

Im Auftrage der
Deutschen Glastechnischen Gesellschaft e. V.
 herausgegeben von Dr.-Ing. H. Maurach.

*
 Nachdruck oder Vervielfältigung im ganzen oder in Teilen ausdrücklich untersagt.
 Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen vorbehalten. — Copyright 1939 by DGG in Frankfurt a. M.

17. Jahrg.

Juli 1939

Heft 7

DK 535.68 : 667.6 : 536.5 : 666.1.031.2/.6 (045)

Verfahren zur Sichtbarmachung der Temperaturverteilung an Glasöfen.

F. Drexler und W. Schütz, Oppau.

(Mitteilung aus dem Ammoniaklaboratorium Oppau der I. G. - Farbenindustrie A. G.)

(Eingegangen am 22. 6. 1939.)

Die von der I. G. Farben A. G., Werk Oppau, entwickelten Temperaturmeßfarben „Thermocolor“ werden in ihrer Anwendung zur Bestimmung und Sichtbarmachung von Temperaturfeldern an Öfen, als Warnfarben beschrieben. Auch auf die Möglichkeit einer Verwendung bei gußeisernen Formen für Hohl- und Gußglas wird hingewiesen.

Bei Prüfung einer kleinen Schmelzwanne für besonders aggressive Glasschmelzen kam es uns neben dem Verhalten des Auskleidungsmaterials der Wanne auch darauf an, im Dauerversuch das Verhalten der Verfüugungsmasse sowie die Widerstandsfähigkeit der Hintermauersteine gegen etwa eingedrungene Schmelzmassen kennen zu lernen.

Die übliche Methode, Schäden in der Ofenausmauerung von Schmelzwannen durch Abtasten mit einem Drahtkaken zu ermitteln, gab nur ein mehr oder minder gefühlsmäßiges Bild vom Zustand der Ausmauerung. Jedoch war es so nicht möglich, genauere Anhaltspunkte über die Zerstörungen im Mauerwerk hinter der eigentlichen aus Platten von Spezialmaterial bestehenden Ausmauerung zu erhalten, obwohl mit Sicherheit aus dem zunehmenden Auftreten von Sand und Steinchen im Schmelzprodukt auf eine intensive Korrosion im Hintermauerwerk geschlossen werden konnte.

Von der Erwägung ausgehend, daß etwa ins Mauerwerk eingedrungene Glasflüsse auch eine ungleichmäßige Erwärmung der Außenwand des Ofens zur Folge haben, wurde versucht, Schäden in der Hintermauerung durch Bestimmung der Temperaturen der Außenwand des Ofens zu erfassen. Es gaben jedoch weder punktweise Messungen mit Thermometern, noch mit Thermolementen klare eindeutige Ergebnisse.

Dagegen gelang es uns durch Verwendung der neuen, von der I. G. Farbenindustrie A. G., Werk Oppau, entwickelten Temperaturmeßfarben¹⁾, in kürzester Zeit die Temperaturverteilung auf der Außenwand des Ofens und damit auch lokale Ueberhitzungen des Mauerwerks festzustellen. Dieses Verfahren zur Sichtbarmachung von Temperaturfeldern besteht darin, daß man auf die Oberfläche des Ofens Farbstriche aufbringt, die bei bestimmten Temperaturen Farbumschläge bzw. Farbänderung zeigen. Dadurch wird sowohl die Höhe der Temperatur an einer bestimmten Stelle bestimmt, als auch der Umfang der Felder von gleicher Temperatur in einer Art „Isothermen“ angezeigt. Für dieses Meßverfahren stehen eine Reihe von Farben zur Verfügung, die einen Temperaturbereich von 30°—650°C[†]) umfassen.

Die pulverförmigen Meßfarben werden vor dem Gebrauch mit Brennspritus angerührt und nun mit Pinsel oder Spritzpistole auf die zu untersuchenden Objekte aufgebracht. Bei großen Flächen und heißen Gegenständen ist es vorteilhaft, die Anstriche mit der Spritzpistole aufzuspritzen. Die Farbumschläge stellen sich nach wenigen Minuten ein und bleiben auch nach dem Erkalten bestehen.

Die Eignung dieser Temperaturmeßfarben, die unter dem Namen „Thermocolor“ bereits Eingang in die Industrie gefunden haben²⁾, auch für Untersuchungen an Schmelzöfen u. a. soll in einigen Lichtbildern gezeigt werden.

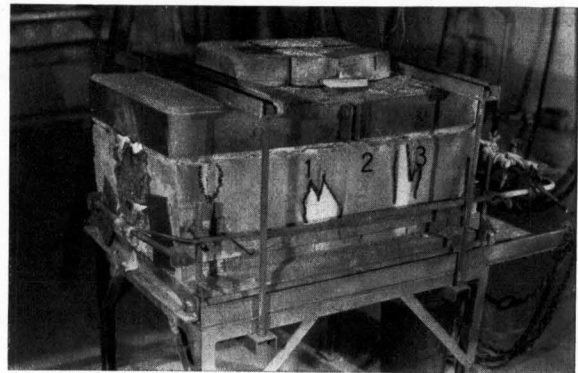


Bild 1. Versuchsofen-Seitenwand, Außenansicht, mit Thermocolor 9 gespritzt. Helle Stellen heißer als 440°, dunkle Stellen kälter als 440°.

†) Vgl. die folgende Temperaturfarben-Skala:

Temperatur °C	Farb- umschlag	Farbe	Temperatur °C	Farb- umschlag	Farbe
30	rosa-blau	1	175	weiß-braun	5
60	hellgrün-blau	2	220	grün-braun	6
65	hellrosa-hellblau	20	220	olivgrün-braun	30
65	graugrün-hellblau	30	230	graublau-hellbraun	31
80	grün-blau	2a	275	hellbraun-rotbraun	31
110	gelb-violett	3	290	gelb-rotbraun	7
140	purpur-blau	4	340	weiß-braun	8
145	hellblau-hellbraun	20	440	violett-weiß	9
145	hellblau-olivgrün	30	580	hellblau-violett	11
155	braun-graublau	31	650	olivgrün-hellgrün	12

Inzwischen wurde auch eine Meßfarbe gefunden, die bei 725° einen reversiblen Farbumschlag aufweist.

²⁾ F. Penzig, Z. Verein dtsh. Ing., 83 (1939), Nr. 3, S. 69 bis 74. Vgl. auch H. Rabaté, Galvano (Paris), 1939, S. 30—33. (Ref. Glastechn. Ber., 17 (1939), H. 6, S. 196.)

¹⁾ Vgl. DRP. Nr. 665 462. (Ref. Glastechn. Ber., 17 (1939), H. 6, S. 196.)

Die verwendete Meßfarbe schlägt bei 440° von violett nach weiß um. Auf der Außenwand der kleinen Versuchswanne zeichnen sich durch hellere Färbung eine kleinere Ueberhitzungsstelle und zwei größere an den Steinfugen 1 und 3 ab, welche den mehr oder minder tiefen Ausfressungen im Innern der Wanne entsprechen (Bild 2).

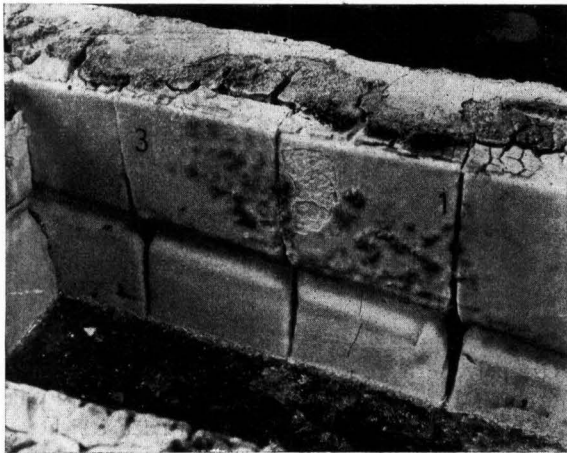


Bild 2. Versuchsofen-Seitenwand, Innenansicht. Die ausgefressenen Fugen 1 und 3 sind die Ursache der Ueberhitzungsstellen auf Bild 1.

Nach Abtragung eines Teiles der Ofenwandung konnte man die Auswirkung der in die Hintermauerung eingedrungenen Glasschmelze deutlich erkennen (Bild 3).

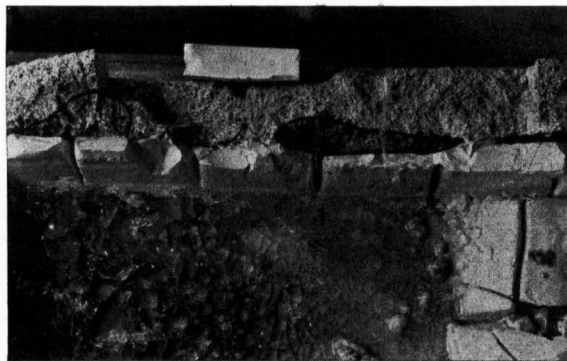


Bild 3. Versuchsofen-Seitenwand, zur Hälfte abgetragen. Hinter der ersten und dritten Fuge ist die Hintermauerung stark angegriffen, daher die Ueberhitzungsstellen auf Bild 1.

Nachdem man erst einmal auf diese Weise die wunden Stellen des Ofens genau festgelegt und erkannt hat, können die üblichen Maßnahmen zur Erzielung einer möglichst langen Ofenreise: entweder verstärkte Kühlung oder Ersatz des zerstörten Materials durch Einrücken eines Ersatzstückes u. a. m. erfolgen.

Bei diesen Versuchen zur Ermittlung der Temperaturverteilung an der Versuchswanne (die übrigens ohne jegliche Störung des Ofenbetriebes erfolgen) wurden auch die Brennerköpfe und Zuleitungen untersucht.

Bild 4 gibt zwei Brenner wieder, von denen der linke etwas zurückgeschlagen hat. Die dadurch herbeigeführte Erhitzung des Brenners gibt sich durch einen Farbumschlag (hier von weiß in braun bei 340°) kund. Es läßt sich so auf einen Blick feststellen, ob die Brenner in Ordnung sind. Hier finden die Thermocolore also auch Verwendung als Warnfarben.

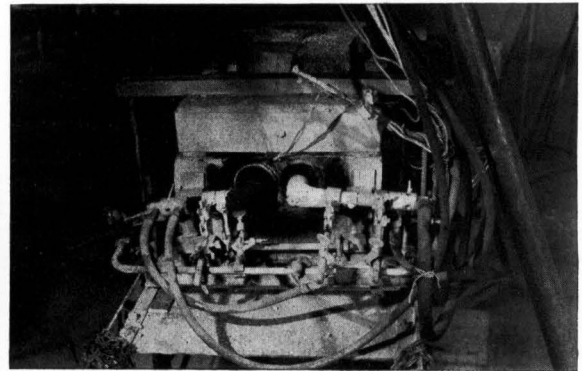


Bild 4. Versuchsofen. Brennerwand mit Thermocolor 8 gespritzt. Dunkler Brenner durchgeschlagen, heißer als 340° . Heller Brenner im Normalzustand kälter als 340° .

Weitere Untersuchungen wurden an einem kleinen gasgeheizten Glaskühlofen vorgenommen. Solche Öfen weisen bekanntlich ohne besondere Einrichtungen für Luftumwälzung sehr ungleichmäßige Temperaturverhältnisse auf. Wegen der starken Abhängigkeit der Temperaturen in diesen Öfen vom Gasdruck, der Außentemperatur usw. ist eine dauernde Kontrolle der Temperaturverhältnisse durch Thermoelemente, verbunden mit einer automatischen Regulierung der Gas- und Luftzufuhr, notwendig. Trotzdem ist aber keine Gewähr dafür vorhanden, daß die gemessenen Temperaturen auch wirklich an allen Stellen des Ofens vorhanden sind. Durch Einstellung von Porzellantafeln, die mit entsprechenden Temperaturmeßfarben bestrichen sind, kann man sich sehr rasch über die tatsächlich im Ofen herrschenden Temperaturen orientieren. Das Bestehen großer Temperaturunterschiede in solchen Kühlöfen tritt damit zu Tage.

Mit Hilfe der Temperaturmeßfarben kann man sich aber auch von außen her einen Ueberblick über die im Kühllofen bestehende allgemeine Temperaturverteilung verschaffen.

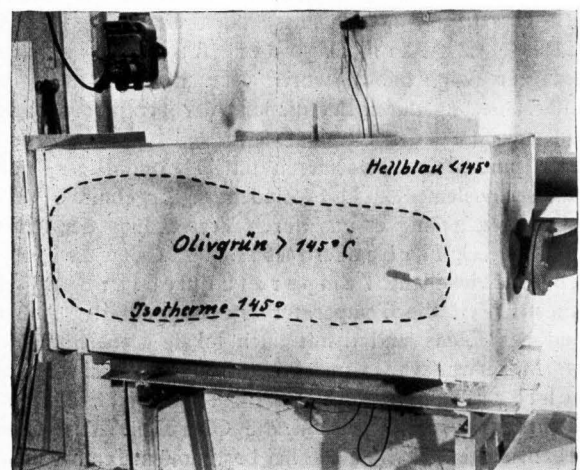


Bild 5. Kühllofen-Seitenwand, Außenansicht. Mit Thermocolor 30 gespritzt. Die Isotherme 145° ist eingetragen. Dunkleres Feld innerhalb der Isotherme ist zwischen 145° und 220° , helles Feld zwischen 65° und 145° . Abzugsrohr ganz rechts ist ganz dunkel. Temperatur dort über 220° .

Bild 5 zeigt einen kleinen gasgeheizten Kühllofen. Auf der mit einer entsprechenden Meßfarbe besprühten Seitenwand zeichnet sich deutlich die Wärmeverteilung ab. An der Eintrittsstelle des Heizgases herrscht die höchste

Temperatur; durch den Abzug verschmälert sich dieses Temperaturgebiet, während oben, unten und in den Ecken des Ofens ausgesprochene Kaltzonen vorhanden sind. Durch geeignete Regulierung des Abzuges ließ sich in diesem Fall eine wesentlich gleichmäßigere Wärmeverteilung über den ganzen Kühlhofen hin bei Verringerung des Gasverbrauches erzielen, gleichzeitig wurde der Ausschub an schlecht gekühltem Ofengut vermindert.

Das Temperaturmeßverfahren konnte ferner beim Vergießen von Schmelzmasse in Stahlformen nutzbringende Verwendung finden³⁾. Da die Glasmasse in zu kalten Formen unter starkem Verziehen erstarrt, in zu heißen Formen aber klebt, wurde die Feststellung der richtigen

³⁾ Vgl. Glastechn. Ber., 17 (1939), H. 5, S. 168 (Sitzungen des Fachausschusses III der DGG).

Temperatur der Stahlformen mit Meßfarben vorgenommen, die zu diesem Zweck in Form von Wachsstiften oder Kreiden angewendet wurden. Die Temperaturverteilung an Gußglaskörpern ließ sich gut durch Aufpudern von Thermocolor-Farbpulver erfassen.

Zusammenfassung.

Die beschriebenen Versuche zeigen, daß die Temperaturmeßfarben zur Untersuchung der Wärmeverteilung auch für die Glasindustrie von großem Wert sein können. In betrieblich einfachster Weise geben sie rasch und rechtzeitig Aufschluß über den baulichen Zustand von Oefen, Brennerköpfen und Leitungen und die zweckmäßigste Temperatur von Gußformen und dergleichen.

(13 263)

DK 539.211 : 539.411.5 : 666.11 (045)

Struktur der Bruchflächen und Bruchvorgang bei Gläsern.

Von Ernst Rexer, Halle (Saale).

(Eingegangen am 17. Juni 1939.)

Außer der bekannten Grobstruktur der Bruchflächen von Glasstäben, die durch Spiegel, rauhe und Furchungsfläche charakterisiert wird, findet man unter geeigneten Beobachtungsverhältnissen häufig eine Feinstruktur in Gestalt von Geradenbüscheln und Kurvenscharen. Die Geradenbüschel sind an das Vorhandensein zahlreicher Kerbstellen aller Art geknüpft und ihr Verlauf hängt mit den Spannungsänderungen während des Bruches zusammen. Die Kurvenscharen nehmen ihren Ausgang von Kerbstellen bestimmter Größe und Lage und scheinen in ihrem Verlauf von dem Verhältnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit elastischer Störungen zur Bruchgeschwindigkeit bestimmt zu sein, so daß sich damit Aussagen über die Größe dieses Verhältnisses unter verschiedenen Beanspruchungen geben lassen.

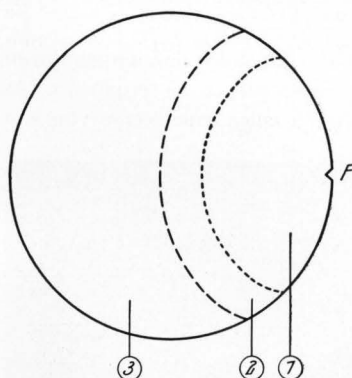
Einleitung.

Die Bruchfläche eines durch reine Zugbeanspruchung zerrissenen Glasstabes wird gegliedert 1. in ein glattes, kreisförmig begrenztes Gebiet, den Spiegel, 2. in einen meist schmalen Streifen feiner Rauigkeit, bestehend aus einzelnen diskreten Löchern bzw. Erhebungen und 3. in das restliche mehr oder weniger grob gefurchte Gebiet (Bild 1)¹⁾. Im allgemeinen ist dabei der Bruchausgangs-

gentlich eigenartige kreislinienartige Unterteilungen, „Zonenlinien“, konzentrisch zum Bruchausgangspunkt auf²⁾; weiterhin konnten erstmalig Innenspiegel in beliebigem Abstand von der Staboberfläche erzeugt und untersucht werden⁴⁾. Alle diese „makroskopischen“, qualitativ mit bloßem Auge erkennbaren Bruchflächenbefunde wurden auch im Mikroskop bei durchfallendem Licht gewonnen, wobei aber darüber hinaus an den durch Detonation erhaltenen Innenspiegeln schon Andeutungen einer weiteren, feineren Struktur zu beobachten waren. Diese trat dann deutlich hervor bei Untersuchungen im auffallenden Licht bei Hell- und Dunkelfeld („Opak“ und „Ultropak“ der Firma Leitz); sie soll im folgenden an Hand charakteristischer Lichtbilder näher gekennzeichnet werden. Diese Beobachtungen an Bruchflächen detonationszerstörter Glasstäbe werden durch parallele Untersuchungen der Bruchflächen, die bei reiner Zug- bzw. Biegebungsbeanspruchung erhalten wurden, ergänzt.

Struktur der Bruchfläche.

Die Art der Beleuchtung bei mikroskopischer Untersuchung der Glasbruchflächen ist für die jeweilige erkennbare Struktur von ausschlaggebender Bedeutung. Während im durchfallenden Licht das „makroskopische“ Bruchflächenbild deutlich und gleichzeitig eine etwaige meist „kreisförmige“ Schlierenstruktur des Glases zu erkennen ist, beobachtet man im auffallenden Licht auf dieser selben vorher glatt erscheinenden Bruchfläche häufig eigenartige Kurvenscharen. Bei Dunkelfeldbeleuchtung (im auffallenden Licht) treten diese sowie das makroskopische Bruchflächenbild zurück gegenüber einem vom Spiegelzentrum radial ausgehenden Strahlenbüschel (Scharen von „Geraden“). Durch Verwendung geeigneter gemischter Beleuchtung gelingt es, die verschiedenen Erscheinungsbilder auch nebeneinander zu



F Primär-Kerbstelle, ① Spiegel;
② rauhe Fläche, ③ Furchungsfläche

Bild 1.
Zerreißbruchfläche,
schematisch dargestellt.

punkt in Gestalt irgendeiner Fehlstelle — meist gut im Spiegel-Zentrum erkennbar — an der Staboberfläche („Randspiegel“), und nur in den seltensten Fällen im Innern („Innenspiegel“)²⁾ gelegen. Aehnliche Bruchflächenbilder wurden auch bei der Zerstörung von Glasstäben durch Detonation erhalten; dabei traten außerdem gele-

¹⁾ Siehe z. B. G. Gehlhoff u. M. Thomas, Z. techn. Phys., 7 (1926), S. 105—126 (Ref. Glastechn. Ber., 4 (1926/27), S. 103); A. Smekal, Ergebn. d. exakt. Naturw., 15 (1936), S. 106—188; weitere Schrifttums-Angaben bei E. Rexer, Z. techn. Phys., 20 (1939), S. 97—102. (Ref. Glastechn. Ber., 17 (1939), H. 7, S. 223.)

²⁾ M. Eichler, Z. Phys., 98 (1935), S. 280—282. (Ref. Glastechn. Ber., 15 (1937), S. 293.)

³⁾ E. Rexer, Glastechn. Ber., 17 (1939), S. 33—38.

⁴⁾ H. Pose, E. Rexer u. E. Wehner, erscheint demnächst in den Glastechn. Ber.