

aber uns nicht vorgelegen haben. So ist z. B. bei einer großen Zahl von Gläsern der Firma Schott & Gen. lediglich angegeben, welche Bestandteile in Mengen von mehr oder weniger als 10% vorhanden sind.

Es dürfte allgemeiner interessieren, über den Umfang der Arbeit an dem Tabellenwerk einiges Orientierende zu erfahren. Die außerordentliche Breite der heute vorhandenen Glasliteratur mag allein daraus ersehen werden, daß rund 2500 Veröffentlichungen im Original von 17 Mitarbeitern aus Industrie und Wissenschaft bearbeitet worden sind. Neben den zahlreichen tabellarischen Uebersichten sind nicht weniger als rund 900 figürliche Darstellungen, Diagramme usw. zum Druck vorbereitet, welche im Text das reiche Erfahrungsmaterial anschaulich machen. Bei der Größe des darzustellenden Stoffes wird der Umfang des Werkes auf etwa 35 Druckbogen sich belaufen.

Wenn wir hoffen, das Werk in Bälde dem Glasfachmann in die Hand geben zu können, so ist es uns ein besonderes Anliegen, der hingebenden Mitarbeit einer größeren Zahl von Fachgenossen zu gedenken, die in dankenswerter-

ster Weise das riesige Material gesichtet und ausgearbeitet haben. Es ist dabei besonders erfreulich, festzustellen, wie ausgezeichnet die Zusammenarbeit der wissenschaftlichen Forschungsstellen mit den Kreisen der Industrie gewesen ist. Wir erblicken darin ein höchst erfreuliches Zeichen für die in der deutschen Glasindustrie lebendige Ueberzeugung, daß beide Gebiete innig zusammengehören. Ganz besonderen Dank sagen wir den Direktionen der Osram-Werke, die in weitgehendem Maße Erfahrungsmaterial aus den eigenen Forschungs- und Betriebslaboratorien zur Verfügung gestellt haben. Auch die Firma Schott & Gen. hat in dankenswertester Weise unsere Arbeit durch Freigabe von sehr viel bisher unveröffentlichtem Material bereichert. Die Verlagsbuchhandlung Julius Springer förderte in großzügiger Weise die Herstellung des Ganzen durch sorgfältigste Bearbeitung des umfangreichen und nicht immer einfachen Materials. Ihr wird es auch besonders zu danken sein, wenn das Werk in Ausstattung, Schönheit und Uebersichtlichkeit des Druckes den altbekannten Bänden des Landolt-Börnstein'schen Tabellenwerkes nicht nachstehen wird.

## Der Einfluß der Randgestaltung von Beleuchtungslinsen auf deren Wärmefestigkeit.

Von Dr. J. Flügge, wissenschaftl. Mitarbeiter der Emil Busch A.-G., Rathenow.  
(Eingegangen 14. Juli 1931.)

Herstellung wärmefester Linsen: a) durch Härten, b) aus Spezialglas, c) Einfluß der Kühlung, d) durch Runden und Polieren des Linsenrandes. — Erklärung für die Erfolge des letztgenannten Verfahrens.

Als Erzeuger von Linsen für Bühnenscheinwerfer und Projektionsapparate muß man ständig Klagen darüber hören, daß solche Linsen gelegentlich platzen. Geht man den Ursachen nach, so weit eine Rekonstruktion der beim Zerspringen obwaltenden Verhältnisse überhaupt noch möglich ist, so stellt man im allgemeinen fest, daß die Linse sich bei der Benutzung sehr stark erhitzt hat und in demjenigen Augenblick zersprang, wo eine stärkere Abkühlung eintrat, sei es nach der Außerbetriebsetzung des Gerätes, sei es auch nur durch einen plötzlichen kühlen Luftzug von außen.

Seit Jahren schon strebt man danach, die Wärmefestigkeit solcher Linsen zu erhöhen. Man hat auch bereits Erfolge erzielt und die Zahl der Klagen über ein Zerspringen wesentlich gemindert. Es dürfte nicht ohne Interesse sein, die Entwicklung wärmefester Linsen zu verfolgen, wie sie bei der Emil Busch A.-G., einer der Haupterzeugerinnen auf diesem Gebiete, vor sich ging. Nachdem man erkannt hatte, daß die bei Glasplatten sonst so bewährte Härtung des Glases für Kondensorlinsen ohne Erfolg blieb, weil die Linsen sehr ungleiche Dicke besitzen, ging man zu Anfang dieses Jahrhunderts dazu über, Beleuchtungslinsen aus einem wärmefesten Sonderglas (Pyrodurit) herzustellen, welches damals bei dem Jenaer Glas-

werk Schott & Gen. gerade eingeführt wurde. Dieses Glas zeichnet sich durch eine weitgehende Ersetzung der Kieselsäure durch Borsäure aus. Die Wärmefestigkeit ist erheblich höher als bei gewöhnlichem Spiegelglas. Als Maßstab hierfür sei angeführt, daß Würfel aus beiden Glasarten von 1 cm Kantenlänge nach Erhitzung auf bestimmte Temperaturen und Abschreckung in kaltem Wasser bei wesentlich verschiedenen Temperaturdifferenzen zerspringen, nämlich Pyrodurit erst bei 200°, Spiegelglas schon bei 115° Temperaturunterschied. Diese erhöhte Wärmefestigkeit des Pyrodurits gegenüber dem Spiegelglas war Grund für die Fertigung auch von Kinolampenspiegeln aus demselben Glase. Nach dem Erlöschen der Schutzrechte der Emil Busch A.-G. (DRGM 214528) gingen noch andere Fabrikanten an die Herstellung von Beleuchtungslinsen aus ähnlichen Gläsern.

Trotz der durch die Einführung des Pyroduritglases bewirkten Verbesserung der Wärmefestigkeit wurde nach einer weiteren Vervollkommnung gestrebt, weil eine absolute Garantie auch mit Pyrodurit noch nicht gegeben werden konnte.

Im folgenden sei über die Versuche berichtet, welche der Verfasser auf Anregung von K. Martin in dieser Richtung unternahm. Die Untersuchung erfolgte derart, daß beliebig aus

der Fabrikation herausgenommene Kondensorlinsen stark erhitzt und durch Anblasen von kalter Luft zum Zerspringen gebracht wurden; so versuchte man festzustellen, welches die Ursache des Uebelstandes sei. Das Nächstliegende war, den Kühlungszustand der Linsen für das Zerspringen verantwortlich zu machen. Bekanntlich erfordern größere Linsen eine sehr sorgfältige Kühlung, wenn schädliche Spannungen in der Glasmasse vermieden werden sollen. Bei den Versuchen stellte sich jedoch heraus, daß der Kühlungszustand für das Zerspringen nicht verantwortlich gemacht werden kann, denn häufig hielten schlecht gekühlte Linsen besser als gut gekühlte. Wäre es anders gewesen, so hätte man kaum ein Mittel gehabt, das Zerspringen zu verhüten, denn in den Scheinwerfern und Projektionsapparaten werden die Beleuchtungslinsen beim Gebrauch so stark erhitzt und abgekühlt, daß eine vorherige sorgfältige Kühlung ohnehin zerstört wird.

Bei der Suche nach der wahren Fehlerquelle fiel auf, daß die Sprünge häufig entlang von Schlieren verliefen, die sich aber ebenfalls nicht als die Ursache des Zerspringens herausstellten, weil Linsen mit stärkerer Schlierenbildung durchaus nicht mehr zum Zerspringen neigen, als Linsen geringerer Schlierenbildung.

Die eigentliche Ursache ist eine ganz andere, und zwar ist sie in der Gestaltung des Randes der Linse zu suchen. Nach eingehenden Beobachtungen stellte sich nämlich heraus, daß die Sprünge immer von solchen Stellen des Linsenrandes ausgingen, die irgendwelche Beschädigungen zeigten. Diese Fehlerquelle ist ziemlich schwer aufdeckbar, weil die Beschädigungen an einem fertigen Sprung nicht schon vorher gewesen zu sein brauchen, meist auch garnicht mehr erkennbar sind. Der Entdeckung dieser Fehlerquelle mußte vielmehr erst die Vermutung vorausgehen, wofür alsdann auf experimentellem Wege, nämlich durch Markierung der Beschädigungen des Linsenrandes mittels eines Oelkreidestiftes, die Bestätigung zu erlangen war. Daß die Vermutung nicht unzutreffend sein könnte, geht aus einem Versuch hervor, den O. Schott in seinen „Studien über die Härtung des Glases“<sup>1)</sup> folgendermaßen beschreibt:

„Belastet man einen in der Mitte unterstützten Glasstreifen an beiden Enden so stark, daß die Grenze der Festigkeit nicht überschritten, wohl aber nahezu erreicht wird, so ist es klar, daß die obere Schicht des Glasstreifens auf Zug, die untere auf Zerdrücken in Anspruch genommen wird. Läßt man nun auf diesen künstlich in Spannung versetzten Glasstreifen aus mäßiger Höhe ein Quarzkorn in Linsen- oder Erbsengröße fallen, so tritt momentan, von dem Auffallspunkte des Kornes ausgehend, ein Zerspringen ein, während selbst dickere Quarzstückchen gegen

die komprimierten unteren Schichten des Glasstreifens geworfen, sich völlig unschädlich erweisen.“

Die geschilderte Erscheinung läßt sich auf einfache Weise erklären. Da Quarz härter ist als Glas, wird letzteres an dem Auffallspunkt leicht geritzt. Steht nun das Glas an dieser Stelle unter Zugspannung, so gibt es an der Ritzstelle nach und springt. An der Unterseite des gebogenen Glasstreifens jedoch herrscht Druckspannung, welche die Ritzstelle niemals erweitern, sondern vielmehr zusammenpressen wird, so daß ein Zerspringen von dort aus undenkbar ist.

Entsprechend liegen die Verhältnisse bei den Kondensorlinsen. Die sich abkühlende Linse ist in der Mitte wegen der größeren Dicke nach einiger Zeit noch viel heißer als am Rande. Infolgedessen beharrt die Mitte möglichst in einem höheren thermischen Ausdehnungszustand, während der kühlere Rand geringere Ausdehnung anzunehmen bestrebt ist. So kommt es, daß nach einiger Zeit während der Abkühlung am Rande zunehmende Zugspannung auftritt, die so stark werden kann, daß die Elastizitätsgrenze des Glases an besonders schwachen Stellen, eben solchen Beschädigungen des Linsenrandes, überschritten und das Zerspringen eingeleitet wird. Zwischen gekreuzten Polarisatoren mit Gipsplättchen lassen sich diese Vorgänge ohne weiteres erkennen. Es handelt sich hier um eine Erscheinung, die in jeder Beziehung wie ein alltäglicher Vorgang verläuft, nämlich das momentane Zerspringen eines mit heißem Wasser gefüllten Trinkglases, wenn dieses auf eine gut wärmeleitende kältere Unterlage, z. B. eine Marmor- oder Metallplatte, gestellt wird.

Mit der Erkennung der Fehlerquelle ist auch das Verfahren an die Hand gegeben, sie zu umgehen. Um das Zerspringen von Beleuchtungslinsen zu verhüten oder mindestens zu verringern, ist dafür Sorge zu tragen, daß der Linsenrand frei von Beschädigungen ist. An dem gewöhnlich nur geschliffenen, nicht polierten Rand befinden sich mehr oder weniger scharfe Kanten (s. Bild 1), die bei harter Berührung ausspringen, und außerdem weist eine nur geschliffene Glasfläche eine Unzahl von kleinen Rissen auf, die in die Glasmasse hineinragen. Einzelne dieser Risse, die von größeren Körnern im Schleifmaterial herrühren, gehen besonders tief. Die beim Abkühlen auftretenden Zugkräfte finden also leicht Angriffspunkte, an denen der Sprung

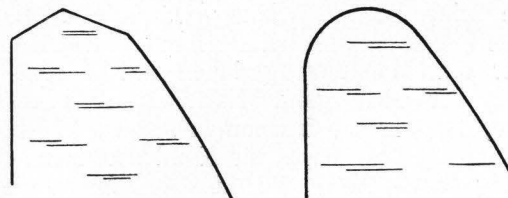


Bild 1 und 2. Querschnitt durch den Linsenrand:

1. bei einer Linse bisheriger Form,
2. bei den gerundeten und polierten Linsen der Emil Busch A.-G.

<sup>1)</sup> O. Schott, Verhdlg. Verein Beförd. Gewerbfleiß, Jg. 1879, S. 273.

einsetzen wird. Um Beschädigungen an den scharfen Kanten, die durch das Hantieren beim Einpacken, beim Versand und beim Einsetzen in die Apparate meist unbemerkt entstehen, zu vermeiden, ist die Emil Busch A.-G. dazu übergegangen (DRP ang.), die Beleuchtungslinsen am Rande zu runden (Bild 2) und außerdem noch zur Verhütung von Schleifrissen zu polieren.

Linsen dieser Art haben sich in der Praxis bereits als erheblich wärmeester erwiesen als die Linsen älterer Art. Besonderen Nutzen verspricht die neue Randgestaltung für die hoch-

wertigen Beleuchtungslinsen mit asphärischen Flächen. Man darf natürlich nicht behaupten, daß die Beleuchtungslinsen mit gerundetem und poliertem Rand nun jeder Wärmebeanspruchung standhalten; das kann man von Glas einfach nicht verlangen. Stellt man derartig hohe Ansprüche, so bleibt nur noch der Ausweg, Quarzglas (geschmolzenen Quarz) zu verwenden, weil dieses Material bekanntlich eine außerordentlich geringe Wärmeausdehnung aufweist. Der hohe Preis des Quarzglases jedoch dürfte diesen Schritt nur für kleinere Beleuchtungslinsen und für besondere Zwecke rechtfertigen.

## Brenner für Glasschmelz-Wannenöfen.

[Vortrag bei der 10. ordentlichen Mitgliederversammlung der „Wärmetechnischen Beratungsstelle der deutschen Glasindustrie (WBG)“, Frankfurt (Main) 1931.

Von Ing. K. Metzger (WBG).

Bemessung der Brenneröffnung nach der Flammengeschwindigkeit. — Festlegung des Begriffes der Flammengeschwindigkeit. — Einfluß der Flammengeschwindigkeit auf die Gleichmäßigkeit der Badbeheizung und den Wärmeübergang ans Glas. — Neigungswinkel des Brenners. — Abstand zwischen Glasspiegel und Unterkante Brennermaul. — Einfluß der Flammengeschwindigkeit und der Länge der Brennerzunge auf die Verbrennung. — Beispiele aus der Praxis.

**A**ufgabe eines jeden Brenners ist unter anderem, dem Ofen in der Zeiteinheit eine bestimmte Gas- und Luftmenge zuzuführen. Diese sogen. Verbrennungsleistung ist das Produkt aus Größe der Brenneröffnung und Flammeneintritts-Geschwindigkeit in den Ofenraum.

Beim Entwurf eines Ofens ist deshalb die richtige Bemessung der Brenneröffnung von großer Wichtigkeit. Es sind verschiedene Verfahren zu ihrer Bestimmung möglich. In der vor vier Jahren von der WBG herausgegebenen Wannenofen-Schrift\*) ist empfohlen worden, die Brenneröffnung mit 2 bis 4% der beheizten Herdfläche, also proportional mit dieser, zu bemessen. Diese einfache Faustformel hatte Gültigkeit, solange Schmelzleistung und Wärmeverbrauch je m<sup>2</sup> beheizte Herdfläche ohne große Abweichungen sich um einen festen Mittelwert bewegten. Inzwischen hat aber die Schmelzleistung bei fast allen Wannenöfen stetig zugenommen. Neuere Hochleistungswannen, besonders in der Hohlglasindustrie, leisten je m<sup>2</sup> beheizte Herdfläche bis doppelt soviel, als dem in der Wannenofen-Schrift genannten Mittelwert entspricht; sie brauchen demzufolge je m<sup>2</sup> beheizter Herdfläche auch mehr Gas und damit auch entsprechend größere Brenneröffnungen. Die an Wannen älterer Bauart gesammelten Erfahrungszahlen sind daher für neuere Wannen mit größeren Schmelzleistungen nicht mehr anwendbar.

Es empfiehlt sich deshalb, das bisherige Verfahren der Brennerberechnung aufzugeben und die Brenneröffnungen aus dem

Kohlen- bzw. Gasverbrauch und einer mittleren Flammengeschwindigkeit zu errechnen. Diese Rechenmethode hat zunächst den Vorteil, daß der etwas unbestimmte Begriff der „beheizten Herdfläche“, deren Größe beim Entwurf eines Ofens meistens noch gar nicht festgelegt werden kann — man denke nur an Wannen mit Hufeisenflamme — nicht in Rechnung gesetzt zu werden braucht. Im Gegensatz hierzu ist der Brennstoffverbrauch wenigstens angenähert schon vor dem Bau des Ofens bekannt und kann deshalb viel eher als Rechnungsgrundlage dienen als die beheizte Herdfläche. Der Hauptvorteil ist aber, daß für alle Oefen, unabhängig von Schmelzleistung und Wärmeverbrauch, eine als günstigste befundene mittlere Flammengeschwindigkeit in Rechnung gesetzt werden kann, wobei „günstigste“ zu verstehen ist bezüglich der Schmelzleistung, des Wärmeverbrauches und der Haltbarkeit des Brenners und des ganzen Ofens.

In der Wannenofen-Schrift war von dieser Art der Berechnung abgeraten worden, weil die Temperatur von Gas und Luft und der Grad ihrer Vorverbrennung, die beide zur Bestimmung der Flammeneintritts-Geschwindigkeit in Rechnung gesetzt werden müßten, beim Eintritt in den Ofen nicht bekannt sind und weder errechnet noch genau genug geschätzt werden können. Diese Schwierigkeit kann aber umgangen werden, indem man anstatt der Eintrittsgeschwindigkeit bei den Regenerativöfen die Austrittsgeschwindigkeit der Flamme bzw. der Verbrennungsgase aus dem Ofen als Maß für die Flammengeschwindigkeit in Rechnung setzt. Die Daten, welche für diese Berechnung erforderlich sind, können errechnet und hinreichend genau geschätzt werden:

\*) „Glasschmelz-Wannenöfen“. Frankfurt (M.) 1927, Selbstverlag der Wärmetechnischen Beratungsstelle der deutschen Glasindustrie.