

Aufgaben der Glastheorie der Gegenwart.

Vortrag in der Wissenschaftlichen Vereinigung Deutscher Silikat-Hüttenleute in Karlsruhe, 9. September 1929.

Von Professor Dr. E. ZSCHIMMER, Karlsruhe.

(Eingeg. 2. November 1929.)

Im Anfang des zwanzigsten Jahrhunderts konnte es scheinen, daß in der Glaschemie und wissenschaftlichen Glasschmelzkunst nichts Neues mehr zu holen sei. Schott, Abbe, Winkelmann und ihre aus der Jenaer Universität hervorgegangenen Schüler hatten die klassische Glastheorie geschaffen, auf der die Industrie des modernen Qualitätsglases ruht, und nach einer so glanzvollen Periode der Glaswissenschaft, wie sie am Ende des neunzehnten Jahrhunderts etwa mit Hovestadts Buch „Jenaer Glas“ (1900) beschlossen wurde, können wir nicht erwarten, daß aus dem ursprünglichen Motiv jener älteren Forscher und Erfinder noch wesentlich Neues entspringen würde. Das Thema „Neue Qualitäten durch Einführung neuer Glasbildner“ ist heute — wir dürfen ruhig sagen — praktisch ausgeschöpft. Gewiß: auch ein abgegrastetes Feld der Wissenschaft wird dem fleißigen, mit zäher Geduld forschenden Geiste noch manches einbringen; jedoch die große Linie des Fortschritts geht nicht über dieses Feld. Unsere Aufgabe ist es nun, von der Stufe aus, auf der wir in der Geschichte unserer Wissenschaft angelangt sind, Umschau zu halten nach der Forderung des Tages.

Die Schwelle einer neuen Periode in der Theorie der Glasschmelzkunst haben wir bereits überschritten. Sie wird äußerlich abgegrenzt durch die Gründung besonderer Glasforschungsinstitute, wissenschaftlicher Fachvereine der Glastechnik und durch die Errichtung entsprechender Fachprofessuren an Universitäten und technischen Hochschulen der Länder, in denen die Glasindustrie eine volkswirtschaftlich wichtige Rolle spielt. Inhaltlich erkennen wir den Anbruch einer neuen Periode unserer Wissenschaft in der Veränderung des Standpunktes gegenüber der Glasfabrikation, woraus eine veränderte Problemstellung folgte (ich werde darüber nachher noch ausführlicher sprechen).

Den Antrieb zu einer so erstaunlichen Anfangsgeschwindigkeit der Entwicklung gab der Ausbruch des Weltkrieges. Glas war Kriegsrohstoff, ein unentbehrliches Material für die Optik, die Chemie und die Industrie im Dienste des Krieges. Das war der offensichtliche Grund, weshalb sich in England und in den Vereinigten Staaten schon in den ersten Jahren nach 1914 eine geradezu fieberhafte Forschungstätigkeit und Gründerfreudigkeit auf dem Gebiete der „Glass Technology“ entfaltete. Drüben in den angelsächsischen Ländern entstand eine neue Literatur, beginnend mit dem Erscheinen des „Journal of the Society of Glass Technology“ 1917, herausgegeben von der Englischen Glastechnischen Gesellschaft unter Leitung des hervorragenden Glastechnologen an der Universität Sheffield, Prof. W. E. S. Turner. Gleichzeitig regt sich in den Transactions of the American Ceramic Society das lebhafteste Interesse für die Probleme der Glasforschung. Eine Generation von jungen Forschern tritt auf den Plan. Namen, die dem Glasfachmann der Vorkriegszeit unbekannt waren, verbinden sich mit Arbeiten, die unsere Erkenntnis von der Natur des Glases und dem Wesen der Glaserzeugung und Glasverarbeitung um wertvolle Beiträge bereichert haben; allgemein bekannt sind: English, Peddle, Coad-Pryor, Morey und

Bowen, Hostetter und Roberts, Washburn und Shelton. Bezüglich der neuesten Literatur verweise ich auf die von G. Gehlhoff und K. Quasembart herausgegebene, von 1928 ab erscheinende Sammlung: „Das Glas in Einzeldarstellungen“¹⁾.

Auf der Grundlage der exakten Naturforschung baut sich eine Wissenschaft vom Glas und vom Glasmachen auf, deren Forschungsidee die Erkenntnis der vollkommensten Zweckmäßigkeit des technischen Handelns ist. Die Arbeiten der älteren Glasforscher wurden meist zur Lösung bestimmter Probleme der Glasschmelzkunst unternommen. Jedenfalls gilt dies für die hinter uns liegende „klassische Periode“ von Fraunhofer bis zu Abbe und Schott und ihren wissenschaftlichen Mitarbeitern. Jetzt aber stellt die experimentelle Glastechnologie eine viel allgemeinere Aufgabe: nicht um bestimmte Qualitätsgläser für Spezialzwecke der Technik handelt es sich heute, sondern um Glas überhaupt, vor allem um die längst bekannten Glasarten. Diese waren das Stiefkind der Wissenschaft geworden, mit dem man sich nicht gerne abgab. Allerdings tritt heute, wenn wir an „gewöhnliches“ Glas denken, ein neuer Gedanke in den Vordergrund des wissenschaftlichen Interesses: Im Begriff des Kunststoffes Glas wird eingeschlossen die Verarbeitungsfähigkeit, die Anpassung von Glas und Maschine und, meist untrennbar davon, die Anpassung von Glas und Ofensystem. Hierin liegt eine Wechselbeziehung, die für die Glasindustrie von allergrößter Bedeutung ist. Was dabei eine entscheidende Rolle spielt, läßt sich mit zwei Worten sagen: Entglasungsvermögen und Zähigkeit als Funktion der Temperatur — vom Gleichgewicht zwischen Kristall und Schmelze bis zur Spannungsgrenze unterhalb des Transformationspunktes. Nehmen wir hinzu die Widerstandsfähigkeit der feuerpolierten und geschliffen-polierten Oberfläche gegen Wasser in Form von Dampf oder Flüssigkeit, so haben wir die drei Materialeigenschaften des Glases, deren Zahlenwerte bei neun Zehntel der Weltproduktion praktisch den Ausschlag geben. Alle übrigen physikalischen Größen wie Dichte, Festigkeit, Elastizität, Wärmeausdehnung, Lichtbrechung, elektrische Leitfähigkeit usw. sind entweder für die Fabrikation ohne Belang, oder wir betrachten sie als Sonderwerte, die nur bei Gläsern für bestimmte technische Zwecke zur Geltung kommen. Ebenso ist auch die Widerstandsfähigkeit gegen Säuren, Laugen usw. als ein Sonderanspruch zu betrachten, der nur von bestimmten Qualitätsgläsern erfüllt zu werden braucht. Die Glaswissenschaft wird alle diese Sonderkonstanten erforschen, aber ihre dringendste Aufgabe ist, wie man heute allgemein erkennt

¹⁾ Akadem. Verlagsgesellschaft, Leipzig.

²⁾ Eine vollständige Zusammenfassung der Literatur über die physikalischen Eigenschaften des Glases findet sich bei F. Eckert im Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik, Band 20, Heft 2 u. 3 [1923]. Die Fortsetzung dazu bildet mein von dem Glass Research Association Trust Fund angeregter 2. Jahresbericht über die Fortschritte der Glastechnologie 1927: The Calculation of Glass Constants on the Basis of Recent Investigations, Journ. Soc. Glass Technol. 12, 82 u. 333 [1928]. (Übersetzung von W. E. S. Turner.)

hat, die Erforschung der Gesetze, nach denen jene drei Grundeigenschaften — Entglasungsvermögen, Zähigkeit, Haltbarkeit gegen Wasser — von der Temperatur und von der chemischen Zusammensetzung des Glases abhängen. — Wie soll nun diese Aufgabe in absehbarer Zeit und im Sinne der Praxis gelöst werden?

Es hat wenig Zweck, die möglichen Stoffsysteme der Glasindustrie von 0—100% auszumessen, um den allgemeinen Verlauf der Konstanten zu erkunden. Viel wichtiger ist es, in jedem Stoffsystem das „technische Feld“ mit dichtbesetzten Punkten sehr exakt zu erforschen, so daß man mit den Zahlen in der Hüttenpraxis wirklich rechnen, etwas vorausberechnen kann. Denn das ist doch der Endzweck der Theorie: Vorausberechnung des Verhaltens einer Glasmasse im Hüttenbetrieb und Vorausberechnung ihres Verhaltens im praktischen Gebrauch. Dabei multiplizieren sich die Meßfehler des Laboratoriums oft mit so hohen Beträgen, daß äußerst genaue Messungen nötig sind, wenn die Sache im großen Maßstab stimmen soll. Sehr wichtig ist ferner die Anlage des ganzen Arbeitsplanes der Glasforschung im Interesse der Industrie. Wenn die Industrie hundert Jahre warten soll, bis die Wissenschaft alles weiß, so nützt ihr die Wissenschaft nichts. Denn die Entwicklung zur automatischen Glasfabrikation geht heute vor sich, nicht erst im Jahre 2030! Man muß die Dinge also nicht als „reiner“ Chemiker oder Physikochemiker betrachten, sondern vom Standpunkt der technischen Zweckmäßigkeit. „Wie gehe ich vor, um dem Hüttenmann am schnellsten zu helfen?“, das ist die Frage. Die chemische Systematik des Arbeitsplanes versagt hier völlig. Der Chemiker muß eben wissen, was die Praxis wissen will. Und da steht die Sache heute so:

1. Das technische Feld des 3-Stoffsystems SiO_2 — Na_2O — CaO müssen wir kennen (etwa zwischen 10—20% Na_2O und 5—15% CaO). Dieses ist das ursprüngliche Glassystem seit fünf bis sechs Jahrtausenden. Die wissenschaftliche Literatur über dieses System beginnt bekanntlich mit den Aufzeichnungen in der Tontafelbibliothek des Asurbanipal (669 v. Chr.). Trotzdem ist es noch viel zu wenig erforscht; es ist für uns eine Tabula rasa, die wir hoffentlich in den nächsten Jahrzehnten mit dem nötigen Zahlenmaterial füllen.

2. Wir wollen wissen: welchen Einfluß haben Fremd oxyde auf die gemeinen Natron-Kalk-Silicatgläser, wenn wir einen der drei Glasbildner unseres Systems stufenweise austauschen („permutieren“) gegen ein oder mehrere systemfremde Oxyde. Und zwar interessieren den Hüttenmann nur bestimmte Austauschreihen („Permutanten“); hauptsächlich folgende:

- Al_2O_3 -Permutanten, „auf dem Weg über die Kieselsäure“ (d. h. Austausch von SiO_2 gegen Al_2O_3);
- K_2O -Permutanten auf dem Weg über das Natron (Austausch von Na_2O gegen K_2O);
- MgO -Permutanten, auch BaO -, ZnO - und PbO -Permutanten, auf dem Weg über den Kalk (Austausch von CaO gegen die fremden R-Oxyde);
- für besondere Zwecke interessieren B_2O_3 -Permutanten auf dem Weg über die Kieselsäure, wobei nur kleine Mengen bis etwa 5% Borsäure in Frage kommen.

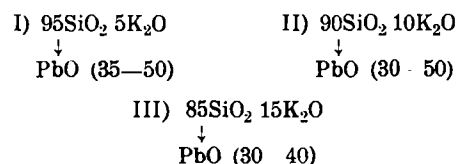
3. Das technische Feld im SiO_2 - K_2O - PbO -System ist grundlegend für die Fabrikation der Bleigläser. Wie ich seinerzeit in den Beiträgen zur Theorie der Konstantenberechnung des Glases nach der Methode von G. Gehl-

hoff ausgeführt habe³⁾, dürfte es wohl zweckmäßig sein, die Abgrenzung des technischen Feldes in folgender Weise vorzunehmen:

Als Zweistoff-Grundgläser zur Bildung der erforderlichen PbO -Permutanten wählen wir die drei Kalisilicatschmelzen:

- (I) 95% SiO_2 , 5% K_2O (II) 90% SiO_2 , 10% K_2O
(III) 85% SiO_2 , 15% K_2O .

Deuten wir nun durch Pfeile unter der Kieselsäure an, daß dieses Mutteroxyd des Glases durch wachsende Mengen PbO ersetzt werden soll (wobei uns aber nur bestimmte Prozenträume interessieren), so erhalten wir das folgende Schema für die Bearbeitung des technischen Feldes unseres Dreistoffsystems SiO_2 - K_2O - PbO :



Bei diesem System interessieren uns die Wirkungen geringer Na_2O -Mengen an Stelle von K_2O und die Veränderung, welche der Austausch des Bleioxyds durch mehr oder weniger große Mengen Kalk, Baryt oder Zinkoxyd hervorbringt, wie man sie in der Industrie des Halbkristall-, Preß- und Schleifglases anzuwenden pflegt. Seltener wendet man geringe Mengen Borsäure an Stelle von Kieselsäure an; immerhin sollte die Wirkung dieses Fremd oxyds etwa von 0—10% studiert werden, wie es zum Teil schon geschehen ist⁴⁾.

4. Das technische Feld des Systems SiO_2 - B_2O_3 - Na_2O müssen wir deshalb kennen, weil es die Grundlage der von Schott erfundenen thermischen und chemischen Resistenzgläser bildet. (Es hat gleichzeitig für die Glasuren und Emailen grundlegende Bedeutung.) Die praktischen Grenzwerte dürften sein: 5—20% Na_2O und 5—20% B_2O_3 . Als Fremd oxyde kommen in Betracht: Al_2O_3 und RO an Stelle von SiO_2 ; K_2O (in geringer Menge) an Stelle von Na_2O .

Das wäre der Plan zur Erforschung der Materialkonstanten. Wir könnten sie inwerkeigenschaften und Gebrauchseigenschaften des Glases einteilen; die Glasforschung wird noch viele Jahre nötig haben, um die Unterlagen zu ihrer Vorausberechnung zu liefern. Aber wir müssen unseren Blick noch auf andere, ebenso wichtige Dinge lenken. Der ganze Prozeß der Fabrikation von Glaswaren auf automatischem Wege — angefangen vom Rohstoff bis zum fertigen Gegenstand — muß wissenschaftlich erforscht werden. Nicht allein zu dem Zwecke, um uns über alle darin mitspielenden Naturprozesse physikalischer oder chemischer Art aufzuklären; das ist gewiß notwendig, aber es ist noch nicht das Endziel der Technologie. Die experimentelle Technologie des Glases stellt vielmehr die Frage: Welche Kombinationen jener Naturprozesse sind für die Glasindustrie die rationellsten, d. h. die technisch und wirtschaftlich zweckmäßigsten Kombinationen?

Schon beim Gemenge beginnt das Problem der Zweckmäßigkeit. Welches System von Mischmaschinen? — Sollen wir mit oder ohne Feuchtigkeit arbeiten, und wieviel Prozent jeweils als Optimum betrachten? — Welchen Einfluß hat ein gleichförmiges

³⁾ Sprechsaal, Beihefte Nr. 1/2, S. 103 [1927].

⁴⁾ H. Karmans, Studien über einige chemische und physikalische Eigenschaften von Bleigläsern als Funktion ihrer Zusammensetzung, Sprechsaal 59, 768 [1926].

oder ungleiches, gröberes oder feineres Korn der Rohstoffe (besonders bei Sand und Gesteinen)? — Sollen wir das Gemenge locker oder gepreßt, u. U. verbacken, vielleicht schon gesintert in den Ofen geben? — Mit viel oder wenig Scherben? Gemahlene oder grobe Scherben unter das Gemenge gemischt oder für sich eingelegt? — Diese Fragen sind zum Teil technische Doktorfragen. Daher haben sich auch ausgezeichnete, auf Technik eingestellte Physikochemiker wie W. E. S. Turner, G. Köppler und andere Forscher nicht gescheut, über diese von der Wissenschaft so schwer zu fassenden Dinge der Praxis Untersuchungen anzustellen.

Dann kommt die Schmelze. — Ein Wort für zahlreiche, höchst verwickelte Vorgänge und Handgriffe! Wie soll man ein gegebenes Gemenge, sei es im Hafen oder im Wannenofen, einschmelzen, um sowohl technisch als wirtschaftlich das beste Ergebnis zu erzielen? — Untrennbar davon ist die Frage der Läuterung und das Problem der Entfärbung und Lichtechtheit. Bei der Theorie der Läuterung stoßen wir in der Praxis auf arg widersprechende Meinungen. Jeder Hüttenmann, der mit seinem Läuterverfahren einigermaßen zufrieden ist, sträubt sich, es abzuändern. Dabei finden andere, daß sie in ihren Öfen mit dem gleichen Verfahren kein blankes Glas bekommen. Die einen verwerfen die Arsenatläuterung und arbeiten daher mit Sulfat und Salpeter, andere tun das Umgekehrte; wieder andere verwenden Sulfat und Kohlenstoff oder ganz andere Stoffe als Läuterungsmittel (Chloride, Fluoride u. a.). Manche Hüttenleute wollen von läuternden Chemikalien im Gemenge überhaupt nichts wissen; sie „blasen“ die fertige Schmelze mit feuchtem Holz, Wasserdampf oder verdampfendem Stückenarsenik, um die feinen Bläschen herauszufegen. Wo liegt hier die technische Wahrheit? — Das ist die Frage.

Eine technische Wahrheit in der Glashüttenkunde sieht in der Regel ganz anders aus als eine Erkenntnis, wie sie der reine Chemiker oder Physiker in seiner Wissenschaft gewöhnt ist. In der Industrie handelt es sich fast immer um ein Optimum und um Kompromisse. Es handelt sich darum, wie ein Richter abzuwägen, was das relativ beste für die Praxis ist, wo man widerstreitende Forderungen vereinigen muß. Die lebendige Wirklichkeit ist fast immer paradox. Ein Beispiel: Ich finde, daß mein Glas (im Hafen) immer blanker (d. h. blasenreiner) wird, je höher ich mit der Läuterungstemperatur gehe — bis zu einer gewissen Grenze natürlich, die das feuerfeste Material bestimmt. Gleichzeitig stelle ich aber zu meinem Kummer fest, daß die Schmelze bei steigender Temperatur den Hafen immer stärker angreift, und daher immer mehr Schlieren, sogar Rampen⁵⁾, in den Glaswaren auftreten. Also muß ein Kompromiß geschlossen werden zwischen der Forderung größter Blasenreinheit und der Forderung bester Schlierenfreiheit. — Ein anderes Beispiel: Geringste Lösungsalkalität und zugleich das geringste Entglasungsvermögen sollen in einer und derselben Natron-Kalk-Silicatschmelze vereinigt werden. Nach den Diagrammen von W. Möller⁶⁾ und A. Dietzel⁷⁾,

⁵⁾ Bindfadenstarke oder auch hobelspanartige Schlieren, bestehend aus den mit Tonerde überladenen Teilen der Schmelze.

⁶⁾ W. Möller u. E. Zschimmer: Die heiße Lösungsalkalität feuerpolierter Natron-Kalk-Silicat-Gläser als Funktion der chemischen Zusammensetzung, Sprechsaal 62, 38 [1929].

⁷⁾ Die Kristallisationsgeschwindigkeit der technischen Natron-Kalk-Silicat-Gläser, Sprechsaal 62, 506 [1929].

die aus unserem Silicat-Hüttenlaboratorium stammen, wissen wir, daß dies unmöglich ist, aber wir sind zugleich in der Lage, die möglichen Kompromisse vor auszuberechnen.

Nun ein Beispiel für das Optimum! Ich erinnere an die Geschichte der Feuerungstechnik: In früheren Zeiten suchte man die Flamme auf das Bad zu pressen. Dann kam Friedrich Siemens und stellte die Theorie auf, daß die Wärme oder Verbrennungsgase hauptsächlich durch Strahlung auf die Schmelze übertragen werde. Jedoch er übertrieb die „freie Flammenentwicklung“, indem er einen viel zu großen Raum für die Verbrennung wählte. Heute wissen wir auf Grund der Ofenbaupraxis und auf Grund theoretischer Überlegungen: es gibt ein bestimmtes Optimum des Flammenvolumens. Und so geht es weiter durch alle technischen Phasen der Fabrikation. Ich deute nur noch mit wenigen Worten die Problemkreise an.

Auf die Schmelze folgt die Verarbeitung des Glases. Da stoßen wir mit der Maschine zusammen. Schwierigkeiten entstehen, die man früher wenig oder gar nicht beachtete. Die experimentelle Technologie wird sie überwinden helfen. Sie wird für jede Art der automatischen Formgebung die Zähigkeitskurve und die Temperaturzeitkurve bestimmen, welche die Glasmasse in den aufeinanderfolgenden Phasen der Fertigung durchlaufen muß, um rationell zu arbeiten. — Auf die Verarbeitung folgt die Kühlung: Wiederum eine Aufgabe, die erst mit der Maschinenarbeit und besonders mit der Fließarbeit zu einer der lebenswichtigsten Fragen in der Herstellung der Massenware geworden ist. Denn die Masse muß fort, so rasch als möglich; wir haben keine Zeit mehr zum Kühlen. Anstatt die Spannungen der Glaskörper möglichst vollständig auszutreiben, wie es früher gemacht wurde, ist das wesentlichste Ziel unserer modernen Kühltechnik: die gleichmäßige Verteilung der Spannungen bei genügend verminderter Stärke. Und gerade dieses Problem zeigt uns — was schließlich im ganzen Hüttenwesen allgemein gilt: Die Wissenschaft des Laboratoriums kann es nicht allein lösen. Die Wissenschaft kann dem Hüttenmann immer nur Richtungen und Fingerzeige geben, um seine Experimente im Großen auf dem kürzesten Wege und mit dem geringsten Kostenaufwand durchzuführen. Das Laboratorium bereitet vor, klärt das Gelände auf mit dem Scheinwerfer der physikalischen und chemischen Erkenntnis, aber der Betrieb entscheidet. So ist es in der Glasindustrie, und so ist es schließlich bei allen Industrien, welche die Wissenschaft praktisch verwerten. —

Für den Forscher und Lehrer einer technischen Wissenschaft sollte das oberste Gebot sein: der Praxis zu dienen. Wenn die technische Wissenschaft ihren Scheinwerfer immer dahin richtet, wo dem Hüttenmann am meisten der Schuh drückt, dann werden sich Wissenschaft und Praxis auch immer besser verstehen. Die Wissenschaft soll ruhig anerkennen, daß Tausende von technischen Prozessen ohne sie gemacht wurden, ja, daß ganze Industrien gar nicht da wären, wenn sie auf die Ergebnisse der Forschung hätten warten müssen. Aber der Mann der Praxis wird einsehen, daß man aus einem Urwalde schneller herauskommt, wenn man einen Kompaß besitzt und die Richtung kennt, in der man gehen muß. Die technische Wissenschaft ist der Kompaß der Praxis, und daraus ergibt sich das Forschungsziel unserer Zeit. [A. 174.]