

bisher ihre Aufmerksamkeit widmen, um im Wettbewerb mit dem Auslande konkurrenzfähig zu bleiben und die deutsche Wirtschaft durch Ersparnisse an Brennstoffen zu stützen. Unbedingt erforderlich ist es, die Hoch- und Fachschulen zur Heranbildung des technischen Nachwuchses der Glasindustrie weitgehendst zu unterstützen.

Berlin, den 20. Juli 1923.

Das Glas als Werkstoff im Dienste der Lichttechnik.*)

Von Prof. Dr. Zschimmer,

Vorstand der Glastechn. Abteilung des Chem.-techn. Instituts der Techn. Hochschule Karlsruhe.

Der Vortragende erläuterte an Hand interessanter Lichtbilder aus den Betrieben der Glaswerke Schott & Gen., Jena, und der Sendlinger Optischen Glaswerke, Zehlendorf-Berlin, das Schmelzen von Glas in offenen Häfen, verdeckten Häfen und Wannen. Lebendige Szenen aus dem Hüttenbetrieb (Aufnahme von Dipl.-Ing. Großmann, Jena) brachten die Arbeit des Glasmachers am Hafen- und Wannenofen zur Darstellung. Die Entstehung der hauptsächlichsten Glasfehler: Schlieren, Blasen und Steine wurde ebenfalls unter Benutzung vorzüglich gelungener Aufnahmen auf Grund der physikalisch-chemischen Theorie der schmelzflüssigen Lösungen erklärt, wobei die Anwendung und die Wichtigkeit der optischen Pyrometer, namentlich der von der Firma Siemens & Halske neuerdings eingeführten Gesamtstrahlungs-pyrometer („Ardometer“) und der Teilstrahlungs-pyrometer (Pyrometer von Holborn-Kurlbaum), für die Schmelztechnik und der Gebrauch dieser unentbehrlichen Meßinstrumente im Hüttenbetrieb dargelegt wurde. Auf den chemischen Teil der Glasschmelzerei eingehend, entwickelte der Vortragende kurz die gegenwärtige Anschauung von der physikalisch-chemischen Natur des Glases. Bei den Beleuchtungsgläsern insbesondere kann man als „Gerippe“ für den Aufbau der Glaszusammensetzung etwa zwei Haupttypen unterscheiden:

	1. Lösungen von			
Kieselsäure:	kieselsaurem Alkali	kieselsaurem Kalk	freiem Alkali	freiem Kalk
	2. Lösungen von			
Borsäure:	borsaurem Alkali	borsaurem Kalk	freiem Alkali	freiem Kalk
	Kieselsäure:	kieselsaurem Kalk		

Die genannten Verbindungen (Kieselsäure, Borsäure, kieselsaure und borsaure Salze) werden nicht als solche zur Herstellung des „Gemenges“ für die Glasschmelze verwendet. Vielmehr führt man namentlich die Alkalien und den Kalk in Form der kohlen-sauren, schwefelsauren und salpetersauren Salze dieser Basen ein. Außerdem ist zu bemerken, daß an Stelle von Kalk häufig noch andere (zwei- oder dreiwertige) Oxyde für die Beleuchtungsgläser Verwendung finden.

Hierauf behandelte Prof. Zschimmer das Hauptthema seines Vortrages, ausgehend von der Auffassung, daß man den Werkstoff Glas als „ein Bündel physikalisch-chemischer Eigenschaften“ betrachten könne. Die wesentlichsten Eigenschaften, bzw. technischen Anforderungen, auf die es bei den im Dienste der Lichttechnik stehenden Gläsern ankommt, bilden die Haltbarkeit, die thermischen und die optischen Eigenschaften. Unter Haltbarkeit versteht man die Widerstandsfähigkeit der Glasoberfläche gegenüber äußeren Einflüssen, die den Glasstoff chemisch bzw. physikalisch-chemisch verändern. Eine Reihe von Mikro-Aufnahmen zeigte die zerstörende Wirkung, welche das Wasser (namentlich Wasserdampf) als der gefährlichste Feind des Glases hervorbringt. Dabei wurde insbesondere die schädliche Wirkung eines zu hohen Borzusatzes an dem Bild einer zur Straßenbeleuchtung gebrauchten Glocke vor-

* Vortrag, gehalten am zweiten Jahrestag der Lichttechnischen Gesellschaft am 17. 4. 1923.

geführt. Unter den technisch wichtigen thermischen Eigenschaften steht an erster Stelle der thermische Widerstandskoeffizient W . Durch diesen läßt sich nach der Theorie von Winkelmann die Widerstandsfähigkeit der Beleuchtungsgläser gegenüber schroffem Temperaturwechsel in exakter Weise ausdrücken. Wenn man nämlich eine unendlich große Glasmasse an der Oberfläche plötzlich von der Temperatur T auf eine andere Temperatur T_0 abkühlt, so ist die Temperaturdifferenz ($T - T_0$), die das Glas eben noch verträgt, ohne zu springen:

$$T - T_0 = A \cdot W,$$

wobei A eine von der Natur des Glases unabhängige Konstante bedeutet. Der thermische Widerstandskoeffizient W läßt sich durch die physikalischen Konstanten des Glases ausdrücken durch die Beziehung:

$$W = \frac{Z \cdot \sqrt{k}}{E \cdot \alpha \sqrt{s \cdot c}}$$

worin Z die Zugfestigkeit, k die absolute Wärmeleitfähigkeit, E der Elastizitätsmodul, α der lineare Ausdehnungskoeffizient, s das spezifische Gewicht und c die spezifische Wärme bedeutet. Den wesentlichsten Einfluß auf die Widerstandsfähigkeit der Beleuchtungsgläser gegenüber plötzlichem Temperaturwechsel hat man in der Zugfestigkeit und im Ausdehnungskoeffizienten zu erblicken: hohe Zugfestigkeit in Verbindung mit kleiner Ausdehnung sind die Kennzeichen eines thermisch widerstandsfähigen Beleuchtungsglases. Für Gas-, Petroleum- und Spiritusglühlicht wurde von der P. T. R. eine Klasseneinteilung der „Hitzebeständigkeit“ des Lampenglases festgesetzt, wobei die Größe des Ausdehnungskoeffizienten zwischen 0° und 100° C. als Maßstab gewählt wurde. Der Vortragende wies darauf hin, daß die Widerstandsfähigkeit eines Beleuchtungsglases auf der Lampe durch den mittleren Ausdehnungskoeffizienten zwischen 0° und 100° nicht in allen Fällen zutreffend gekennzeichnet werde; erstens muß man unter Umständen die Änderung des Ausdehnungskoeffizienten bei höherer Temperatur in Rechnung ziehen, da der Gang in der Längenausdehnung von Stäben verschiedener Glasarten mit wechselnder Temperatur sehr verschieden sein kann; zweitens kommt in manchen Fällen, nämlich wenn die Glaswand bis zur deutlichen Erweichung erhitzt wird, das Schrumpfen des erweichten Glases beim Erkalten gegenüber dem festgebliebenen Teil der Glaswand wesentlich in Betracht. Daß der „Schrumpfkoeffizient“ (eine zur Zeit noch nicht genauer bestimmte Konstante des Glases) neben dem wahren Ausdehnungskoeffizienten bei höherer Temperatur (dl/dT) eine wichtige Rolle spielt, erkennt man besonders beim Einschmelzen von Metalldrähten in Glasbirnen usw. Vergleicht man die mittleren kubischen Ausdehnungskoeffizienten $3\alpha \cdot 10^{-7}$ einiger für die Beleuchtungstechnik wichtiger Metalle mit den entsprechenden Ausdehnungskoeffizienten der zum Einschmelzen dieser Metalle benutzten Gläser, so ergibt sich die folgende interessante Tabelle:

	$3 \alpha \cdot 10^{-7}$
Wolfram-Metall	135
Wolfram-Einschmelzglas	116
Molybdän-Metall	156
Molybdän-Einschmelzglas	145
Platin-Metall	270
Platin-Einschmelzglas	249

Aus der Tabelle erkennt man, daß stets ein beträchtlicher Unterschied besteht zwischen der mittleren Ausdehnung (0° bis 100°) vom Metall und Glas; er beträgt 10 bis 20 Einheiten der siebenten Dezimale des kubischen Ausdehnungskoeffizienten (0° bis 100°).

Zu den optischen Eigenschaften übergehend, berührte der Vortragende zuerst das für die Beleuchtungstechnik außerordentlich wichtige Kapitel der sogenannten Opal- oder Milchgläser. Es sind dies die getrübbten Gläser, deren Aufgabe darin besteht, die Strahlen der Lichtquelle in möglichst vollkommener Weise zu zerstreuen, ohne den Farbeindruck der Lichtquelle (z. B. des weißen Lichtes) wesentlich zu ändern. Hiermit verbindet sich aber noch ein besonderer Anspruch der Beleuchtungstechnik, dessen Erfüllung anscheinend größere Schwierigkeiten für die Glasindustrie mit sich bringt: Das getrübbte Glas soll je nach dem Zwecke, dem es in Form eines Schirmes, einer Glocke

usw. dient, einen gewissen Teil der von der Quelle ausgestrahlten Lichtmenge durchlassen und andererseits einen gewissen Teil zurückwerfen — beides ohne wesentliche Aenderung der Farbe und Gesamtintensität des erzeugten Lichtes. Die Theorie des Opals als Problem der Glasschmelzkunst ist zur Zeit noch nicht vollkommen durchgebildet; man kann jedoch einige allgemeine physikalische Grundsätze heranziehen, auf deren geschickter Benutzung die Herstellung technisch vollkommener Opalgläser beruht. Diese Gläser bestehen aus einer durchsichtigen farblosen Grundmasse, in welcher eine große Zahl von Teilchen eines jedenfalls farblosen und durchsichtigen Fremdkörpers (z. B. Kristalle, Sphärolithe, Bläschen) gleichmäßig verteilt sind. Wenn nun sehr feine Teilchen in großer Zahl in dem Glase schweben, dann zeigt das Glas den beim natürlichen Opal bekannten bläulichen Schein im auffallenden weißen Lichte, während es bei entsprechender Schichtdicke im durchfallenden Lichte rot erscheint („Feuer des Opals“). Dies beruht darauf, daß die sogenannten getrübten Medien das kurzwellige blaue Licht stärker zurückwerfen als die langwelligen Strahlen (besonders Rotlicht), so daß beim Durchscheiden die langwelligen (roten) Strahlen vorwiegen: es gilt nämlich für die reflektierte Intensität i an feinen getrübten Gläsern das bekannte Gesetz:

$$i = \frac{C}{\lambda^4}$$

worin C eine Konstante und λ die Wellenlänge des Lichtes bedeutet. Will man die auswählende Reflexion eines getrübten Glases gemäß diesem Gesetz vermeiden, so muß man den Durchmesser der in dem Glas verteilten durchsichtigen Körperchen (Teilchengröße des Trübungsmittels) genügend groß wählen, so daß das Gesetz der auswählenden Reflexion nicht mehr gilt. Der zweite Grundsatz für die Theorie des Opals ergibt sich aus folgender Erkenntnis: die lichtzerstreuende Wirkung eines getrübten Glases wird wesentlich bedingt durch die Brechungsexponenten der glasigen Grundmasse einerseits und der darin schwebenden durchsichtigen Fremdkörper (trübende Teilchen) andererseits. Um eine möglichst vollkommene lichtzerstreuende Wirkung des Opalglases (Milchglas) zu erreichen, muß man den Unterschied im Brechungsexponenten der Grundmasse beziehungsweise der trübenden Teilchen so groß wie möglich machen. Ein ideales Opalglas würde man gemäß dieser Theorie erhalten müssen, wenn man Gasblasen oder besser luftleere Hohlräume in Kugelform von entsprechender Größe und Menge in eine möglichst hoch brechende, dabei farblose glasige Grundmasse einbettete. In der Praxis läßt sich ein solches Idealglas aber nur sehr schwer herstellen. Man verwendet in der Regel folgende Arten von Trübungsmitteln (trübende Teilchen):

1. kristallinische Ausscheidungen (Entglasung) der Grundmasse selbst,
2. Fluoride (Flußspat, Kryolith),
3. Phosphate (Knochenasche, d. h. Calciumphosphat u. a.),
4. Arsenate (arsensaures Blei); außerdem noch eine Reihe anderer weniger gebräuchlicher Verbindungen (Zinn, Zinnsäure, u. a. m.).

Nächst dem Opalglas spielen in der Lichttechnik die farbigen Gläser verschiedener Art eine wichtige Rolle. Abgesehen von der Anwendung farbiger Gläser im Beleuchtungs-Kunstgewerbe hat man diese in technischer Beziehung als Lichtfilter anzusprechen. In erster Linie handelt es sich um die bekannten Signalgläser der Bahnen und Schiffe. Ferner begegnen wir den Lichtfiltern in der photographischen Technik (Dunkelkammer-Beleuchtung, Gelbscheibe usw.). Mit Lichtfiltern hat man es auch zu tun bei den Augenschutzgläsern, die namentlich die ultravioletten und kurzwelligen violetten Strahlen verschlucken müssen, um den übrigen Teil des weißen Lichtes ungeschwächt durchzulassen. Um Lichtquellen, die besonders große Mengen von kurzwelligen Strahlen liefern, von diesen zu befreien, stellt die Firma Gebr. Putzler in Penzig (Schlesien) ein sogenanntes Euphosglas her, welches auch für Schutzbrillen Verwendung findet. Neuerdings beschäftigt sich die Glasindustrie in Deutschland ebenso wie in Amerika und anderen Ländern ziemlich lebhaft mit dem Problem eines Lampen-glases, dessen auswählende Lichtdurchlässigkeit für die verschiedenen Wellenlängen durch entsprechende Farbstoffe in der Glasmasse so zu bemessen ist, daß die Intensitätsverteilung im Spektrum künstlicher Lichtquellen (Drahtlampen usw.) in der Weise korrigiert wird, wie es dem Intensitätsverhältnis der einzelnen Wellenlängen im natürlichen Tageslicht entspricht. In Deutschland werden solche „Taglichtgläser“ oder „Reinlichtgläser“ von der Firma Gebr. Putzler in größerem Umfange hergestellt. Die Farbstoffe, welche die Glasindustrie verwendet, lassen sich in zwei Klassen einteilen:

1. „Lösungsfarben“ (z. B. Kobaltoxyd, Kupferoxyd, Manganoxyd, Chromoxyd),
2. „Anlaufarben“ (kolloides Gold, Kupfer, Silber, Selen in den entsprechenden Rubingläsern, Schwefelcadmium im Gelbglas).

Zum Schluß ging der Vortragende auf die Erzeugung von Spezialgläsern ein, welche die unsichtbaren ultravioletten Strahlen durchlassen. Durch Vorführung interessanter Spektogramme der Quarzlampen und der Quecksilberdampflampen aus gewöhnlichem Glas und Jenaer „Uviolglas“ der Firma Schott & Gen. (eine Erfindung des Vortragenden) fanden die interessanten Ausführungen, denen eine lebhaft ausgeführte Aussprache folgte, ihren Abschluß.

Aussprache im Anschluß an die Vorträge auf der 2. Jahrestagung der Lichttechnischen Gesellschaft, Karlsruhe.

Herr Garny klagt über die mangelhafte Gleichmäßigkeit der von den Hütten gelieferten lichttechnischen Gläser, und zwar über ihre Ungleichmäßigkeit sowohl in Bezug auf die Dicke des Glases als auch auf seine Trübung und ferner noch die Dicke des Opalüberfanges bei „Ueberfanggläsern“. Die Dicke des Glases sei zudem gewöhnlich nach den Abschlußrändern einer Glasschale größer als in der Mitte, während gerade das Umgekehrte meist erwünscht sei, da man in der Regel die Flachstrahlung zu begünstigen sich bemühe und dazu umsomehr genötigt sei, als die Lichtausstrahlung der Gasfüllungslampen schon an sich ihr Maximum nach unten habe. Die durch ungleiche Dicke und Trübung bedingte Ungleichmäßigkeit der Durchlässigkeit der Gläser, die ihnen im praktischen Verkehr die Bezeichnung „wolkig“ eingetragen habe, mache sich durch oft sehr störende Ungleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärken bemerkbar. Die Glas-technik befriedige die notwendigen Forderungen der Lichttechnik zur Zeit im allgemeinen noch nicht. Sie scheine noch bei weitem nicht genügend darüber unterrichtet zu sein, welche Bedeutung einwandfreie Gläser für die Lichttechnik haben.

Herr Dipl.-Ing. Schneider beantwortet diese Fragen mit einem Hinweis auf die Herstellung der Gläser, insbesondere der Herstellung von Ueberfanggläsern, woraus sich die angeführten Mängel ohne weiteres ergäben. Die Bemessung der Wandstärke des Glases, der Dicke des Ueberfanges usw. hänge allein von der Geschicklichkeit des Glasmachers ab. Er habe keinerlei mechanische Hilfsmittel, die es ihm ermöglichen, die mit der Pfeife aufgenommene Glasmenge zu bestimmen, er sei vielmehr lediglich auf sein Augenmaß angewiesen.

Herr Prof. Dr. Zschimmer stellt dazu fest, daß die Wünsche der Gleichmäßigkeit der Trübung und der Reproduzierbarkeit einer bestimmten Trübungsdichte durch rein wissenschaftliches, analytisch-chemisches Vorgehen bei Herstellung des Schmelzflusses durchaus befriedigt werden können. Die Geheimniskrämerei mit Glasrezepten hinderte heutzutage noch vielfach den Fortschritt in der Glasindustrie. Im eigenen Interesse der früher auf dem Weltmarkt vorherrschenden deutschen Glastechnik wünsche er, daß sich nach dem Vorbilde ihm nur zwei bekannter großer Firmen die wissenschaftlich betriebene Glastechnik allgemeineren Eingang verschaffe. Ferner führt Prof. Zschimmer aus, daß auch den Forderungen bezüglich der Gleichmäßigkeit der Wandstärke des Glases, sowie seines Opalüberfanges bei Ueberfanggläsern unbedingt mehr Rechnung getragen werden könne, wenn es gelänge, den Glasarbeiter wieder mehr zum Facharbeiter zu erziehen, dessen Geschicklichkeit durch entsprechende Übung und eigenen guten Willen sehr hoch getrieben werden könne. Die Glasstärke könne durch den geschulten Arbeiter jeweils auf $\frac{1}{10}$ mm genau getroffen werden. Dieser unbedingt notwendigen Forderung nach Geschicklichkeitsförderung des Arbeiters dürfe allerdings auf der anderen Seite nicht ein Lohnsystem entgegen stehen, das lediglich nach der Stückzahl bezahle und die Herstellung sehr an den Ausschuß grenzender Gläser begünstige. Die Lichttechnik müsse mehr zur Selbsthilfe schreiten und diesen jeden Fortschritt hemmenden Zuständen durch Rückweisung schlechter Lieferung zu steuern versuchen.

Herr Garny weist auf das dringende Bedürfnis der Praxis nach einheitlicher Bezeichnung der einzelnen Arten der getrübbten und lichtstreuenden Gläser hin, die in großer Willkür unter den verschiedensten Namen, wie Opalglas, Opaleszentglas, Opalglas, Opal-massiv- und Milchglas u. a. m. im Handel seien. Er bittet die L. T. G., sich mit der Vereinheitlichung der Bezeichnungen befassen und für ihre Einführung Sorge tragen zu wollen.

Herr Prof. Dr. Zschimmer schlägt eine Klassifizierung nach Trübungsgraden innerhalb zu bestimmender Grenzen vor, die man analytisch-chemisch festlegen könne.

Herr Oberingenieur Wissmann schließt sich mit der Bemerkung, daß

tatsächlich jede Glashütte ihre eigenen Bezeichnungen habe, den dringenden Forderungen an und hält es zur schnellen Durchführung der diesbezüglichen Wünsche für zweckmäßig, daß durch eine Anregung der L. T. G. eine Verständigung unter den Glashütten selbst herbeigeführt werde.

Herr Dr. Spuler macht darauf aufmerksam, daß es für die Lichttechnik darauf ankomme, daß die einheitliche Benennung der Gläser nach einer Definition erfolgen müsse, die außer der Angabe des Trübungsgrades auch eingrenzende Angaben über ihre Durchlässigkeit, ihre Selektivität, sowie ihr Streuvermögen enthalten müsse.

Herr Prof. Dr. Zschimmer empfiehlt der L. T. G., diese Aufgabe der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zuzuweisen, zumal er sich von einer Einführung von dieser Seite aus auch heilsame Wirkung für unsere Zöllmaßnahmen verspricht. Er sei außerdem bereit, bei der gerade im Entstehen begriffenen „Deutschen Glastechnischen Gesellschaft“ die nötigen Anregungen zur Zusammenarbeit der Glastechniker mit den Lichttechnikern zu geben.

Herr Dipl.-Ing. Schneider knüpft an die Ausführung von Dr. Spuler an. Er gibt der Lichttechnik selbst einen Teil der Schuld an den erörterten Mißständen, da die Forderung über bestimmte lichtstreuende Eigenschaften der Gläser eine brauchbarere und einwandfreie Meßmethode der Indikatrix voraussetze; diese sei aber erst noch auszuarbeiten. Man habe sich bisher bei den Messungen damit begnügt, lediglich die lichtstreuende und regelmäßige Durchlässigkeit bzw. Reflexion mathematisch zu erfassen und zu trennen.

Herr Prof. Dr. Teichmüller, als Vorsitzender, drückt zum Schluß Dank und hohe Befriedigung der Versammlung über Vortrag und Aussprache aus. Lichttechniker und Glastechniker seien sich heute in höchst erfreulicher Weise nahe getreten. Der Lichttechniker habe gesehen, in welchem umfangreichem Maße und mit welcher Zuversicht auf Erreichung des gewollten Zieles er das Glas als Werkstoff verwenden könne; und der Glastechniker habe die Bedürfnisse der Lichttechnik kennen gelernt und einen Ansporn erhalten, ihnen zu entsprechen. Beides werde sicherlich die besten Früchte tragen. Das Zusammenarbeiten habe heute schon begonnen, und es werde durch Verfolg der gegebenen Anregungen bald enger fortgesetzt werden. — Was die Forderung einheitlicher Benennung für die Gläser betreffe, so könne er feststellen, daß auch in dem heute leider ausgefallenen Vortrage des Herrn Dipl.-Ing. Schaefer dieselbe Anregung enthalten war. Herr Schaefer schreibt am Schlusse seines Vortrages wörtlich:

„Eine Bitte der Lichttechnik an die Glastechnik möchte ich zum Schluß aussprechen, nämlich die, sich zu einer einheitlichen Kennzeichnung und Benennung aller Glassorten zu entschließen. Angesehene Hütten bezeichnen mit denselben Worten ganz verschiedene Gläser; z. B. versteht die eine Hütte unter Opalescentglas ein in der Masse schwach getrübbtes, homogenes Glas, während dieser Ausdruck bei einer anderen Hütte ein leicht opalüberfangenes Glas bezeichnet.

Vielleicht ist die Lösung dieser, wenn auch kleinen, so doch wichtigen Aufgabe, der Anfang einer engeren Zusammenarbeit der beiden Zweige der Technik auch auf dem technisch-wissenschaftlichen Weg.“

Diesem Antrag und der aus der Versammlung herausgegebenen Anregung werde er, Redner, im Auftrage der Lichttechnischen Gesellschaft mit Vergnügen entsprechen.