GLASTECHNISCHE BERICHTE 275

ZEITSCHRIFT FÜR GLASKUNDE

Herausgegeben von der

DEUTSCHEN GLASTECHNISCHEN GESELLSCHAFT E.V.

Nachdruck nur mit ausdrücklicher Genehmigung der Schriftleitung gestattet
Die Herstellung einzelner Fotokopien für wissenschaftliche Zwecke ist erlaubt

43. Jahrgang | Juli 1970 | Heft 7

DK 536.532:621.317.729.2:666.1.031.228:536.1

Neuartige Methode zur Messung der vertikalen Temperaturverteilung im Glasbad von Glasschmelzwannen

Von Milan Knap, Teplice v Čechách (Tschechoslowakei)

(Mitteilung aus dem Forschungsinstitut Sklo Union, Teplice - Řetenice)

(Eingegangen am 14. Juli 1969)

Es wird über ein neues Verfahren zur Messung des Temperaturgradienten in der Glasschmelze berichtet. Ein in der Stahlindustrie gebräuchliches Verfahren zur Temperaturmessung in Stahlschmelzen wurde für die Messung in Glasschmelzen abgewandelt. Die Meßmethode wird genau beschrieben. Es werden Ergebnisse der Temperaturmessungen mit der neuen Methode an zwei vollelektrisch beheizten Wannenöfen mitgeteilt.

Die Kenntnis der Temperaturverteilung im Glasbad von Glasschmelzwannen ist für viele Zwecke wünschenswert. Es wurden Meßmethoden entwickelt, die trotz der schwierigen Bedingungen eine ausreichende Meßgenauigkeit garantieren. Die heute schon als klassisch zu bezeichnende, von Trier [1, 2] verwendete Methode ist genau, aber aufwendig und teuer. Es wurde daher nach einer besseren Methode gesucht, die durch Modifizierung eines in der Stahlindustrie entwickelten Verfahrens gefunden wurde.

1. Meßmethode

Seit einigen Jahren werden in Stahlwerken zur Temperaturmessung in Stahlschmelzen Meßpatronen verwendet, die aus sehr dünnen PtRh/Pt-Thermodrähten, welche sich in einem Quarzröhrchen befinden, das wiederum durch eine Aluminium- oder Messingkappe geschützt wird, bestehen. Das Thermoelement ist in einen Sockel aus Kunststoff, der mit einem gleichachsigen Verbindungsstecker versehen ist, eingekittet. Die Meßpatrone mit Sockel wird mit Hilfe des Verbindungssteckers mit der Meßstange verbunden, die aus einem Stahlrohr besteht, in das eine Kompensationsleitung eingeführt ist. Der Teil der Meßstange, der in die Schmelze eingetaucht wird, ist durch ein Papierröhrchen gegen zu schnelle Erwärmung geschützt.

Bei der Messung wird das Thermoelement etwa 5 s lang in die Schmelze eingetaucht. Der Meßwert wird mit einem mV-Schreiber registriert.

Meßpatrone und Papierröhrchen werden nur für jeweils eine Messung benutzt. Die Meßstange kann wiederholt verwendet werden, jedoch muß der erhitzte Teil nach der Messung abkühlen.

Diese Methode schien wegen ihrer Einfachheit auch in der Glasindustrie zur Messung der vertikalen Temperaturverteilung im Glasbad geeignet zu sein. Nachdem einige Messungen durchgeführt worden waren, zeigte sich, daß diese Methode zur Temperaturmessung in der Glasschmelze ohne Änderungen nicht übernommen werden konnte. Die Messingkappen, die das Thermoelement schützen sollen, verunreinigten die Glasschmelze. Der Teil der Meßstange, der nicht durch das Papierröhrchen geschützt war, wurde im Ofen zu heiß und verzunderte. Durch die starke Erhitzung der Meßstangen dauerte deren Abkühlung sehr lange, wodurch die Messungen viel Zeit beanspruchten. Damit wird auch die Reproduzierbarkeit der Meßwerte schlechter. Die beschriebene Meßmethode wurde so verbessert, daß sie den Bedingungen der Glastemperaturmessung besser entspricht [3].

Messingkappen, die die Glasschmelze verunreinigen, werden nicht mehr verwendet. Das Thermoelement im Quarzrohr wird der Umgebungstemperatur der Glasschmelze direkt ausgesetzt, was die Ansprechzeit vermindert. Eine weitere Verbesserung brachte die Benutzung langer Papierschutzrohre, welche die Meßstange über die ganze Länge vor der Wärmestrahlung des Ofens schützen. Damit können auch dünnwandige Stahlrohre verwendet werden, und die Meßdauer kann auf 20 bis 30 s verlängert werden. Insbesondere in den Bereichen niedriger Glastemperatur wird eine bessere Spannungsstabilität am Thermoelement erzielt.

Bild 1 zeigt das Schema der Meßstange, auf Bild 2 ist die Anordnung der gesamten Meßvorrichtung dargestellt. Einen Längsschnitt durch die Meßstange mit der Meßpatrone zeigt Bild 3.

Bei der Temperaturmessung in der Glasschmelze mit dieser neuen Meßsonde wird die Meßstange durch eine Öffnung im Gewölbe senkrecht in die gewünschte Tiefe des Glasbades abgesenkt. Infolge der geringen Masse des Thermoelements wird das Temperaturgleichgewicht schnell erreicht. Den mit einem Schreiber aufgenommenen Temperaturverlauf zeigt Bild 4.

Für die zügige Durchführung von Temperaturmessungen im Glasbad ist die Bereitstellung mehrerer solcher Sonden notwendig. Bei ausreichender Anzahl von Meßsonden dauert die Messung in 10 verschiedenen Tiefen durch eine Öffnung im Gewölbe nicht länger als 20 min.

Die Meßgenauigkeit ist durch die Genauigkeit der verwendeten Thermoelemente und Meßvorrichtungen gegeben. Zur Messung wurden Thermoelemente, deren

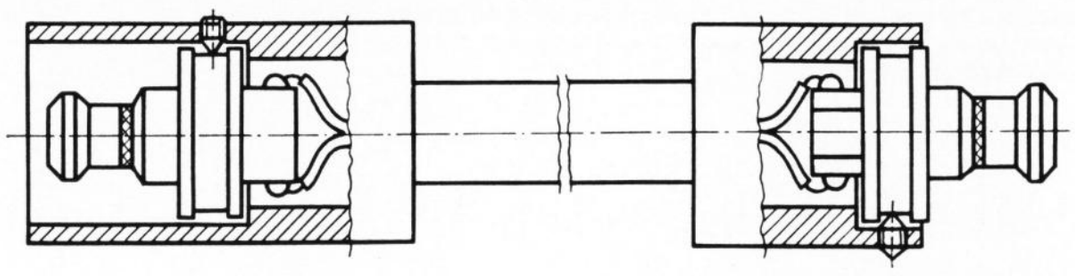

Bild 1. Schema der Meßstange.

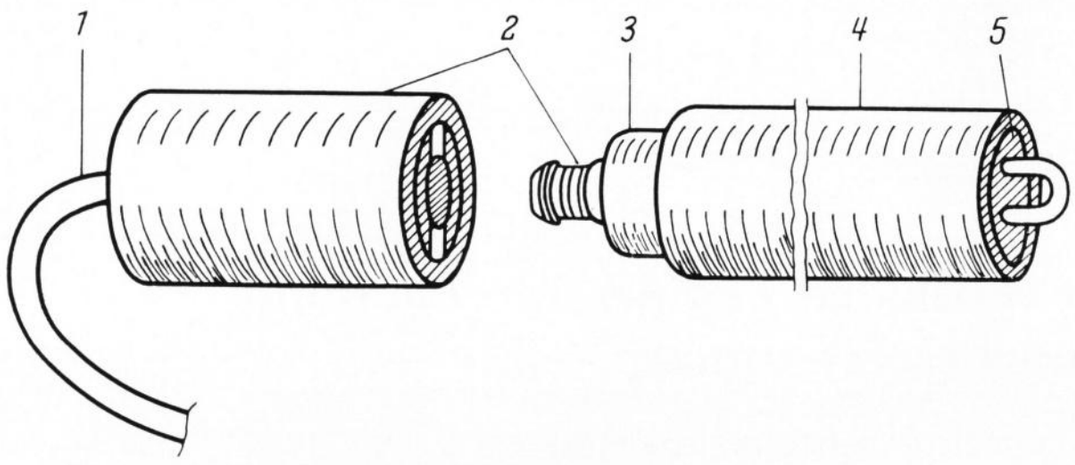

Bild 2. Anordnung der Meßvorrichtung.
1 = Leitung zum Schreiber,
2 = Stecker,
3 = Hülse zur Befestigung des Steckers,
4 = Papierschutzhülse,
5 = Sockel mit Thermoelement.

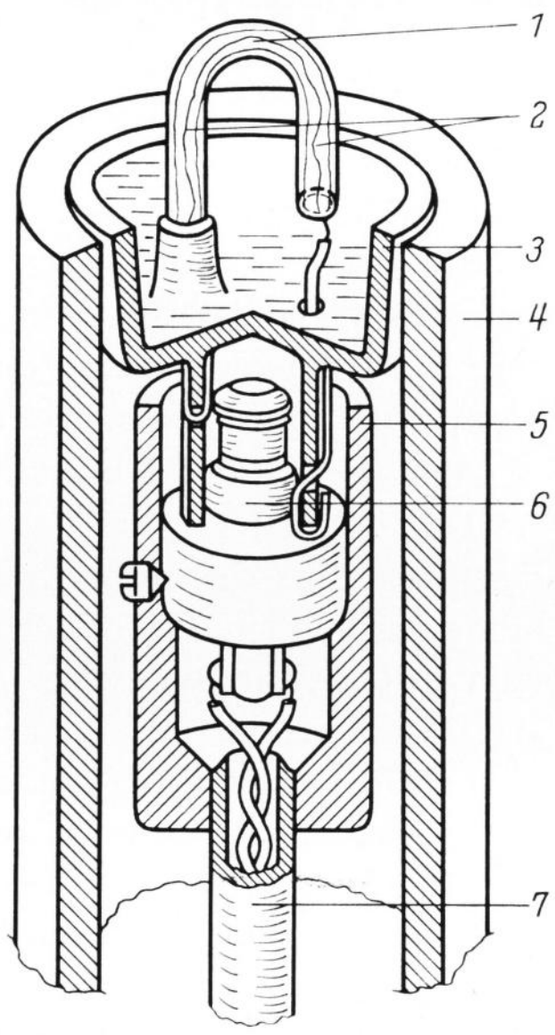

Bild 3. Längsschnitt der Meßstange mit dem Sockel.
1 = PtRh/Pt-Thermoelement,
2 = Quarzschutzrohr,
3 = Sockel,
4 = Papierschutzhülse,
5 = Hülse zur Befestigung des Steckers,
6 = Stecker,
7 = Stahlrohr.

Fehler im Durchschnitt den Wert von ± 1 grd nicht überstiegen, benutzt. Der verwendete elektronische Schreiber wies die Genauigkeitsklasse 0,1 auf.

Mit der beschriebenen Methode wurden Messungen an verschiedenen Wannen durchgeführt. Es handelte sich um Wannen, die mit Öl oder einer Kombination von Gas und elektrischer Zusatzbeheizung betrieben wurden. Die aus diesen Messungen erhaltenen Temperaturfelder dienten zusammen mit den Geschwindigkeitsfeldern zur Errechnung der Intensität der Konvektionsströme der Glasmasse.

2. Meßergebnisse

In letzter Zeit wurden auch Messungen in zwei vollelektrisch beheizten Wannenöfen durchgeführt. Die beschriebene Methode hat sich bei Temperaturmessungen eines etwa 1600 °C heißen Glasbades sehr gut bewährt.

Einer der beiden Wannenöfen (Nr. 1) wurde zur Erschmelzung von halbweißem Verpackungsglas eingesetzt. Die Schmelzleistung betrug etwa 90 t/24 h. Der vertikale Temperaturverlauf in der Glasschmelze wurde an verschiedenen Stellen bestimmt, die Lage der Meßstellen ist in Bild 5 eingezeichnet. Den vertikalen Temperaturverlauf an den Meßstellen 1, 2 und 3 des Ofens Nr. 1 zeigt Bild 6. Die Temperatur der Glasschmelze wurde durch die Gemenge- und Scherbenschicht auf dem Glasspiegel bis zu einer Tiefe von 10 cm beeinflußt. Die registrierte maximale Abweichung von dem wahrscheinlichen Temperaturverlauf betrug maximal 12 grd.

Der zweite vollelektrisch betriebene Wannenofen, an dem der vertikale Temperaturverlauf an zwei Meßstellen gemessen wurde, diente zur Erschmelzung von braunem Verpackungsglas. Die Tagesleistung betrug

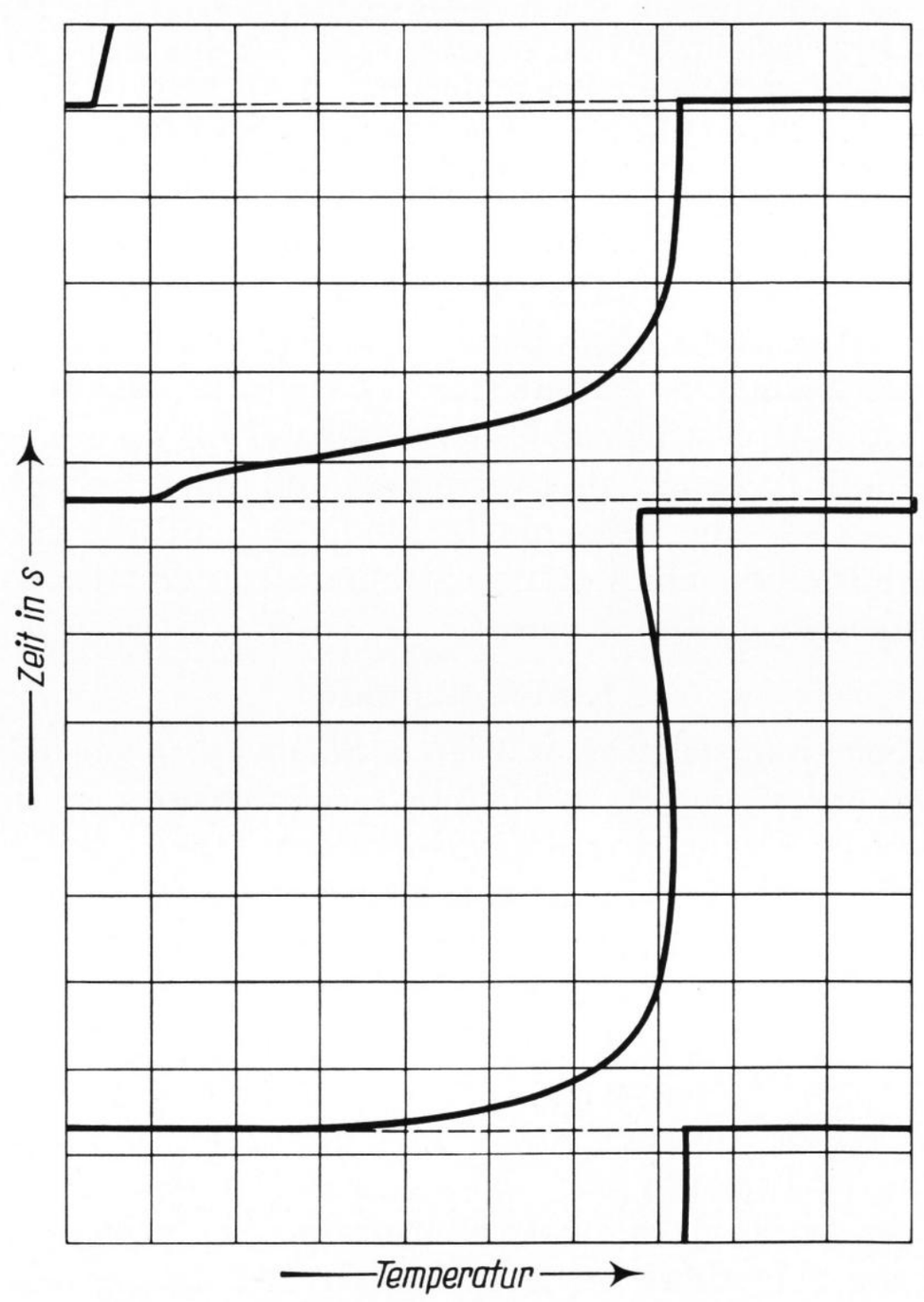

Bild 4. Muster eines Registrierstreifens zur Aufzeichnung der Temperatur.

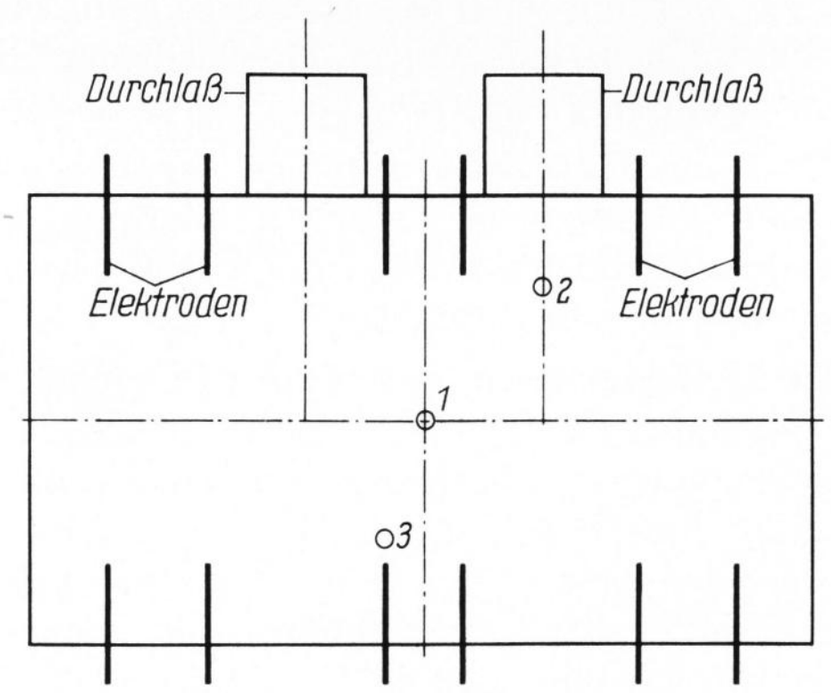

Bild 5. Lage der Meßstellen im Wannenofen 1.

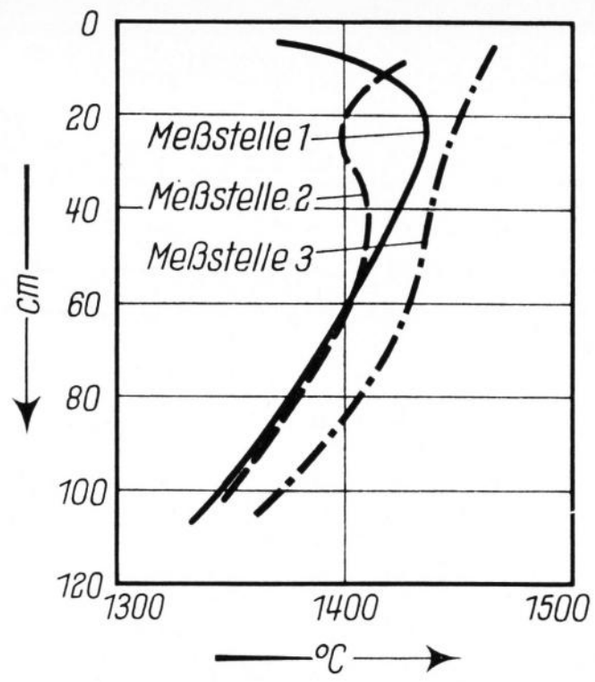

Bild 6. Vertikaler Temperaturverlauf im Glasbad des Wannenofens 1 an den Meßstellen 1, 2 und 3.

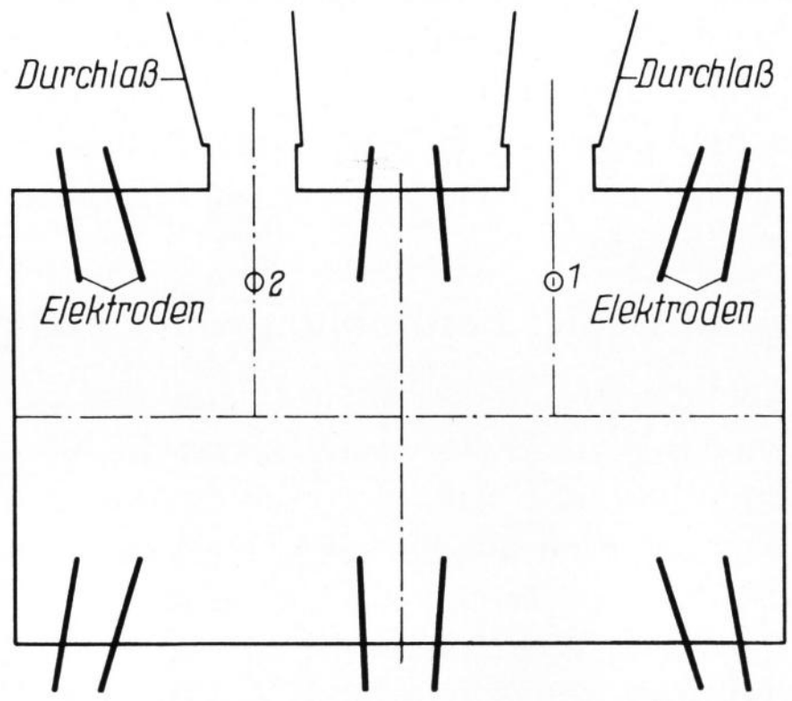

Bild 7. Lage der Meßstellen im Wannenofen 2.

ebenfalls 90 t. Die Messungen sollten Informationen für Konstruktionsänderungen und zur Beurteilung der Eignung der benutzten Feuerfestmaterialien geben.

Die Meßstellen wurden in einem Abstand von etwa 1 m von der Innenwand des Schmelzbeckens vor den Mitten der Durchlässe angeordnet. Ihre Lage ist aus Bild 7 zu ersehen. Der vertikale Temperaturverlauf an diesen Meßstellen ist in Bild 8 dargestellt.

Der Temperaturverlauf an den Meßstellen 1 und 2 des Ofens Nr. 2 (Bild 8) ist nahezu gleich, doch liegt das Niveau der Temperatur an der Meßstelle 1, d. h.

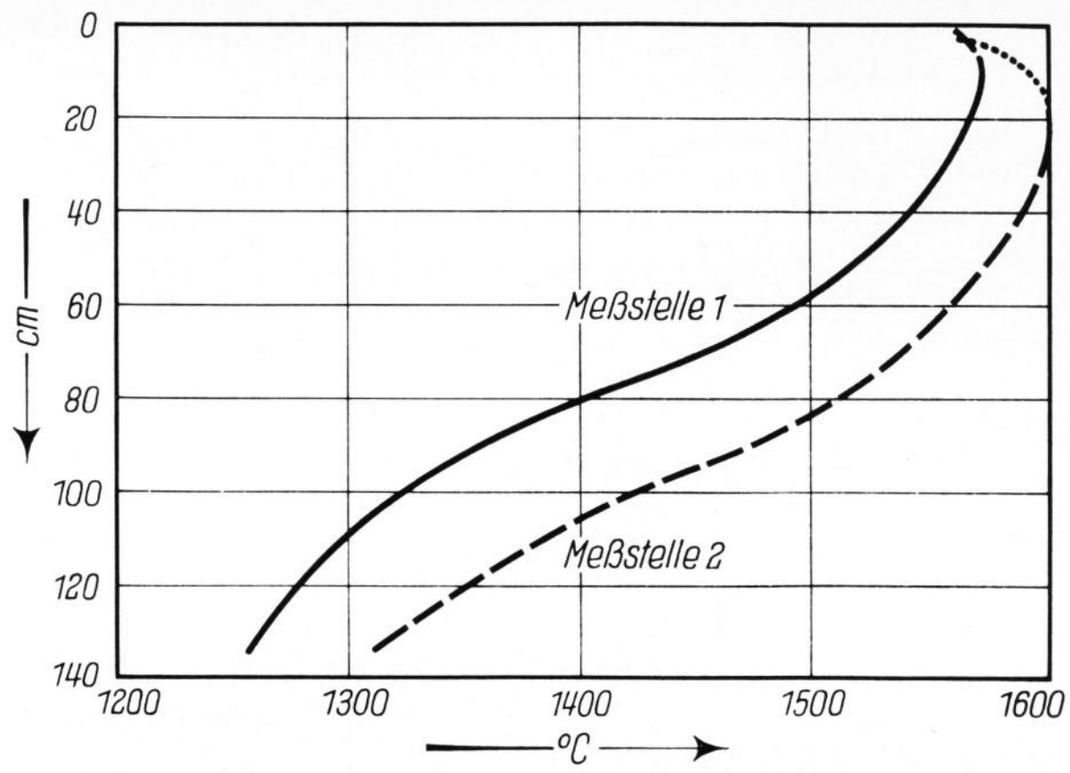

Bild 8. Vertikaler Temperaturverlauf im Glasbad des Wannenofens 2 an den Meßstellen 1 und 2.

vor dem linken Durchlaß, höher. Die höhere Temperatur an dieser Stelle ist aus dem geringeren Durchsatz des linken Durchlasses zu erklären, der nur etwa die Hälfte des rechten Durchlasses beträgt. Da die zugeführte elektrische Leistung links und rechts gleich ist, liegt die spezifische zugeführte Leistung, bezogen auf die durch den linken Durchlaß hindurchfließende Glasschmelze, höher, was eine höhere Temperatur zur Folge hat.

Die Lage der Meßstellen in den Durchlaßachsen der beiden Wannen ist fast gleich. Das Temperaturgefälle für halbweißes Verpackungsglas betrug 0,78 grd/cm, für braunes Verpackungsglas 0,83 grd/cm.

3. Zusammenfassung

Es wurde eine neue Methode zur Messung des vertikalen Temperaturverlaufs in Glasschmelzwannenöfen beschrieben. Als Beispiele wurden Messungen in vollelektrisch beheizten Wannenöfen angeführt. Aus den Ergebnissen können noch keine Schlußfolgerungen gezogen werden, weil die Anzahl der Meßstellen für eine Beurteilung nicht ausreichend war. Es müßte noch eine ganze Serie von Messungen an verschiedenen Meßebenen und bei verschiedenen Betriebszuständen vorgenommen werden. Die bereits durchgeführten Messungen beweisen aber die Brauchbarkeit des entwickelten Verfahrens.

4. Literatur

[1] Trier, W.: Temperaturmessung im Glasbad von Wannenöfen. Glastechn. Ber. **26** (1953) S. 5 – 11.
[2] Trier, W.: Glasströmungen: Bedeutung und Meßmethoden. Glastechn. Ber. **33** (1960) S. 401 – 411.
[3] Knap, M. und Turek, J.: ČSSR-Patentanmeldung PV-2531-69.

(50412)

DK 620.178.152:539.211:531.112:666.11.01

Quantitative Aussagen aus Hertzschen Bruchvorgängen in Silicatgläsern

Von Klaus Peter, Mosbach

(Mitteilung aus dem Physikalischen Laboratorium Mosbach*))

(Eingegangen am 23. Februar 1970)

In Kugeleindruckversuchen ergeben sich bei der Erzeugung Hertzscher Kegelbrüche durch das Auftreten anelastischer Effekte materialunabhängige untere Grenzen für den Krümmungsradius, die mit den experimentellen Befunden bei drei ausgewählten Silicatgläsern im Einklang sind. Befriedigende Übereinstimmung mit bruchmechanischen Überlegungen besteht auch in Hinsicht auf die Mantellänge des Kegelbruchs. Die Berechnung einer kritischen spezifischen Bruchenergie führt zu kleineren Werten als bei einachsigen Belastungszuständen.

1. Kritischer Radius des Eindruckkörpers

Die Bildung Hertzscher Kegelbrüche in Eindruckversuchen mit mehr oder weniger kugelförmigen Eindruckkörpern ist eine für spröde Stoffe vertraute Erscheinung. Sind die Krümmungsradien der Eindruckkörper nicht zu klein, gilt die Auerbachsche Beziehung [1]

$$L_c = \varkappa \varrho, \tag{1}$$

L_c = kritische Last zur Auslösung des Kegelbruchs,

*) In Verbindung mit der Universität Karlsruhe (V 137/70).