

wannen mit ihren erheblichen Gewichten schütteln zu wollen, absurd und doch ist der Kern dieses Gedankens richtig. Bei der Verfolgung dieses Schüttelproblems der Schmelze bin ich auf die in der letzten Zeit in der Industrie von der physikalischen Forschung her eindringenden Ultra-Schallwellen gestoßen.

Ueber die Ultra-Schallwellen selbst, ihr Wesen, ihre Erzeugung und ihre Anwendung in der Schmelztechnik, besonders bei der Glasschmelze, bringt der folgende Vortrag*) des Leiters des Physik-Institutes der Universität Greifswald, Prof. Dr. Krüger, nähere Ausführungen. Es liegt nahe, dieses allerdings noch sehr neue physikalische Werkzeug in der Glas-Schmelze anzuwenden mit der Absicht, statt der bisherigen mechanischen Schwimmer und Durchlässe schwingende Barrieren von schmelzendem Glas zwischen Schmelze und Verarbeitung einzuschieben. Wenn es gelingt — und die Laboratoriumsversuche geben hierzu die durchaus berechtigte Hoffnung —, das Schmelz- bzw. Läuterungsbad unserer Wanne durch Schallwellen zum Schwingen zu bringen, dann heißt das nichts anderes, als daß wir mit physikalischen Mitteln die Entgasung unserer Schmelzbäder ohne zusätzliche Feuerbelastung erreichen könnten.

Wenn ich jetzt von den zu erreichenden Zielen spreche, so bitte ich von vornherein zu bemerken, daß es sich hierbei um Ziele und nicht um Versprechungen handelt. Es ist stets töricht, Versprechungen zu machen, aber immer richtig, die gewollten Ziele hochzustecken. Bei Anwendung von Ultra-Schallwellen müßte folgendes möglich sein:

1. bei bestehenden Wannenanlagen völlige Sicherheit gegen Eindringen von Blasen aus dem Schmelzraum in den Arbeitsraum;
2. Herabsetzung der Temperaturen und dadurch Erhöhung der Lebensdauer der Wannenanlagen, soweit diese durch thermische Einflüsse bedingt ist;
3. erhebliche Vergrößerung des Glasdurchsatzes ohne wesentliche Neuinvestierung von Kapital, besonders ohne bauliche Veränderung von bereits bestehenden Anlagen.

*) s. unten.

Beim Neubau von Wannenanlagen könnten die Schmelz- und Läuterungsräume bei gegebenem Durchsatz erheblich verkleinert werden. Die Feuerbelastung würde geringer, das aufgewandte Kapital für neue Wannenanlagen erheblich herabgesetzt, so daß infolge der verminderten Kosten auch kleineren Hütten die Vorzüge des dreischichtigen Wannanbetriebes zugänglich gemacht werden könnte.

Von besonderer Bedeutung erscheint dieses Verfahren auch für die Guß- und Tafelglas-Industrie. Ganz besonders groß aber dürfte meiner Auffassung nach die Bedeutung dieses neuen Entgasungsverfahrens für die optische Glasindustrie sein. Gerade in der optischen Industrie müßte die Sicherheit der Glasschmelzen durch die Ultra-Schallwellen-Entgasung auf das wirtschaftlich zu fordernde Maß zu bringen sein. Sollte es gelingen, die Schallsender handlich und transportabel zu bauen, so wäre es auch nicht ausgeschlossen, daß beim Hafeno-fen-Betrieb die Schmelz- und Läuterungszeit, die z. Zt. 16 Stunden beträgt, auf ein solches Zeitmaß herabgesetzt werden könnte, daß unter Umständen an den Hafeno-fen ohne bauliche Veränderungen ein-, vielleicht zweischichtiger Betrieb durchgeführt werden könnte.

Es ist selbstverständlich, daß bis zur Einführung der Ultra-Schallwellen in die alltägliche und rauhe Hüttenpraxis der Weg unter Umständen noch weit ist. Es werden noch manche Fragen in diesem Zusammenhang auftauchen, deren Lösung nicht ganz leicht erscheint, und trotzdem werden auch sie zu lösen sein.

Es ist selbstverständlich, daß man an dieses grundsätzlich neue Verfahren in der Praxis mit Vorsicht herangehen muß, um Fehl-Investierungen von Kapital zu vermeiden. Auf der anderen Seite aber zwingt gerade die Neuheit der Ueberlegungen dazu, diese Gedanken nicht fallen zu lassen.

Das Echo, das dieser und der folgende Vortrag bei Ihnen finden wird, wird mitbestimmend sein dafür, ob und in welcher Zeit die deutsche Glasindustrie von diesem neuen Verfahren, das uns die physikalische Wissenschaft an die Hand gegeben hat, Gebrauch macht, und damit ihren großen Ruf als fortschrittliche und lebendige Industrie, den sie in erheblichem Umfange besitzt bzw. besessen hat, neu ausbaut und festigt. (12 191)

DK 666.1.031.1 : 666.1.031.15 : 534.321.9 (042)

Ueber die Entgasung von Glasschmelzen durch Schallwellen.

Von Professor Dr. F. Krüger, Greifswald. Physikalisches Institut der Universität Greifswald.

(Vortrag bei der 21. Glastechnischen Tagung, Berlin, 17. II. 1938.)

Es wurde zunächst gezeigt, daß mit Luftblasen erfülltes Glycerin, dessen Zähigkeit etwa 1000mal größer ist als die des Wassers, nach Schallbehandlung von 5 Minuten von den Blasen vollkommen befreit wird. Die Versuche mit Glasschmelzen wurden in einem Platintiegel bei 1350°C vorgenommen. Nach halbstündiger Schallbehandlung war ein deutlicher Entgasungseffekt gegenüber einer in gleicher Weise gleich lang erhitzten, nicht mit Schall behandelten Glasschmelze nachweisbar.

Daß eine unvollkommene Befreiung des Glases von Gasblasen einerseits technisch schädlich sein kann, andererseits einen Schönheitsfehler darstellt, was beides sich in ökonomischer Beziehung im allgemeinen stark auswirkt, ist schon in dem vorhergehenden Vortrag†) kurz dargelegt. Daß aber auch die sorgfältig entgasten optischen Gläser noch keineswegs völlig blasenfrei sind, stellt der Physiker fest, wenn er z. B. Linsen bei der Schlierenmethode in Dunkelfeldbeleuchtung betrachtet. Dann werden die für gewöhnlich unsichtbaren Gasblasen oft wie

ein Sternenhimmel in der Linse sichtbar; in mancher Hinsicht wäre daher auch für diese Gläser eine vollständigere Entgasung wünschenswert.

Die bisherigen Verfahren der sogenannten Läuterung des Glases sind vor allem in der Arbeit von G. Gehlhoff, H. Kalsing und M. Thomas¹⁾ eingehend dargelegt und untersucht. Als ich mit den Versuchen über

†) s. V. Klein, Glastechn. Ber., 16 (1938), H. 7, S. 232.

¹⁾ G. Gehlhoff, H. Kalsing und M. Thomas, Glastechn. Ber., 8 (1930), S. 1—24.

die Entgasung von Schmelzen und Flüssigkeiten durch Ultraschall und Schallwellen begann, hatte ich auch sogleich die Anwendung auf Glasschmelzen ins Auge gefaßt. Ich stellte sie aber zunächst zurück, weil wegen der hohen Zähigkeit der Glasschmelzen besondere Schwierigkeiten zu erwarten waren, während z. B. die Zähigkeit der Metallschmelzen durchaus in der Größenordnung der Zähigkeit des Wassers bei Zimmertemperatur liegen und die Entgasung dieser Schmelzen daher das leichtere Problem darbot. Nachdem nun auf diesem Gebiete durch mehrjährige Arbeit eingehende Erfahrungen gesammelt waren, war mir die Anregung von Herrn Dr. Viktor Klein durchaus willkommen, nun auch einmal Versuche über die Entgasung von Glasschmelzen mit Hilfe von Schallwellen anzustellen.

Bei der Entgasung solcher Schmelzen ist einmal zu unterscheiden zwischen der Ausscheidung in Form von Bläschen von in den Schmelzen wirklich gelösten Gasen und zweitens der Austreibung der Bläschen selbst aus der Schmelze. Durch die Schallwellen werden beide Vorgänge ausgelöst bzw. gefördert. Die Auslösung der gelösten Gase in Form von Bläschen geschieht bekanntlich durch die periodischen Kompressionen und Dilatationen in den Schallwellen, bei denen hohe Ueber- und Unterdrucke auftreten. Die Austreibung der Gasblasen selbst durch Schallwellen ist durch zwei Ursachen bedingt: Einmal vereinigen sich kleinere Bläschen infolge der akustischen Anziehung bei ihrer Bewegung zu größeren Bläschen, die leichter aus der Schmelze aufsteigen; dann aber ist noch ein anderer Effekt vorhanden, der von H. Freundlich, F. Rogowski und K. Söllner²⁾ in einem Gel an Gasblasen deutlich verfolgt werden konnte. Er scheint

darin zu bestehen, daß infolge der Bewegung der Gasblasen an ihrer Oberfläche eine erhöhte Temperatur und damit eine Verminderung der Zähigkeit auftritt, wodurch ebenfalls ein leichteres Aufsteigen der Gasblasen ermöglicht wird.

Daß eine Gasbefreiung in Wasser, aber auch in Metallschmelzen durch intensive Ultraschall- und Schallwellen unschwer in technisch brauchbarer Weise möglich ist, konnte ich durch zahlreiche Versuche feststellen. Aber die Zähigkeit dieser Substanzen liegt bei etwa 0,01 cgs-Einheiten, die der Glasschmelzen bei 1300°C aber etwa zwischen 100–300 cgs-Einheiten, also bei einem etwa 10 000mal höheren Werte. Man konnte daher mit Recht Bedenken hegen, ob auch in diesen Schmelzen durch Schallwellen eine Entgasung möglich sein würde.

Um zunächst an einem leichter zu handhabenden Stoffe, der auch bei Zimmertemperatur schon eine sehr viel höhere Zähigkeit besitzt, Versuche über seine Entgasung zu machen, wählte ich Glycerin, das bei 20°C eine Zähigkeit von etwa 10 cgs-Einheiten besitzt, also einen etwa 1000mal größeren Wert als Wasser. Die Versuche wurden in der Weise angestellt, daß das Glycerin in einer Flasche heftig durchgeschüttelt wurde, wobei in dem Glycerin sehr zahlreiche Luftbläschen verschiedener Größe zurückblieben, die ohne besondere Behandlung des Glycerins nur sehr langsam aufstiegen und entwichen. Ein solches mit Luftbläschen durchsetztes Glycerin wurde dann in der Weise mit Schallwellen behandelt, daß ein an einen Magnetostruktionssender angesetzter Stempel von

²⁾ H. Freundlich, F. Rogowski und K. Söllner. Z. phys. Chem., (A), 160 (1932), S. 469; ausführlicher in Kolloidchem. Beiheften, 37 (1933), S. 223.

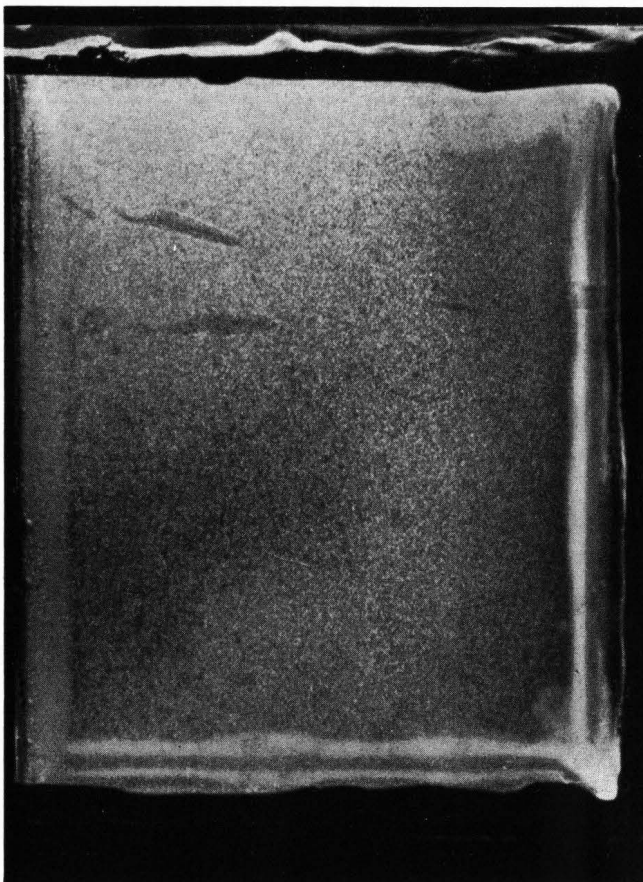


Bild 1. Glycerin mit Luftblasen ohne Schallbehandlung nach 5 minutenlangem Stehen.

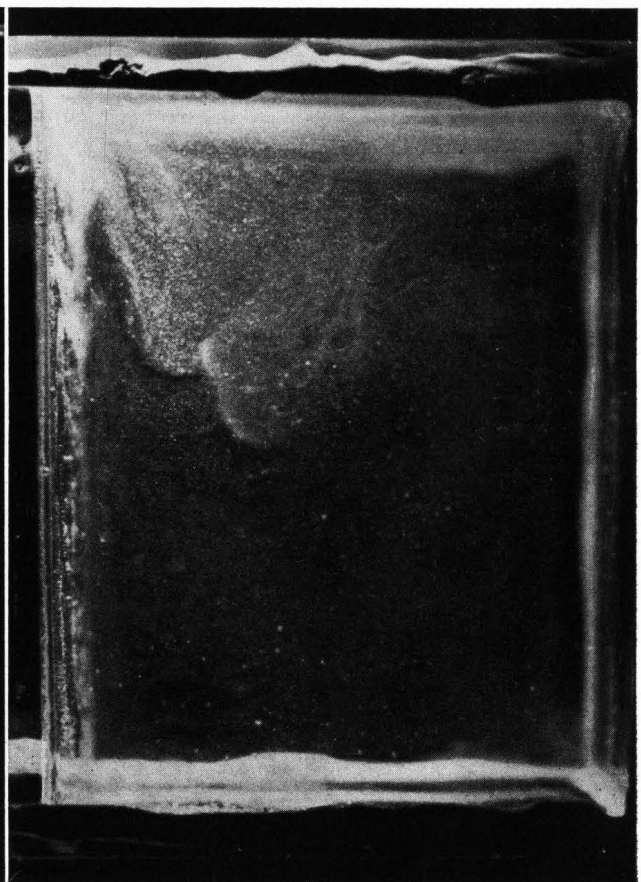


Bild 2. Glycerin, in derselben Weise wie bei Bild 1 mit Luftblasen erfüllt, nach Schallbehandlung von 5 Min.

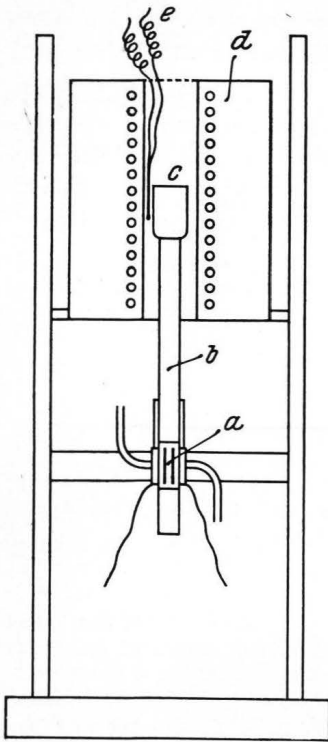


Bild 3. Apparatur für die Entgasung von Glasschmelzen durch Schallwellen.

feldes ist noch eine Wolke gasblasenerfüllten Glycerins übriggeblieben. Der Versuch hat also gezeigt, daß man Flüssigkeiten von einer Viskosität von 10 cgs-Einheiten durch Schallwellen in kurzer Zeit von Gasblasen befreien kann.

Dies ermutigte zu dem Versuch, Glasschmelzen durch Einwirkung von Schallwellen von Gasblasen und gelösten Gasen zu befreien. Die Versuche konnten natürlich zunächst nur im kleinen ausgeführt werden und sollten ja auch nur die prinzipielle Möglichkeit der Entgasung von Glasschmelzen durch Schallwellen entscheiden. Es wurde dazu eine Verbrauchsanordnung benutzt, wie sie in Bild 3 dargestellt ist. In ihm bedeutet a den wassergekühlten Magnetostriktionssender, b den daran befestigten

oben in das Glycerin eintauchte und so die Schallwellen übertrug. Die angewandte Frequenz lag bei etwa 16000 Hz. Schon nach einer Beschallung von 5 Minuten war das Glycerin durch die Einwirkung der Schallwellen so gut wie völlig von den Gasblasen befreit, während in dem unbehandelten Glycerin die Gasblasen noch fast unvermindert vorhanden waren. Bild 1 zeigt das mit Gasblasen nach dieser Zeit noch fast unverändert durchsetzte Glycerin, Bild 2 das mit Schallwellen behandelte; wie man sieht, ist das letztere so gut wie völlig von Gasblasen befreit; nur in der oberen linken Hälfte des Gesichtsfeldes

Eisenstab, auf dessen oberes Ende der Platintiegel c aufgeschweißt ist. Dieser befindet sich in dem elektrisch geheizten Platinoofen d, dessen Temperatur in der Nähe des Platintiegels mit dem Thermolement e gemessen wurde. Der Platintiegel konnte nur eine Glasmenge von etwa 70 g Glas aufnehmen; gerade in dieser kleinen Menge bestand die Schwierigkeit, das Ausgießen so schnell zu bewerkstelligen, daß trotz der dabei unvermeidlichen Abkühlung die Zähigkeit der Glasschmelze noch nicht zu groß geworden war. Als Glasprobe wurde Thüringer Glas verwendet; der Ofen konnte höchstens auf eine Temperatur von 1350°C gebracht werden. Nun wurde so verfahren, daß einmal eine Glasschmelze in dem Tiegel ½ Stunde nach eingetretenem Schmelzen ohne Schallbehandlung auf 1350° gehalten und dann auf eine Platte ausgegossen wurde, während in dem darauffolgenden Versuch unter genau denselben Bedingungen eine gleiche Schmelze ½ Stunde lang bei 1350° mit Schallwellen der Frequenz von etwa 16 000 Hz beschallt wurde. Das Ergebnis dieser Versuche ist in den Bildern 4 und 5 wiedergegeben, von denen das erstere das unbeschallte, das zweite das beschallte Glas wiedergibt. Die Fotografien sind in der Weise hergestellt, daß die etwa 1 cm dicken Schmelzstücke von der Seite intensiv bestrahlt wurden, so daß sich die Gasblasen deutlich hell auf dunklem Grunde abheben. Der Versuch zeigt deutlich, daß in der beschallten Schmelze die Zahl der Gasblasen sehr stark verringert ist, und andererseits die noch vorhandenen Gasblasen sich vergrößert haben. Es ist also ein sehr deutlicher Effekt der Gasbefreiung von Schmelzen mittels Schallwellen nachgewiesen, wenn auch mit den hier verwandten Mitteln in der angegebenen Zeit eine völlige Entgasung noch nicht erreicht wurde. Dies dürfte vor allen Dingen darauf zurückzuführen sein, daß bei einer Temperatur von 1350° die Zähigkeit der Glasschmelzen ja noch über 100 cgs-Einheiten liegt. Würde man mit der Temperatur, was mit dem hier benutzten Ofen leider nicht möglich war, auf 14—1500° heraufgehen, so müßte der Effekt wegen des großen Temperaturkoeffizienten der Zähigkeit der Glasschmelzen, die bei dem benutzten Glase bei 1500° zwischen 10—50 cgs-Einheiten liegen dürfte, sich außerordent-

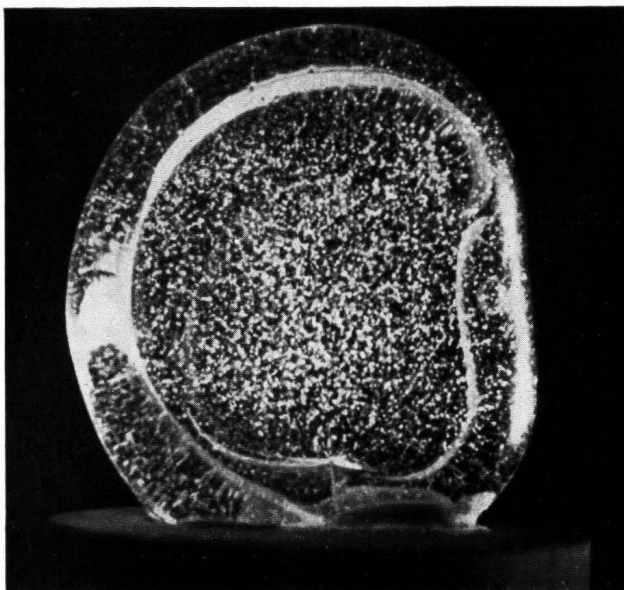


Bild 4. Glasschmelze, eine halbe Stunde lang bei 1350°C gehalten ohne Schallbehandlung.

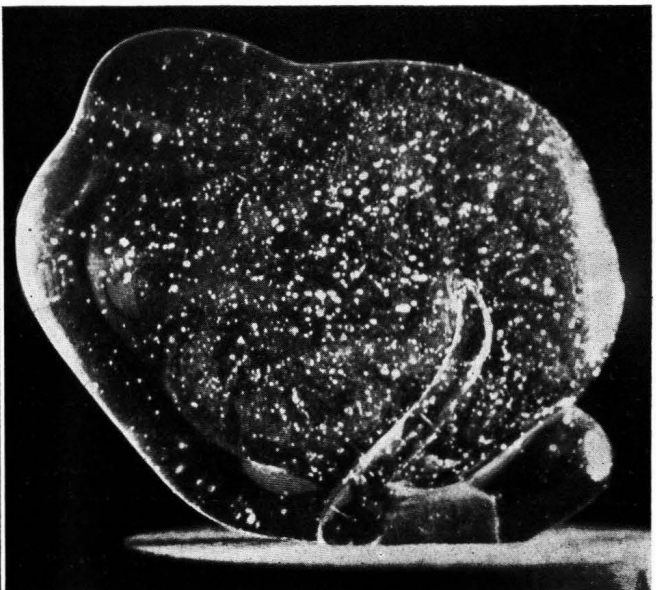


Bild 5. Glasschmelze, eine halbe Stunde lang mit Schall behandelt.

lich steigern, da man dann mit der Zähigkeit des Glases schon in die Größenordnung der Zähigkeit des Glycerins kommen würde, bei dem ja, wie oben gezeigt wurde, eine sehr schnelle Befreiung von Gasblasen möglich ist. Wichtig dürfte noch der Hinweis^{†)} sein, daß die Schallwellen nicht nur ein beschleunigtes Aufsteigen schon vorhandener Gasblasen bewirken, sondern auch in dem Glas noch gelöste Gase in Form von Gasbläschen ohne Temperaturerhöhung abscheiden, ein Effekt, den man bekanntlich durch Temperaturerhöhung nicht herbeiführen kann, weil

^{†)} s. oben S. 234.

eine erhöhte Temperatur neue Gasblasen in den Glasmelzen durch chemische Prozesse entstehen läßt.

Jedenfalls dürfte durch diese Versuche*) die prinzipielle Möglichkeit der Befreiung der Glasmelzen von Gasblasen erwiesen sein; die nächste Aufgabe wird darin bestehen, diese Laboratoriumsversuche in ein technisch brauchbares Verfahren auszuarbeiten. (12 241)

*) Für eifrige und verständnisvolle Unterstützung bei der Ausführung der Versuche bin ich Herrn cand. phys. H. Lietzau zu Dank verpflichtet.

Referate.

(Einteilung s. in Heft 1 dieses Jahrgangs, S. 21. — Das Zeichen □ bedeutet, daß die betr. Veröffentlichung in einem der nächsten Hefte der „Glastechn. Ber.“ besprochen werden wird.) — Die halbfetten Zahlen rechts über jedem Referat bzw. Zitat geben die Einteilung nach der Dezimalklassifikation (DK) an; Näheres s. in Heft 1 des 13. Jg. 1935, S. 16—17, und in den Inhaltsverzeichnissen der letzten Jahrgänge.

1. Geschichte des Glases.

DK 92 Finsch : 666.263

Der Glaskünstler Finsch von Warmbrunn, ein vergessener Erfinder. W. G a n z e n m ü l l e r. Glashütte, 68 (1938), H. 28, S. 474—477. — Der Verf. gibt auf Grund von Akten des Breslauer Staatsarchivs und des Geh. Staatsarchivs Berlin ein Bild von der Erfindertätigkeit des Warmbrunner Glasmachers Finsch. Dieser begann um 1846 mit Versuchen zur Herstellung neuer Glassorten, insbesondere suchte er das von Plinius als Haematiton geschilderte opake Kupferrubinglas nachzuahmen. Er trug sich dabei mit der Hoffnung, eine so große Mannigfaltigkeit der undurchsichtigen Glasflüsse zu erreichen, „daß das opake Glas einen neuen und eigentümlichen Fabrikationszweig bilden werde, eine Masse analog dem Porzellan in der Undurchsichtigkeit und wiederum dem Glase in der Verarbeitung“. Die Undurchsichtigkeit erzielte Finsch durch einen Zusatz von Kaolin. Ferner war Finsch einer der ersten, die die Infusorienerde (Kieselgur) zur Glasherstellung und zwar zur Edelsteinnachahmung verwendeten. Sein Verfahren wird aus seinem am 20. 2. 1867 an den Handelsminister gerichteten Schreiben mitgeteilt.

Gaszenmüller. (12 277/1)

DK 666.1 (091) (438)

Entwurf einer Geschichte des Glases. (Zarys dziejów szklarstwa.) Aleksander D o b r z a n s k i. Przemysł Szklany, 3 (1937), Nr. 12, S. 97—101, 113—117, 17 Abb. — Der Verf. behandelt in seinem im Museum für Industrie und Technik gehaltenen Vortrag unter zahlreichen Hinweisen auf die älteste die polnische Glasmacherkunst, bespricht die auf diese zur Wirkung gelangten vornehmlich deutschen Einflüsse und kommt schließlich zur Schlußfolgerung, daß die Glasindustrie Polens zwar langsam arbeitet, jedoch ständigen Fortschritt zeigt; allerdings besteht die Notwendigkeit großer Aufwendungen, um den erstrebten hohen Stand zu erreichen. Freytag. (12 255/1)

DK 666.1 (091) (438)

Arbeitsverhältnisse der Glasindustrie in Polen vor dem Weltkriege und in der Gegenwart. (Warunki pracy przemysłu szklanego w Polsce przed wojną światową i w dobie obecnej.) Józef P e s z e l. Przemysł Szklany, 4 (1938), Nr. 4/5, S. 37 bis 40. — Zunächst wird die Ausbreitung der Glasindustrie in den polnischen Gebieten am Ende des 19. und anfangs des 20. Jahrh. besprochen. Der Weltkrieg und der Kampf gegen die Sowjets zerstörten die in Kongreßpolen 1910 aus 25 Glashütten mit einer Belegschaft von 5000 Arbeitern und einer Erzeugung im Werte von 5 Mill. Rubel bestehende polnische Glasindustrie. Eine weitere Folge war ein starker Mangel an Facharbeitern, an Glastechnikern. Die Glasindustrie muß Waren, die für den Massenabsatz bestimmt sind und im Ausland maschinell erzeugt werden, durch Handarbeit oder höchstens halbmaschinell herstellen. Mit diesen und ähnlichen Überlegungen begründet der Verf. die Forderung nach Schulen, die einen brauchbaren Nachwuchs qualifizierter Glasarbeiter und -techniker gewährleisten könnten.

Freytag. (12 256/1)

DK 92 Wolf J.

In memoriam Prof. Josef Wolf! Ohne Verf.-Angabe. Sprechsaal Keramik usw., 71 (1938), Nr. 24, S. 295—296. — Würdigung der wissenschaftlichen Persönlichkeit des sudetendeutschen Glas- und Keramikforschers und Verzeichnis seiner Veröffentlichungen. (12 241/1)

DK 92 Busch, Emil

Zur 50. Wiederkehr des Todestages von Emil Busch am 1. April 1938. Ohne Verf.-Angabe. Blätter für Untersuch.- u. Forschungs-Instr., 12 (1938), Nr. 2, S. 17—19, 2 Abb. (12 294/1)

DK 666.1 (091)

Geschichte des Glases und der Glasherstellung. (The story of glass and glassmaking.) Thomas W. M c C r e a r y. Amer. Flint, 23 (1936), Nr. 11, S. 1—5. (10 621/1)

DK 92 Goethe : 75.023.15

Goethe und die Glasmalerei. F. H. Z s c h a c k e. Diamant, 60 (1938), Nr. 9, S. 86—88. (12 315/1)

DK 666.24 : 75.023.15 (41)

Woher die englischen Glasmaler des Mittelalters ihr Farben-glas bezogen. John A. K n o w l e s. Diamant, 60 (1938), Nr. 3, S. 24, Nr. 4, S. 31—32. (12 314/1)

DK 666.1

Die moderne Entwicklung der Glasindustrie. (Evolution moderne de la verrerie.) Ohne Verf.-Angabe. Verre et Silic. ind., 9 (1938), Nr. 8, 9, S. 86—87, 97—100. (12 300/1)

DK 748 : 666.254 : 666.171 : 338.7 (091)

Deutsche Innungsgläser. Alb. S c h r ö d e r. Sprechsaal Keramik usw., 71 (1938), Nr. 20, S. 242—244, 4 Abb. — Besprechung der sich zwanglos in 4 Gruppen einordnenden Innungsgläser: 1. Gläser mit Darstellungen aus dem Berufsleben der betreffenden Innung, 2. Wappen- und Vivat-, 3. Familien- und 4. Empfehlungsgläser. Fr. (12 302/1)

DK 666.29 (091)

Die geschichtliche Entwicklung der Emailiertechnik. Richard A l d i n g e r. Glashütte, 68 (1938), Nr. 22, 23, S. 373—375, 390—392. (12 291/1)

2. Physikalische und chemische Grundlagen der Glas-erzeugung.

DK 532.13 : 536.42 : 539.213.1 : 666.11

Einige neue Ansichten über die Natur des Glases. (Some new views on the nature of glass.) J. E. S t a n w o r t h. J. Soc. Glass Technol., 21 (1937) Nr. 88, S. 442—449; 5 Abb. — Die Aenderung der Viskosität einfacher Flüssigkeiten mit

der Temperatur läßt sich durch die Beziehung $\eta = A \cdot e^{\frac{B}{R(T-C)}}$ wiedergeben (η = Viskosität, T = abs. Temp., R = Gaskonstante, A und B = Konstanten). Wenn A sich mit der Temperatur nicht ändert, erhält man B als Steigung der Kurve $\ln \eta$ gegen $1/T$. Wie die Viskositätsmessungen zwischen der „Schmelz“-Temperatur und dem Transformationsbereich von Gläsern (B_2O_3 und Natronkalkgläsern) zeigen, steigt B mit sinkender Temperatur bis in die Nähe des Transformationsbereiches stetig an. Im Transformationsbereich wird B in Gläsern, die sich nicht im Gleichgewicht befinden, wie zu erwarten, kleiner, in Gläsern in der Gleichgewichtslage jedoch: verharrt es auf einem konstanten hohen Wert. — Der Wert von B ist ein Maß für die zwischen den Molekülen oder Ionen wirkenden Kräfte. Die Zunahme von B mit sinkender Temperatur wird auf die Abnahme der Koordinationszahl (d. h. der