies sich schließlich

¹⁾ G. GEHLHOFF, H. KALSING, K. LITZOW, M. THOMAS: „Die Eigenschaften feuerfester Tone für die Glasindustrie“. Glastechn. Ber., 6 (1928/29), S. 489–531.

²⁾ Diese Methode wurde in derselben Form kurz skizziert im Fachausschußbericht DGG. Nr. 38 „Wannensteinprüfung“, S. 213.

die Schätzung. Praktisch wurde folgendermaßen verfahren: Es wurde das durch einen parallelen Strahlengang auf einer Mattscheibe erzeugte Schlierenbild des Plättchens photographisch festgehalten; Politurfehler werden zweckmäßig durch Einbetten in eine Flüssigkeit mit gleichem Brechungsindex eliminiert. Das erhaltene Bild des schlierigen Glasplättchens wird durch Schätzung in fünf Güteklassen eingeordnet. Die Schätzung geschieht in der Art, daß man völlig schlierenfreie mit 0, zu einem Viertel mit Schlieren bedeckte mit 1 usw. und völlig bedeckte mit 4 bezeichnet. Es ist natürlich nicht zu erwarten, daß das bei den Schlierenschmelzen erhaltene Glas in allen seinen Teilen gleichmäßig schlierig ist. Durch Auswertung aller bei einer Schmelze erhaltenen Glasplättchen und durch mehrfache Wiederholung der einzelnen Schmelzen kann man aber in allen Fällen doch für jedes Steinmaterial eine mittlere charakteristische Schlierenabgabe feststellen.

Voraussetzung für eine allgemeine Anwendung dieser Methode sind natürlich Schmelzbedingungen, die ohne Prüfkörper ein einigermaßen schlierenfreies Glas ergeben, soweit überhaupt Glas in derartig kleinem Maßstabe schlierenfrei zu schmelzen ist. Bild 1 zeigt in der ersten Reihe einige derartige Glaskörper, die ohne Prüfkörper erhalten wurden. Die zweite Reihe stellt Glaskörper dar, die bei Gegenwart des genannten gutartigen Hafennaterials und die dritte Reihe Glaskörper, die bei Gegenwart des genannten schlierenden Hafennaterials erhalten wurden. Durch Zahlen unter den Prüfkörpern sowie die gemittelten Zahlen am Ende jeder Reihe werden die Unterschiede zahlenmäßig erfaßt. Praktisch begnügten wir uns natürlich nicht mit derartig wenigen Proben. Es wurden, insbesondere wenn die Unterschiede schwer zu erkennen

jedem Ton vier Schmelzen aus, von denen jede etwa 4 bis 5 Glaskörper ergab. Tafel 1 ergibt eine Uebersicht über die aus den einzelnen Glasproben jeder Schmelze gemittelten Schlierenwerte sowie die Mittelwerte aus den verschiedenen Schmelzen. Die Tone sind hierbei nach steigender Schlierenabgabe geordnet.

Tafel 1.
Schlierenbildung durch gebrannte Tone beim Schmelzen von Kalk-Magnesia-Glas.

	Schlierigkeit				
	Einzelmittel aus den Schmelzen				Mittelwert aus den Einzelmitteln
	1	2	3	4	
Ohne Ton	0,4	0,7	0,9		0,7
Tonsorte:					
Klingenberger Ton . .	1,8	1,9	2,2	0,5	1,6
Großalmeroder Ton . .	1,7	1,7	1,7	2,1	1,8
Wildsteiner Ton . . .	1,0	2,0	2,6	1,8	1,8
Meißener Ton	1,1	1,9	3,6		1,9
Zettlitzer Kaolin . . .	2,0	2,6	2,7	0,4	1,9
Staudter Osmoseton . .	2,4	1,8	1,7	2,4	2,1
Hohenbockaer Ton . .	1,7	2,5	0	2,2	2,1
Böhlener Ton	1,7	3,4	2,9	0,9	2,2
Kemmlitzer Kaolin (Osmose)	2,3	1,3	2,5	2,6	2,2
Teichaer Ton	2,4	1,3	2,3	2,9	2,2
Striegauer Ton	2,2	3,1	1,9	2,0	2,3
Rakonitzer Schiefertone .	2,5	2,0	2,8	1,8	2,3
Ihringshausener Ton . .	2,0	3,8	1,9	1,8	2,4
Hettenleidelheimer Ton .	2,6	1,7	3,0	2,6	2,5
Außernzeller Ton . . .	1,8	3,2	3,5	3,2	2,9
Nieskyer Ton	3,1	3,9	3,2	1,6	3,0
Trübauer Ton	3,3	3,9	2,3	3,2	3,2
Siershahner Ton	3,7	3,5	3,2	3,0	3,4
Neuroder Schiefertone . .	3,8	3,5	4,0	4,0	3,8

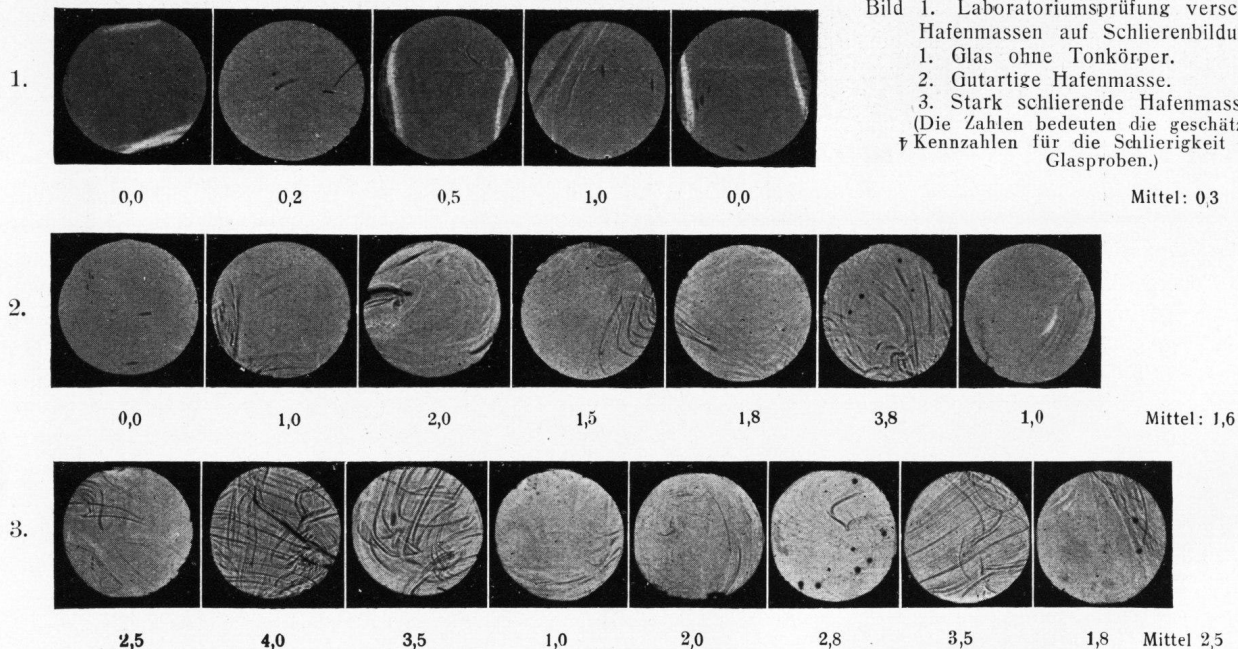


Bild 1. Laboratoriumsprüfung verschiedener Hafennmassen auf Schlierenbildung.
1. Glas ohne Tonkörper.
2. Gutartige Hafennmasse.
3. Stark schlierende Hafennmasse.
(Die Zahlen bedeuten die geschätzten Kennzahlen für die Schlierigkeit der Glasproben.)

waren, bis zu 20 Plättchen aus verschiedenen Schmelzen hergestellt und ausgewertet. Auch die Unterschiede bei der praktischen Erprobung der genannten drei Wannensteine konnten durch diese Laboratoriumsmethode nachgewiesen werden.

Nachdem sich so die Methode als einigermaßen brauchbar erwiesen hatte, untersuchten wir in gleicher Weise gebrannte Körper aus den genannten 20 feuerfesten Tonen. Um ein gutes Bild zu erhalten, führten wir mit

Als beste feuerfeste Rohstoffe für das Kalk-Magnesia-Glas sind die Tone von Klingenberg, Großalmerode, Meißen und der Kaolin von Zettlitz zu nennen. Das gute Verhalten des Großalmeroder und des Meißener Tones, die in vielen Hafenersätzen vorkommen, bestätigt wiederum die Brauchbarkeit der Methode. Die Tone von Außernzell, Niesky, Trübau, Siershahn und der Schiefertone von Neurode sind als besonders ungünstig bez. Schlierenbildung

zu bezeichnen, während die übrigen Tone als solche mittlerer Güte genannt werden können.

Um einen Ueberblick über das Zusammentreffen der bei der Glasschmelze am meisten interessierenden Eigenschaften zu haben, sind in den Bildern 2 und 3 die Schlierenabgabe der Druckerweichung und der chemischen Widerstandsfähigkeit gegen das schmelzende Gemenge gegenübergestellt. Bei Betrachtung von Bild 2 zeigt sich,

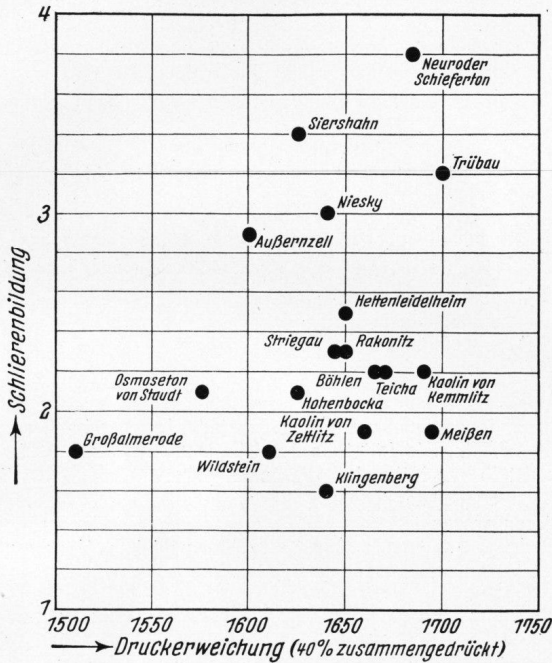


Bild 2. Schlierengehalt eines Kalk-Magnesia-Glases in Abhängigkeit von der Temperatur des haltlosen Erweichens der untersuchten Tone.

daß der Meißener Ton, der Zettlitzer Kaolin und der Klingenbergert Ton sowohl eine hohe Druckerweichung als auch eine geringe Neigung zur Schlierenbildung haben. Von den Tönen, die eine hohe chemische Widerstandsfähigkeit (Bild 3) und gleichzeitig eine geringe Neigung zur Schlierenbildung haben, sind zu

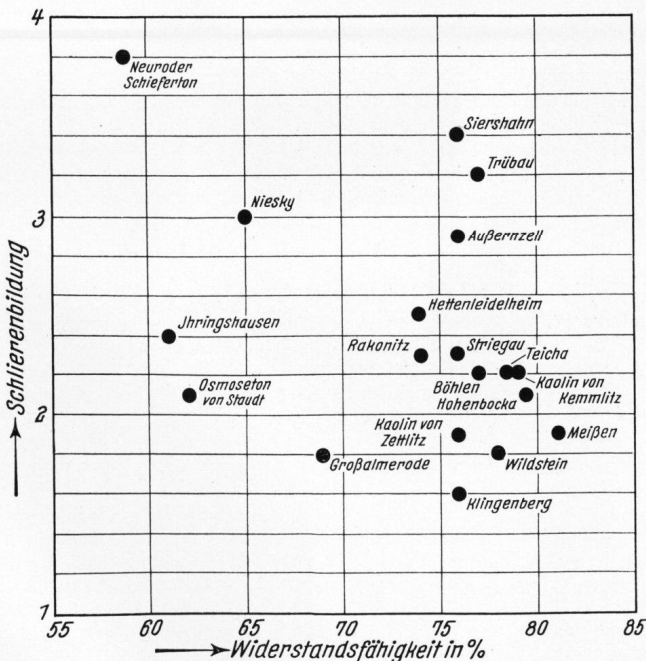


Bild 3. Schlierengehalt eines Kalk-Magnesia-Glases in Abhängigkeit von der Widerstandsfähigkeit der untersuchten Tone gegen Kalk-Magnesia-Glasgemengesmelze.

nennen: Der Meißener Ton, der Wildsteiner Ton, der Klingenbergert Ton, der Zettlitzer Kaolin und der Hohenbockaer Ton. Tone, die allen drei Anforderungen gerecht werden, sind also der Meißener Ton, der Zettlitzer Kaolin und der Klingenbergert Ton. Selbstverständlich wird man nur in besonderen Fällen auf die höchste Güte in den genannten drei Eigenschaften dringen müssen; in den meisten Fällen wird man sich mit dem gutartigen Verhalten der Tone bez. Schlierenbildung begnügen und die Tone nach anderen Gesichtspunkten, etwa der Plastizität, den Brenneigenschaften usw. aussuchen.

So gingen wir bei der Entwicklung von besonders hochschmelzenden feuerfesten Massen, insbesondere zur Erschmelzung von sauren und basischen Hartgläsern für die Elektroindustrie vom Typ des Pyrexglases und des Supremaxglases, von den vorliegenden Untersuchungen aus, obwohl diese zunächst nur für das Kalk-Magnesia-Glas, im weiteren Sinne für alle normalen Natron-Kalk-Gläser, also einen sehr großen Teil der Glaserzeugung, gültig sind. Hierbei konnten wir Häfen und Wannensteine für Hartgläser, insbesondere solche mit 43% Al_2O_3 , entwickeln, die uns die Erschmelzung dieser Gläser in großem Maßstab ermöglichten und die sich bei mehrjähriger Erzeugung dieser Gläser bis heute durchaus bewährten. Natürlich spielten bei der endgültigen Auswahl der Materialien und der Frage, wie weit man sie im rohen und gebrannten Zustand verwendet, noch andere Fragen, insbesondere die Bildsamkeit, Eisenarmut usw. eine beträchtliche Rolle.

Leider sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen mit Kalk-Magnesia-Glas nicht in allen Fällen auf andere Gläser übertragbar. So fielen Betriebsschmelzen von Bleigläsern und einigen Hartgläsern in Häfen aus einem Ton mit 42,5% Al_2O_3 relativ günstig aus, obgleich diese Hafemasse in dem Kalk-Magnesia-Glas beträchtliche Schlieren erzeugt hatte, und obwohl der der Masse zugrunde liegende Ton bei der vorliegenden Laboratoriumsprüfung ungünstig abgeschnitten hatte. Wir versuchten daraufhin, die Laboratoriumsmethode auch auf ein charakteristisches Bleiglas und ein Borosilikatglas auszudehnen. Die Auswertung der Versuche scheiterte leider daran, daß sich diese Gläser erheblich schwerer schlierenfrei in kleinem Maßstab herstellen ließen als Natron-Kalk-Gläser.

Soweit die zweifellos brauchbaren Ergebnisse. Der begreifliche Versuch, die erhaltenen Ergebnisse in das bereits bekannte Bild der Toneigenschaften einzuordnen, um für die weitere Entwicklung und die systematische Beurteilung praktischer Fälle etwa neue Gesichtspunkte zu erhalten, führte nicht zu einem klaren Ergebnis. Gegenüberstellungen der Schlierenbildung mit dem Tonerdegehalt und dem Tonsubstanzgehalt zeigen annähernde Proportionalität. Im allgemeinen neigen Tone mit sehr hohem Tonerdegehalt stärker zur Schlierenbildung als solche mit niedrigem, jedoch glücklicherweise mit großen Ausnahmen. Das gleiche gilt für die Beziehung Schlierenabgabe: Tonsubstanz. Es liegt nahe, die Schlierenabgabe gelegentlich in Verbindung zu bringen mit dem Anteil der Tone an feinstem Quarz. Leider blieben die Beziehungen durch sehr viele Ausnahmen undeutlich. Wegen der Ergebnislosigkeit der Untersuchungen ist darauf verzichtet, alle diese Gegenüberstellungen in extenso zu bringen; man kann sie sich bei Vergleich der Zahlen der früheren Arbeit und der vorliegenden zusammenstellen.

Hierauf wurde versucht, aus dem Aussehen der Körper selbst irgendeinen Anhalt für die Schlierenbildung zu gewinnen. Da vielfach die Meinung besteht, daß die Bildung einer dicken weißen Schicht zwischen Ton und Glas auf starke Schlierenbildung hinweist, während eine dünne weiße Schicht auf geringe Schlierenbildung hindeutet, wurde die Dicke der weißen

Schicht an allen Probekörpern gemessen und der Schlierenbildung gegenübergestellt. Hierbei ergab sich auch nur eine Beziehung mit vielen Ausnahmen. Ferner untersuchten wir die Schicht mikroskopisch, maßen die Länge der Kristalle (Mullit oder Korund) aus und versuchten, die Schlierenbildung in Verbindung zu bringen zur Zahl und Größe der Kristalle, in der Meinung, daß große vereinzelte Kristalle sich leichter abtrennen und Schlieren erzeugen als kleine vereinzelte Kristalle. Auch hier war das Ergebnis dürftig.

Wir nahmen an, daß alle diese unbefriedigenden Ergebnisse damit zusammenhängen, daß beim Vergleich der verschiedenen Tone doch zuviel Komponenten variiert sind; wir versuchten daher, ein und denselben Ton in der Mullitbildung zu beeinflussen, und zwar durch Variation der Porosität (poröse Körper haben vielfach größere Kristalle), ferner durch Variation der Vorbrenntemperatur und Vorbrenndauer zwecks Erzielung verschieden großer Kristalle, Zusatz von Feldspat zum Ton, um große Kristalle zu erzeugen, Zusatz von Zirkonoxyd zum Ton, um die Kristallbildung hinten zu halten. Der vermutete Zusammenhang zwischen der Größe der Mullitkristalle und der Schlierenabgabe kam aber auch bei diesen Versuchen nur andeutungsweise, jedoch nicht mit der wünschenswerten Deutlichkeit heraus.

Kurzbeiträge.

DK 536.42 : 666.112.7 (43-2.762)

Ueber mangelnde Eindeutigkeit bei der Bestimmung des Transformationspunktes von Glas nach der Dehnungsmethode.

In der vor kurzem in dieser Zeitschrift veröffentlichten Arbeit: „Reaktionswege und Fehlbaueffekte in glastechnisch und keramisch wichtigen Systemen“¹⁾ wurde das Transformationsintervall von Jenaer Supremaxglas unrichtigerweise mit 525° C statt der tatsächlichen, etwa 200° höheren Temperatur angegeben, worauf mich Herr M. THOMAS freundlicherweise aufmerksam gemacht hat. Die Ursache dieses Fehlers soll hier kurz auseinandergesetzt werden.

Die Bestimmung des Transformationsintervalls wurde im Prinzip so durchgeführt, daß eine unter Zug stehende Kapillare des betreffenden Glases unter genauer Kontrolle der Längenänderung derselben langsam aufgeheizt wurde. Unter der Voraussetzung, daß die Zugspannung in der Kapillare einen gewissen Minimalbetrag übersteigt, kann man dann eine für jedes gleich vorbehandelte Glas derselben Sorte charakteristische (von der Größe der Belastung praktisch unabhängige) Temperatur feststellen, bei welcher die Länge der Kapillare rasch zunimmt. Auch die thermische Ausdehnung und eine Reihe weiterer Eigenschaften weisen bekanntlich bei dieser Temperatur, welche die beginnende Transformation des Glases anzeigt, Diskontinuitäten auf²⁾.

Die angewandte Apparatur bestand in einem elektrisch geheizten Ofen mit einer Anordnung zur Temperaturregelung und mit Thermolement zur Temperaturbestimmung (vgl. Bild 1). Die Kapillaren, welche im Ofen senkrecht aufgehängt waren, wurden am unteren Ende mit einem auf seine Größe vorher

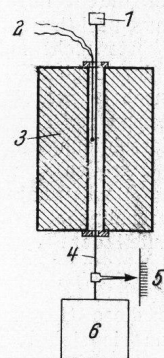
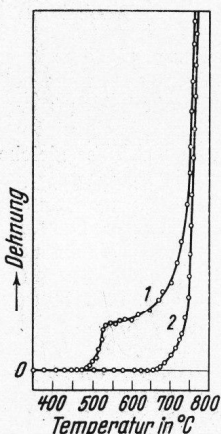


Bild 1 (links).
Vorrichtung zur Bestimmung des Transformationsintervalls von Jenaer Supremaxglas.

Bild 2 (rechts).
Transformationspunktbestimmung von Jenaer Supremaxglas.

- 1 = Anordnung zum Befestigen der Kapillaren,
2 = Thermolement,
3 = Ofen,
4 = Kapillare,
5 = Skala,
6 = Gewicht.



Endlich wurde noch versucht, den Schlierengehalt der Glasproben in Beziehung zu setzen zum Brechungsindex der geschmolzenen Tone; dies liegt nahe, da die in vorliegender Arbeit angewandte Methode der Schlierenprüfung ja nur die sich durch verschiedenen Brechungsindex vom Glase abhebenden Schlieren auswertet, während andere im Brechungsindex mit dem Glase übereinstimmende Schlieren, die etwa nur durch verschiedene Zähigkeit oder Oberflächenspannung vom Glas abweichen, unberücksichtigt bleiben. Wir schmolzen also die Tone glasklar, je nach Schmelzbarkeit teilweise im Knallgasgebläse, bestimmten den Brechungsindex und trugen die Schlierenzahlen gegen die Differenz der Brechungsindizes des jeweiligen Tones und des Kalkmagnesiaglasses auf. Die Proportionalität ist eine angenäherte, aber leider auch nicht viel besser als bei der Gegenüberstellung Schlierenbildung — Tonerdegehalt.

Zusammenfassung.

Es wird über die Prüfung von feuerfesten Massen, insbesondere verschieden gebrannten charakteristischen Tönen auf Schlierenbildung in Gläsern berichtet, deren Ergebnisse bei der Neuentwicklung von inzwischen bewährten Häfen und Wannensteinen gute Dienste geleistet haben. (15 562)

ausprobierten Gewicht belastet. Ein auf der Kapillare angebrachter Zeiger mit dahinter befindlicher Skala gestattete die Ablesung der Dehnung. Die Temperatursteigerung im Ofen betrug 2—3°/Min. Die Lötstelle des Thermolementes befand sich in unmittelbarer Nähe des Glases an der vorher festgestellten heißesten Stelle des Ofens. Die ungefähren Dimensionen der Kapillaren waren 320 mm Länge und 2 mm Durchmesser. Als Belastung wurde 100 kg/cm² gewählt, nachdem Vorversuche gezeigt hatten, daß bei einer Belastung mit mehr als 50 kg/cm² die charakteristische Temperatur der beginnenden Dehnung innerhalb der Fehlergrenzen von jener unabhängig ist. Auch bei so hohen Belastungen wie 150 kg/cm² stimmten die erhaltenen Werte für den Transformationspunkt gut mit den mit 50 kg/cm² Belastung festgestellten Werten überein.

Das Ergebnis der Transformationspunktbestimmung von Jenaer Supremaxglas geht aus Bild 2 hervor. Kurve 1 gibt den Transformationsverlauf einer thermisch nicht vorbehandelten Kapillare wieder und zeigt eine diskontinuierliche Änderung bei etwa 525° C an. Kurve 2 zeigt die Temperaturabhängigkeit der Längenänderung der gleichen Kapillare bei Wiederholung des Versuches. Die Kapillare hat demnach vor der zweiten Bestimmung eine Wärmebehandlung mit anschließender, langsamer Abkühlung im Ofen erfahren. In diesem Falle kann eine Längenzunahme unterhalb 710° C nicht festgestellt werden. Weitere Wiederholungen der Transformationspunktbestimmungen mit der gleichen Kapillare ergeben stets 710° C.

Glastechnisch gesehen ist demnach 710° C als Transformationstemperatur des von uns angewendeten Glases zu betrachten. Dieser Wert stimmt ziemlich gut mit den Angaben im Taschenkalender der Firma SCHOTT & GEN., 1939, S. 11, überein, wo die Transformationstemperatur von Supremaxglas mit 716° C angegeben wird.

Bei den eingangs erwähnten, in den Glastechn. Ber., 20 (1942), S. 34 veröffentlichten Versuchen wurden ausschließlich thermisch unbehandelte Kapillaren verwendet und als „Transformationspunkt“ wurde daher die erste Diskontinuität angegeben; die Dehnung bei höheren Temperaturen wurde nicht untersucht.

Ein besserer Einblick in den beobachteten Effekt einer Art „Vorerweichung“ nicht getemperten Glases kann erst eine ausführliche Untersuchung bringen. Hier kann jedenfalls festgestellt werden, daß infolge von Einfriererscheinungen bei der raschen Abkühlung des Glases dieses in einem instabilen Zustand auftritt, der bereits bei Temperaturen, welche beachtlich unterhalb des Transformationsintervalls liegen, aufgehoben wird. Die Ausheilung beginnt bei den verwendeten Kapillaren bei 525° C merklich zu werden und ist bei 575° C im wesentlichen beendet. Eine gewisse Nachwirkung ist jedoch auch bei höheren Temperaturen festzustellen: die Dehnungskurve geht unter kontinuierlicher Steigerung mit der Temperatur allmählich in diejenige langsam abgekühlter Kapillaren über.

INSTITUT F. CHEM. TECHNOLOGIE der CHALMERS TECHNISCHEN HOCHSCHULE, Göteborg (Schweden).

26. 8. 1942.

J. Arvid HEDVALL und F. SANDFORD.

(15 685)

¹⁾ J. A. HEDVALL, Glastechn. Ber., 20 (1942), S. 34—42.

²⁾ W. A. WEYL, Bull. Amer. Ceram. Soc., 18 (1939), Nr. 11, S. 416—419. (Ref. Glastechn. Ber., 18 (1940), S. 282.)