

bei günstigster Lage eine Durchlässigkeit, die von 28% auf 19% abfällt; bei 40° Neigung, die ungefähr dem Durchschnitt bei diffuser Beleuchtung entspricht, hat es eine Durchlässigkeit zwischen 20 und 14%. Dieser objektive Vergleich bei absolut sauberem, neuem Celldrahtgewebe ist natürlich vollkommen vernichtend für den angeblich bequemen Ersatzstoff des ultraviolett-durchlässigen Glases.

Ein weiterer Nachteil des Celldrahtgewebes ist seine leichte Verschmutzbarkeit durch Ruß, Sand und dergl. und die Unmöglichkeit, es gründlich zu reinigen, ohne das Gewebe zu zerstören. Es bleibt immer, auch beim Absprengen, in den Ecken unter dem Schutz der Drahterhebung Schmutz sitzen, der sich nicht entfernen läßt. Außerdem kühlen alle Kulturen und Räume durch das Celldrahtgewebe natürlich sehr rasch aus, weil ja ein sehr großer Teil der Wandung unmittelbare metallische Leitung mit der Außenwelt herstellt. Schließlich fallen auch nach nicht allzulanger Zeit einzelne Karos der organischen Substanz, wahrscheinlich infolge der verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten und mechanischer Beanspruchung aus. Durch diese Löcher im Fenster gibt es dann bei der Abdeckung von Mistbeeten bei Regenguß einen Tropfenfall auf die Kultur, der zur Zerstörung der Pflanzen führt.

Bei den anderen Anwendungsgebieten des Celldrahtgewebes zur Verglasung von Stallgebäuden und Geflügelfarmen dürften, ganz abgesehen von der geringen durch die optischen Messungen erwiesenen Lichtdurchlässigkeit, dieselben Nachteile bezüglich Verschmutzung, geringen Wärmeschutzes und leichter Zerstörbarkeit zu Ungunsten des Celldrahtgewebes sprechen. Das Celldrahtgewebe hält sicher den Schnabelhieben des Geflügels nicht stand und dürfte in kurzer Zeit an zahlreichen Stellen durchlöchert sein.

Wenn man also Mensch, Tier und Pflanze die Segnungen des natürlichen Tageslichtes zukommen lassen will, bei gleichzeitigem Schutz gegen die Unbilden der Witterung, dann bleibt nichts anderes übrig, als sich zu einer Verglasung mit dem ultraviolett-durchlässigen Glase zu entschließen, welches die physiologisch wirksame Strahlung zu ungefähr 60% hindurchläßt.

## Einige Beobachtungen über den Einfluß der feuerfesten Wandungen auf das Auftreten von Gaseinschlüssen in der Glasschmelze.

Von Willi M. Cohn, Berlin-Dahlem.

(Eingeg. 18. Mai 1928.)

**Inhaltsangabe.** Die Wichtigkeit der Beschaffenheit der für Glasschmelzöfen verwendeten feuerfesten Baustoffe für die Qualität des erschmolzenen Glases wird hervorgehoben, wobei besonders auf die Porosität der Wandungen eingegangen wird. Nach vorgenommenen Versuchen und Beobachtungen an Häfen und Wannen der Technik muß während der ganzen Dauer des Schmelzprozesses eine gewisse Porosität der Wandungen erhalten bleiben, um Gaseinschlüsse in Form von Blasen und Gispfen aus der Glasschmelze restlos zu beseitigen. Es werden Maßnahmen besprochen, die eine Porosität der Wandungen auch bei hohen Temperaturen erreichen lassen.

### Problemstellung.

Beim Schmelzen des Glases zeigt sich eine mehr oder minder starke Entwicklung von Gasen, welche nach den Untersuchungen von Washburn, Footitt und Bunting<sup>1)</sup>, Salmang und Becker<sup>2)</sup> und anderen in der Hauptsache aus CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, sowie aus H<sub>2</sub>O-Dampf bestehen.

<sup>1)</sup> E. W. Washburn, F. F. Footitt, E. N. Bunting, Dissolved gases in glass. Univ. Illinois Bull. 18, 1920 (15).

<sup>2)</sup> H. Salmang und A. Becker, Die Gase im Glas. Glastechn. Ber. 5, 521—537, 1928 (11).

2  
Vor Verarbeitung der Glasschmelze müssen die Gase entfernt werden; dieses geschieht bereits zum Teil während der Einschmelz-, in der Hauptsache jedoch während der Läuterungsperiode, in der die Gase zur Oberfläche der Schmelze aufsteigen und hier abgegeben werden. Bei vielen Schmelzen ist jedoch die Entfernung aller makroskopisch wahrnehmbaren Gaseinschlüsse mit großen Schwierigkeiten verknüpft, bei einigen Gläsern fast ausgeschlossen; es können daher Fabrikationsfehler in Form von größeren Einschlüssen und kleinen Bläschen (Gispen) in den Erzeugnissen auftreten.

Wir möchten uns hier die Frage vorlegen, auf welche Weise derartige Fabrikationsfehler vermieden werden können, d. h. wie die Entfernung aller Gaseinschlüsse aus der Schmelze zu erfolgen hat; auf die Natur der auftretenden Gase wollen wir hierbei nicht näher eingehen.

#### Strömungen in der Glasschmelze.

Bei der heutigen Bauart der Glashäfen und -wannen ist es nicht möglich, die ganze Schmelze auf der gleichen Temperatur zu halten; vielmehr zeigen sich Temperaturunterschiede innerhalb der Schmelze, welche Schichten verschiedener Viskosität verursachen, wobei kühlere Schichten der Schmelze höhere Viskosität zeigen als heißere — vergl. z. B. Thomas<sup>3)</sup>.

Infolge der Viskositätsunterschiede bilden sich nun Strömungen innerhalb der Glasschmelze aus, die von den Stellen höherer zu den Stellen niedriger Temperatur führen und für Häfen und Wannens nachgewiesen werden konnten; es seien hier von neueren Arbeiten genannt: Untersuchungen von Bartsch<sup>4)</sup>, Maurach<sup>5)</sup>, der Wärmetechnischen Beratungsstelle der Deutschen Glasindustrie<sup>6), 7)</sup>, Flint und Payne<sup>8)</sup>, Ross<sup>9)</sup>, Oppermann und Jebsen-Marwedel<sup>10)</sup>, Jebsen-Marwedel<sup>11), 12)</sup>, McSwiney<sup>13)</sup>, Stumm<sup>14)</sup>, sowie von König<sup>15)</sup>.

Die bisherigen Untersuchungen der Glasströmungen haben im allgemeinen durch direkte Versuche nur die obersten Teile der Schmelze erfaßt;

<sup>3)</sup> M. Thomas, Ueber die Viskosität der Gläser, Glasind. 35, 327—331, 1927.

<sup>4)</sup> O. Bartsch, Ueber die Einwirkung von Glasschmelzflüssen auf feuerfeste Baustoffe. Glastechn. Ber. 3, 253—273, 1925.

<sup>5)</sup> H. Maurach, Wärmetechnische Beratungsstelle der Deutschen Glasindustrie, 6. Geschäftsjahr 1925/26.

<sup>6)</sup> Wärmetechnische Beratungsstelle der Deutschen Glasindustrie, Glasschmelzhafenöfen mit Regenerativfeuerung, 1926.

<sup>7)</sup> Wärmetechnische Beratungsstelle der Deutschen Glasindustrie, Glasschmelzwannenöfen, 1927.

<sup>8)</sup> F. C. Flint and A. R. Payne, Tank block corrosion by shelving, J. Amer. Ceramic Soc. 9, 613—617, 1926 (9).

<sup>9)</sup> D. W. Ross, Wearing away of tank blocks. J. Amer. Ceramic Soc. 9, 641—653, 1926 (10).

<sup>10)</sup> G. Oppermann und H. Jebsen-Marwedel, Homogenisierung des Glases. Ber. Fachausschüsse D. Glastechn. Ges. Nr. 10, 1926.

<sup>11)</sup> H. Jebsen-Marwedel, Entglasungsisothermen. Sprechsaal 59, 1926 (47), (48).

<sup>12)</sup> H. Jebsen-Marwedel, Ueber Strömungen des Glases in der Wannenschmelze. Glastechn. Ber. 5, 202—212, 1927.

<sup>13)</sup> D. J. McSwiney, The flow of glass in tanks. Glass Ind. 8, 155—157, 255—258, 1927.

<sup>14)</sup> O. Stumm, Glasströmungen in der Ziehwanneanlage. Glastechn. Ber. 5, 252—274, 1927.

<sup>15)</sup> W. König, Glasströmungen in der Ziehwanneanlage. Glastechn. Ber. 5, 417—424, 1927.

über die Vorgänge im Inneren sind wir nur durch Beobachtungen nach Abkühlung des Glases unterrichtet. Das Glas scheint einen Kreislauf in der Schmelze derart auszuführen, daß es sich von den Stellen der höchsten Temperatur — im allgemeinen der von der Flamme direkt getroffenen Oberfläche der Schmelze — zu den Stellen niedrigerer Temperatur und von dort aus wieder zu den Stellen höherer Temperatur bewegt.

#### Verhalten der Gaseinschlüsse in der Schmelze.

In der Glasschmelze ist das Gas einerseits molekular gelöst; andererseits finden sich Gaseinschlüsse in Form von Blasen oder Gispfen in der Schmelze. Beim Läuterungsprozeß sollen die Blasen und Gispfen entfernt werden. Der Vorgang des Läuterns ist so zu verstehen, daß die infolge von chemischen Reaktionen usw. gebildeten Blasen zunächst an die Oberfläche — sei es infolge ihres geringen spezifischen Gewichtes, sei es infolge der oben erwähnten Strömungen — gelangen und hier zum größten Teil die Schmelze verlassen.

Etwa in der Schmelze verbliebene Blasen werden nun durch die Strömung der Schmelze von der heißen Oberfläche in kühlere Teile der Schmelze befördert (insbesondere in die Nähe der Wandungen) und hier — wenigstens zum großen Teil — wieder von der Schmelze aufgenommen, da nach dem Henryschen Gesetz die Löslichkeit der Gase in der Schmelze mit abnehmender Temperatur wächst.

Gleichzeitig werden sich jedoch immer wieder neue Blasen bilden — einerseits infolge der chemischen Reaktionen usw. im Gemenge, andererseits infolge Ausscheidung von Blasen aus der übersättigten Schmelze mit wachsender Temperatur. Besonders bei schwer läuternden Gläsern, die für optische Zwecke hergestellt werden müssen, wird beobachtet, daß eine völlige Entfernung aller Blasen und Gispfen nicht immer möglich ist; doch findet sich die gleiche Erscheinung auch bei vielen Kalk-Natron-Gläsern. Naturgemäß kann durch das Auftreten von Blasen und Gispfen der Wert der Erzeugnisse stark herabgesetzt werden.

#### Einfluß der Porosität.

Nach unseren Beobachtungen wird bei einem Material der Häfen- bzw. Wannenbaustoffe, welches in der Praxis einwandfreies Glas geliefert hat, die Entfernung der Blasen und Gispfen durch geeignete Beschaffenheit der feuerfesten Wandungen bewirkt.

Es ist in der Technik wohl bekannt, daß die bei der Herstellung von Häfen und Wannen verwendeten feuerfesten Materialien von großem Einfluß auf die Güte des erschmolzenen Glases sind; bisher war es jedoch nicht möglich, anzugeben, welche Faktoren im einzelnen zur Erzielung von einschlußfreien Erzeugnissen maßgebend sind.

Bei den Versuchen, die Ursachen der Unterschiede in der Beschaffenheit desselben Glases zu ermitteln, welches in verschiedenartigen Häfen geschmolzen war, zeigte es sich, daß die Porosität des Scherbens eine große Rolle spielt — neben den sonst beobachteten Einflüssen, wie Menge des zugefügten vorgebrannten Scherbens, Korngröße, Güte der Durcharbeitung usw.

Ein feuerfester Ton, welcher hinreichend vorgearbeitet ist und nun erwärmt wird, zeigt eine Veränderung seiner Porosität derart, daß sie zunächst zunimmt, indem das mechanisch gebundene Wasser entweicht; dann wird ein Maximum erreicht, welches bei verschiedenen Tönen bei verschie-

denen Temperaturen liegt. Bei weiterer Erwärmung setzen chemische Umsetzungen innerhalb der Masse ein, schließlich wird der Ton weich und sintert zusammen, wobei er eine glasige, dichte Masse bildet, in der die Porosität gleich Null geworden ist. Wird dem Ton vor der Verarbeitung ein Magerungsmittel oder vorgebranntes Material zugesetzt, so ist sein Verhalten bezüglich des Auftretens eines Maximums und eines Minimums der Porosität das gleiche.

#### Versuchsergebnisse.

Als Beispiel sei hier das Verhalten zweier Hafematerialien B und C, die uns von verschiedenen Firmen zur Verfügung gestellt wurden, einander gegenübergestellt; B hat in der Praxis einwandfreies Glas ergeben, während bei C meist Blasen und Gispn in der Schmelze verblieben waren und fehlerhaftes Glas erzeugt wurde.

Wurde bei unseren Versuchen in B und in C das gleiche Gemenge erschmolzen — wir stellten Schmelzen aus Kalk-Natron- und einem schwer läuternden Zinkkron-Glas her —, so zeigten sich bei C Blasen, während B blasenfreie Erzeugnisse lieferte. Wurde hingegen ein Gemenge in Häfen, die aus einem hoch sinternenden feuerfesten Material hergestellt waren und verschieden hohen Porengehalt aufwiesen, geschmolzen, so ergab sich bei denjenigen Gläsern, die in den Häfen geringsten Porengehaltes erschmolzen waren, die größte Blasenanzahl. Mit zunehmendem Porengehalt der Wandungen nahm die Menge der Blasen und Gispn ab — schließlich wurde ein blasenfreies Glas erhalten.

Zahlentafel I

Abhängigkeit der Porosität der Glashäfen von der Höhe der Brenntemperatur.

Material	Brenntemperatur		Porosität in %			Mittelwert in %
	Seigerkegel	∞ °C				
B	09a	920	28,3	29,2	30,3	29,3
	05a	1000	28,7	30,7	30,8	30,1
	1a	1100	27,8	29,8	29,7	29,1
	6a	1200	25,6	—	—	25,6
	10	1300	—	25,2	23,4	24,3
	12	1350	22,6	—	22,7	22,7
	14	1410	—	20,6	19,1	19,8
	16	1460	14,3	14,8	—	14,6
C	09a	920	—	24,2	24,1	24,2
	05a	1000	27,9	28,3	27,3	27,8
	1a	1100	27,3	26,4	24,9	26,2
	6a	1200	25,2	—	—	25,2
	10	1300	22,5	—	22,7	22,6
	12	1350	15,9	16,8	17,5	16,7
	14	1410	7,3	7,8	6,9	7,3

In Zahlentafel I wird die Aenderung der Porosität der beiden Hafemassen B und C in Abhängigkeit von der Höhe der Brenntemperatur wiedergegeben — bestimmt als scheinbare Porosität in Volumenprozenten;

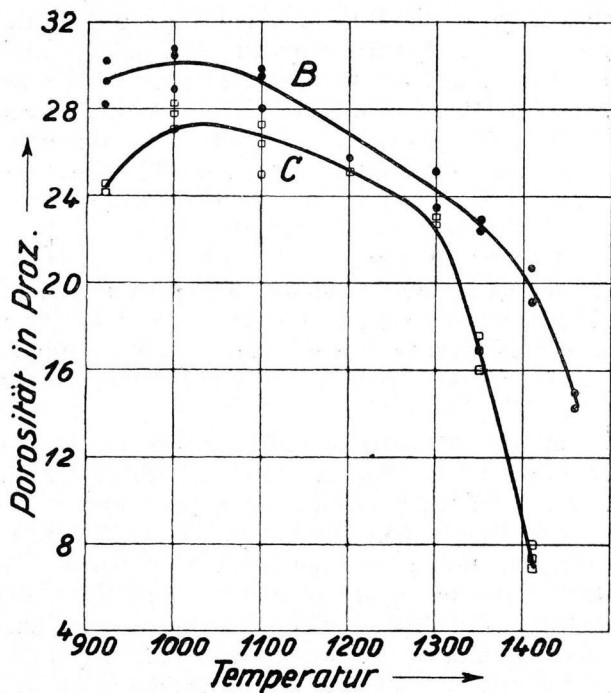


Bild 1. Abhängigkeit der Porosität von der Höhe der Brenntemperatur für verschiedene Hafennmassen.

#### Theoretische Erwägungen.

Will man sich ein Bild von der Wirkung der Porosität der Hafenn- und Wannennmaterialien auf die Glasschmelze machen, so könnte eine mögliche Erklärung wie folgt gegeben werden.\*)

In Bild 2 sei ein stark vergrößerter, schematischer Schnitt durch die Wandung eines porösen Hafens wiedergegeben. a sei die flüssige Schmelze, b die Hafennwandung. Durch die Porosität der Wandung werden zwei Arten von Hohlräumen in ihr auftreten: Einmal einzelne Porenräume, die im ganzen Scherben verteilt sind und durch Herausbrennen der Zusatzstoffe usw. entstanden sind; dann Kapillaren, die sich durch die ganze Stärke des Scherbens hindurch erstrecken.

Beide Arten von Hohlräumen können nun in Berührung mit der flüssigen Glasschmelze treten: In Bild 2 bezeichnet c eine einzelne Pore, welche unmittelbar an der Wandung sitzt und nach dem Inneren des Hafens zu eine Oeffnung hat; d sei eine Kapillare, welche sich durch den ganzen Scherben hindurch erstreckt und eine Verbindung des Inneren des Hafens mit seinem Aeußeren herstellt. (In Wirklichkeit wird die Kapillare nicht den hier gezeichneten geraden Verlauf nehmen, sondern eine gekrümmte Form, Verästelungen usw. zeigen.)

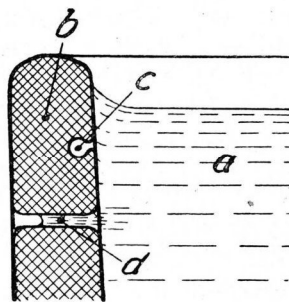


Bild 2. Poröses Hafennmaterial.

Messung der Temperatur erfolgte mit Hilfe von Segerkegeln, deren angenäherte Schmelzpunkte hier wiedergegeben sind.

Material B besitzt bei einer Temperatur von 1410° C eine Porosität von 19,8%, während C hier nur noch 7,3% aufweist, also bereits bedeutend stärker zusammengesintert ist als B. Auch aus den Kurven des Bildes 1 geht dieses Verhalten deutlich hervor. — Somit scheint in der bleibenden Porosität der Wandungen eine wesentliche Ursache für die einwandfreien Schmelzergebnisse bei Benutzung von Hafennmaterial B und die fehlerhaften Erzeugnisse bei Verwendung von C vorzuliegen.

\*) Für die Durchsicht dieses Abschnittes bin ich insbesondere Herrn Dr. Zocher vom Kaiser-Wilhelm-Institut für Physikalische und Elektrochemie sehr dankbar.

Bei Beginn des Schmelzens wird die Pore c einen Gas- oder Luft-  
einschluß enthalten, der während der ganzen Schmelz- und Läuterungs-  
periode nicht aus der Pore entweichen kann, und so verhindert, daß Glas  
in die Pore eindringt. Auch die Kapillare d wird zu Beginn des Schmelzens  
einen Gas- oder Luftschluß besitzen, jedoch wird — sobald die Schmelze  
genügend leichtflüssig geworden ist — flüssiges Glas in die Kapillare ein-  
dringen, da das Gas nach außen entweichen kann. Die infolge der Ober-  
flächenspannung durch die Kapillare ausgeübte Zugkraft wird jedoch nicht  
ausreichen, um die Glasschmelze durch die ganze Kapillare hindurchzuziehen;  
denn die Temperatur der feuerfesten Hafentandung fällt nach außen zu  
stark ab, sodaß die Viskosität der Glasschmelze bei weiterem Eindringen  
in die Kapillare immer weiter erhöht wird. Somit wird sich ein Beharrungs-  
zustand der Schmelze innerhalb der Kapillare etwa in der gezeichneten Lage  
herausbilden.

Die in der Glasschmelze enthaltenen Gase liegen einerseits als kleinere  
oder größere Blasen vor, andererseits sind sie in der Schmelze molekular  
gelöst. Durch die in der flüssigen Schmelze vorhandenen, oben bereits er-  
wähnten Strömungen werden die Blasen an die Oberfläche der Schmelze  
gebracht werden, oder sie werden infolge ihres geringen spezifischen Ge-  
wichtes zur Oberfläche der Schmelze aufsteigen und hier aus dem Glas aus-  
treten. Andererseits bilden sich fortlaufend — wie ebenfalls bereits dar-  
gelegt — in der Schmelze neue makroskopisch erkennbare Blasen (infolge  
der chemischen Reaktionen im Gemenge und durch Ausscheidung aus der  
übersättigten Schmelze mit wachsender Temperatur).

Die in den Poren c des Bildes 2 enthaltenen Gasreste wirken nun als  
Keime derart, daß die in der Schmelze gelösten Gase sich an diesen Keimen  
anreichern. Auf diese Weise bilden sich größere Blasen, welche schließlich  
von den ursprünglichen Keimen abreißen, an die Oberfläche der Schmelze  
gelangen und sie hier verlassen. — Nach erfolgtem Abreißen einer Blase  
können sich an dem in der Pore zurückbleibenden Gasrest durch Keim-  
wirkung neue Blasen bilden, welche dann ebenso aus dem Glase  
entfernt werden. Auf diese Weise findet eine Entgasung der Schmelze  
statt, welche erst dann zum Stillstand kommt, wenn keine molekular ge-  
lösten Gase mehr in der Schmelze enthalten sind.

In den Kapillaren d des Bildes 2 kann in gleicher Weise wie an der  
freien Oberfläche der Schmelze eine Abgabe von Gasen durch die Ober-  
fläche der eingedrungenen Schmelze hindurch stattfinden; infolge der hier  
nicht gezeichneten Verästelungen der Kapillare ist die Gasabgabe größer  
als an einer glatten Oberfläche. Auf diese Weise wird molekular gelöstes  
Gas aus der in die Kapillare eingedrungenen Schmelze entfernt, das Glas  
wird hier gasärmer als im übrigen Teil der Schmelze. Infolgedessen dif-  
fundiert in die in der Kapillare befindliche Schmelze Gas aus der  
übrigen Schmelze; das Gas wird, wie vorher, abgegeben u. s. f. Auch auf  
diesem Wege findet somit eine Entgasung der Schmelze statt und eine  
Unterstützung der oben angeführten Keimwirkung der Gase in den Poren  
der Wandung.

Die geschilderten Vorgänge führen eine völlige Entgasung der Schmelze  
herbei, sodaß durch die porösen Wandungen das Auftreten von makro-  
skopisch wahrnehmbaren Gaseinschlüssen in den Erzeugnissen mit Sicher-  
heit vermieden wird. — Gleichzeitig folgt, daß die Dauer des Läute-  
rungsprozesses durch die beträchtliche Vergrößerung der Oberfläche

bei porösen Scherben gegenüber den üblichen Hafens- und Wannensmassen herabgesetzt wird — eine Folgerung, die auch durch vorgenommene Vergleichsversuche bestätigt wurde.

Eine gewisse Parallele zu den Entgasungsvorgängen der Glasschmelze findet sich in Vorgängen beim Brennen keramischer Erzeugnisse, z. B. von Porzellan. Auch hier ist während einer bestimmten Brennperiode ein Austritt der im Inneren der Körper enthaltenen und entwickelten Gase durch die Poren der Masse hindurch zu beobachten, wobei der Entgasungsvorgang in ähnlicher Weise denkbar ist wie oben für poröse Hafenswandungen ausgeführt. Es muß daher sorgfältig darauf geachtet werden, daß bis zur Beendigung der Gasentwicklung keine Verstopfung der Poren des Porzellans durch Sinterung oder auf anderem Wege (Bildung von Niederschlägen oder dgl.) eintritt. Auch Bleininger weist in der Diskussion zu dem Vortrage von Arthur<sup>16)</sup> hierauf hin.

#### Größe der Poren.

Die obigen Ueberlegungen gelten für kleine Poren; das Verhalten einer Glasschmelze gegenüber großen Poren oder Hohlräumen in der Hafens- oder Wannenswandung ist ein anderes, wie bereits Bartsch<sup>4)</sup> ausgeführt hat. — Befinden sich an der Innenwand eines Hafens oder einer Wanne fehlerhafte Stellen oder Einschlüsse in der feuerfesten Masse, wie Schwefelkies, Carbonate usw., so werden diese durch die flüssige Schmelze angegriffen bzw. zersetzt, und es entstehen größere Hohlräume in der Wandung, in die die Schmelze eindringen kann. Meist werden kleine Teile von der feuerfesten Wandung abgelöst, welche in die Schmelze gelangen und hier zur Entstehung von Keimen beitragen können, die die Bildung von Gasblasen bewirken. Die feuerfesten Teilchen zeigen sich meist als Einlagerungen in den Gasblasen.

Auch die so gebildeten Blasen gelangen schließlich an die Oberfläche der Schmelze und werden hier abgegeben; die eingeschlossenen feuerfesten Teilchen jedoch verbleiben in der Schmelze und geben Anlaß zur Bildung immer neuer Blasen, deren völlige Entfernung meist nicht möglich ist und die das erschmolzene Glas unbrauchbar machen können.

#### Gesinterte Wandungen.

Ist das feuerfeste Material der Hafens- oder Wannenswandung völlig dicht — gegossen oder zusammengesintert —, so ist eine Entgasung der Schmelze durch Entfernung der molekular gelösten Gase, wie bei porösen Wandungen, nur schwer zu erreichen, und es kann zu den bekannten, durch Gaseinschlüsse verursachten Fabrikationsfehlern kommen. Gerade bei hochschmelzenden Gläsern werden häufig Gispfen im Fertigerzeugnis beobachtet und das feuerfeste Material zeigt dann bei näherer Untersuchung, daß es zusammengesintert ist und seine ursprüngliche Porosität verloren hat.

Allerdings besteht ein Vorteil einer dichten Hafens- oder Wannenswandung darin, daß die feuerfesten Wandungen nicht mehr durch das Eindringen flüssiger Schmelze angegriffen werden können, somit auch keine Beeinflussung der Schmelze durch herausgelöste Teilchen der feuerfesten Wandungen oder in anderer Weise möglich ist. Aus diesem Grunde

<sup>16)</sup> E. P. Arthur, Large clay shapes for the window glass industry. J. Amer. Ceramic Soc. 10, 850—859, 1927 (11).

stellen die Corning Glass Works gegossene Wannensteine und -teile aus Mullit her<sup>17)</sup>; über die in diesen Wannen erschmolzenen Gläser liegen m. W. bisher noch keine Ergebnisse vor.

#### Eintritt von Gasen in die Schmelze von außen.

Häufig ist beim Erschmelzen des Glases noch eine andere Erscheinung zu beobachten, bei der eine Wanderung von Gasen in entgegengesetzter Richtung wie beim Läuterungsprozeß usw. stattfindet, nämlich vom Außen des Hafens oder der Wanne in die Schmelze hinein: Sobald die Hafens- oder Wannenwandung Risse aufweist, welche durch die ganze Wandung hindurchgehen, kann Luft oder Ofengas von außen her in die Schmelze eindringen und die Bildung von Blasen und Gasen veranlassen, — eine Erscheinung, die ebenfalls vielfach in der Praxis beobachtet wird. Die Risse können entstanden sein durch schroffen Temperaturwechsel, zu starke oder ungleichmäßige Schwindung des feuerfesten Materials, Volumenänderungen im Scherben durch Quarzumlagerungen bei 575° C. oder dgl. — vgl. die Zusammenstellung bei W. M. Cohn<sup>18)</sup> —, sowie durch andere Faktoren — vgl. Thompson<sup>19)</sup>.

Abhilfe kann hier nur durch Vermeidung der Ribbildung beim Herstellen und Brennen des feuerfesten Materials gebracht werden, insbesondere durch geeignete Formgebung und sorgfältige Aufbereitung. Auch größere Hohlräume im Innern der Wandungen, wie sie bei der Herstellung der Hafensmassen von Hand leicht entstehen, können zu ähnlichen Erscheinungen führen.

#### Folgerungen für die Praxis.

Nach den bisherigen Darlegungen dürfte als sichergestellt gelten, daß das Wannen- und Hafensmaterial auch bei den Temperaturen des Glasschmelzens eine gewisse Porosität aufweisen muß. Zu diesem Zwecke sind solche feuerfesten Materialien zu verwenden, deren Sinterungspunkt oberhalb der Glasschmelztemperatur liegt. Fernerhin müssen die Hafens- und Wannenmaterialien durch die Art ihrer Zusammensetzung und Vorbehandlung usw. gegen den Angriff der Glasschmelze unempfindlich sein, sodaß eine Ablösung kleiner Teilchen von ihnen unmöglich ist, welche in die Schmelze gelangen und hier zu Fabrikationsfehlern führen können.

Die Porosität solcher Massen, die nicht von Natur aus genügend porös brennen, kann durch gewisse Maßnahmen künstlich erhöht werden:

a) Der feuerfesten Masse wird ein verbrennbares Material, wie Mehl, Sägemehl, Lokomotivlösch, Steinkohlen- oder Holzkohlenstaub vor der Verarbeitung zugesetzt. Bei der Erwärmung des Hafens oder der Wanne brennt das Zusatzmaterial heraus und hinterläßt in der feuerfesten Masse Porenräume. Zweckmäßigerweise wird man die Korngröße der Zusatzmittel u. U. durch Mahlen — so gering wählen, daß nur kleine Poren entstehen können, sodaß ein mechanischer Angriff der Schmelze auf die Wandungen ausgeschlossen ist.

<sup>17)</sup> Verfasser ungenannt, Mullitwannensteine. Sprechs. 60, 284, 1927 (16).

<sup>18)</sup> W. M. Cohn, Ueber Wärmeleitfähigkeit, Wärmeausdehnung, spezifische Wärme und einige andere thermische Eigenschaften von Mineralien und keramischen Massen. Ber. D. Keram. Ges. 9, 239—299, 1928.

<sup>19)</sup> F. S. Thompson, Some aspects of American glass tank furnace practice. J. Amer. Ceramic Soc. 10, 956—969, 1927 (12).

b) Es käme auch die Herstellung einer porösen Masse in ähnlicher Weise in Frage, wie sie Meyer und Pukall<sup>20)</sup> für keramische Massen und für andere Zwecke vorgeschlagen haben: Dem Material werden feingepulverte Metalle beigemischt, welche mit Wasser oder Bestandteilen der Masse unter Gasentwicklung reagieren; die auftretenden zahlreichen Blasen erhöhen die Porosität der Masse. Natürlich dürfen für unsere Zwecke nur solche Zusatzstoffe gewählt werden, welche eine Einwirkung auf die Glasschmelze ausschließen.

Abschließend möchte ich ausdrücklich darauf hinweisen, daß es mir nicht möglich war, besondere Versuche zur Nachprüfung der gezogenen Folgerungen durch Schmelzversuche an großen Häfen und Wannen vorzunehmen, da mir nur die üblichen Laboratoriumsöfen und -häfen zur Verfügung standen. — Meine Beobachtungen mußten sich fernerhin auf verschiedene gebrauchte Häfen und Wannen der Praxis beschränken, deren Porengehalt mehr zufällig verschiedene Werte aufwies. — Ich würde es jedoch sehr begrüßen, wenn meine Ausführungen weitere derartige Versuche von anderer Seite veranlassen würden, damit die hier angeschnittenen Fragen, die von großer Wichtigkeit für die Glasindustrie sein dürften, weitere Klärung erfahren.

#### Zusammenfassung.

Aus den vorliegenden Untersuchungen und theoretischen Betrachtungen geht hervor, daß die Entfernung der Blasen und Gispfen aus der Glasschmelze wesentlich durch die Gegenwart von Poren in den feuerfesten Wandungen befördert wird. Es dürfte sich dabei um die Keimwirkung der an den Poren ursprünglich haftenden Luft- und Gaseinschlüsse handeln, die eine Entgasung der Schmelze dadurch bewirken, daß sich an ihnen dauernd größere Blasen bilden, die dann zur Oberfläche der Schmelze aufsteigen und dort abgegeben werden. Daneben dürfte durch die in die Kapillaren der Wandungen eingedrungene Schmelze eine Diffusion von Gasen aus der Schmelze nach außen bewirkt werden.

Als Folgerung für die Praxis ergibt sich die Notwendigkeit, ein Material als Baustoff für die Hafens- und Wannenwandungen zu verwenden, dessen Sinterungspunkt oberhalb der Temperatur des Glasschmelzens liegt und das eine natürliche oder durch künstliche Maßnahmen erzielte Porosität bei der Glasschmelztemperatur besitzt.

Die Schmelzversuche wurden zum Teil im Kaiser-Wilhelm-Institut für Silikatforschung und zum Teil bei den Sendlinger Optischen Glaswerken durchgeführt. Ich möchte mir erlauben, Herrn Professor Dr. W. Eitel und Herrn Professor Dr. F. Weidert für viele Anregungen meinen ergebensten Dank auszusprechen. Desgleichen danke ich allen Firmen, welche durch Ueberlassung von Materialien und durch die Vornahme von Versuchen die Arbeit gefördert haben, insbesondere Herrn Dir. Dr. Jaeckel von den Sendlinger Optischen Glaswerken.

Berlin-Dahlem, April 1928.

<sup>20)</sup> J. Meyer und K. Pukall, Künstliche Porosität keramischer Massen. Sprechsaal 60, 887—888, 1927.