

DK 532.137:666.1.031.8:666.1.036.5:666.173.036

Zähigkeitsmessungen im Speiserkanal von Glasschmelzwannen

Von WERNER WEISS, Berlin

(Mitteilung aus dem Glasentwicklungslaboratorium der OSRAM GmbH, Berlin)

(Vortrag auf der 41. Glastechnischen Tagung am 9. Mai 1967 in Lübeck)

(Eingegangen am 9. August 1967)

Zähigkeitsmessungen in Glashüttenbetrieben waren bislang nicht üblich. Man beschränkte sich auf Temperaturmessungen. Da die Zähigkeit der Glasschmelze jedoch auch von der Zusammensetzung abhängt, die gewissen Schwankungen unterliegt, ist es zweckmäßig, die Zähigkeit auch in Betriebsöfen laufend zu verfolgen. Primäre Aufgabe ist es, ein Viskosimeter zu entwickeln, das den hohen Beanspruchungen im Betrieb gewachsen ist. Es wird über eine 2 $\frac{1}{2}$ -jährige Erfahrung mit solchen Geräten gesprochen. Die bisherige ununterbrochene Laufzeit beträgt 4 $\frac{1}{2}$ Monate. Meßergebnisse an fünf Speiserkanälen von vier verschiedenen Wannen lassen Schlüsse auf Glashomogenität und Arbeitsweise der Öfen zu. Schließlich gestatten die Messungen, Einflüsse von Zähigkeitsschwankungen auf die Dimensionen von maschinell gezogenem Rohr zu verfolgen und die zugelassene Schwankungsbreite für die Glaszähigkeit im Speiserkanal genau festzulegen.

Für die maschinelle Verarbeitung und die Formgebung des Glases ist die Kenntnis seines Zähigkeitsverhaltens wichtigste Voraussetzung. Die Zähigkeit (gemessen in der absoluten Einheit Poise = $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) am Beginn der Formgebung ist vom Prozeß abhängig: Sie beträgt beim Spinnen 10 bis 20 P, beim Blasen und Pressen 1000 bis 10000 P, beim Ziehen 10⁵ bis 10⁶ P, beim Sintern 10⁶ bis 10⁸ P. Beim Rohrziehen nach dem Danner-Verfahren z. B. hat das Glas an der Pfeifenspitze eine Zähigkeit von etwa 10⁶ P, beim Auflaufen auf die Pfeife 5 · 10³ bis 10⁴ P und im Speiserkanal 10³ P.

Die Überwachung der Konstanz dieser Zähigkeiten während des Betriebes ist für den Prozeß von größter Wichtigkeit. Gewöhnlich beschränkt man sich hierbei jedoch auf die Kontrolle der Glas- oder Ofentemperatur in der Meinung, die Zusammensetzung des Glases sei so konstant, daß allein die Temperatur für die Größe der Zähigkeit verantwortlich sei. Das ist einer der Gründe, weshalb man in den Glasfabriken an vielen Stellen Thermoelemente und Pyrometer findet, aber keine Viskosimeter. Hinzu kommt, daß bisher genügend robuste Viskosimeter im Glashüttenbetrieb nicht ausprobiert worden sind und daß diese Geräte einer gewissen Wartung bedürfen. Die folgende Arbeit soll zeigen, daß ein ausreichend betriebssicheres Gerät entwickelt werden konnte. Laufende Zähigkeitsüberwachung mit diesem Viskosimeter in Speiserkanälen führte zu wichtigen Folgerungen für die Arbeit von Danner-Zügen.

1. Viskosimeter

1.1. Allgemeines

Die Messung der Zähigkeit schmelzflüssigen Glases im Laboratorium ist heute kein Problem mehr. Hierbei macht die genaue Messung der Temperaturen wegen der Kleinheit der Öfen größere Schwierigkeiten als die Messung der Zähigkeiten selbst. Dagegen sind Viskosimeter in Betriebsöfen nicht allgemein eingeführt. Man begnügt sich hier mit Temperaturmessungen, die, wenn es auf die absolute Höhe der Temperatur ankommt, direkt im Glasbad vorgenommen werden. Im Betrieb ist also wegen der Größe der Öfen die Temperaturmessung kein Problem. Die empfindliche Zähigkeitsmessung dagegen ist wegen der hohen Temperaturen, des Schmutzes und der langzeitigen Beanspruchung der Geräte wesentlich schwieriger durchzuführen als im Laboratorium. Aus der Literatur geht hervor, daß die ersten Messungen [1] der Glaszähigkeit in einem Wannenofen 1938 durchgeführt worden sind. Es handelte sich

um ein Rotationsviskosimeter, das jedoch nur 5 h lang in Betrieb war. Später [2, 3] verwandte man versuchsweise Eintauch- und Pendelviskosimeter, die aber keine kontinuierliche Registrierung gestatteten.

1.2. Aufgabenstellung

Im Zusammenhang mit Fragen über Dimensionstoleranzen maschinell gezogener Glasröhren entstand die Aufgabe, die Auswirkung von Zähigkeitsschwankungen im Glasfluß auf die Dimensionen des gezogenen Rohres zu untersuchen und auf Grund dieser Erfahrungen ein Viskosimeter zu entwickeln, das einer Dauerbeanspruchung im Betrieb gewachsen ist.

Die Zähigkeit mußte im Speiserkanal möglichst unmittelbar vor dem Glasauslauf gemessen werden. Wegen der guten Erfahrungen im Laboratorium wurde für die Messung ein Rotationsviskosimeter bevorzugt, dessen Meßwerte bei kontinuierlichem Betrieb auch registriert werden können. Laboratoriumsgeräte zur absoluten Messung der Zähigkeit kommen für den Betrieb jedoch nicht in Frage, da hierbei die bei konstanter Rührerzahl sich einstellenden Reibungsmomente über empfindliche mechanische oder elektrische Geber gemessen werden. Antrieb und Meßkopf sind in einem Gerät vereinigt oder durch eine biegsame Welle miteinander verbunden. Diese Geräte sind nicht ausreichend gegen Verschmutzung und Hitze geschützt und für Dauerbeanspruchung nicht verwendbar.

1.3. Meßgerät

Es wurde deshalb ein von UMSTÄTTER (Bundesanstalt für Materialprüfung) entwickeltes „Fern-Viskosimeter“ verwendet, dessen Meßkopf mit dem Anzeigegerät und dem Schreiber nur über elektrische Zuleitungen miteinander verbunden sind. Das Gerät wurde dem speziellen Verwendungszweck angepaßt¹⁾. Der Rührer ist über ein Kardangelenk starr mit der Achse eines Gleichstrommotors M 35 s Bv 900/a/2 k mit permanenten Feldmagneten²⁾ gekoppelt, dessen Anker-Scheinwiderstand mit wachsendem Drehmoment abnimmt. Sein maximales Drehmoment beträgt 40 pcm. Der Motoranker ist mit OHMSchen Widerständen zu einer Brücke geschaltet, deren Verstimmung von einem empfindlichen Strommesser in μA gemessen wird (Bild 1).

Der Motor kann leicht ausgewechselt und von der Herstellerfirma in vielen Fällen repariert werden. Das Anzeigegerät wird vom Hersteller des Viskosi-

¹⁾ Hersteller: Firma Sommer und Runge, Berlin 41.

²⁾ Hersteller: Firma Fernsteuergeräte, Berlin 47.

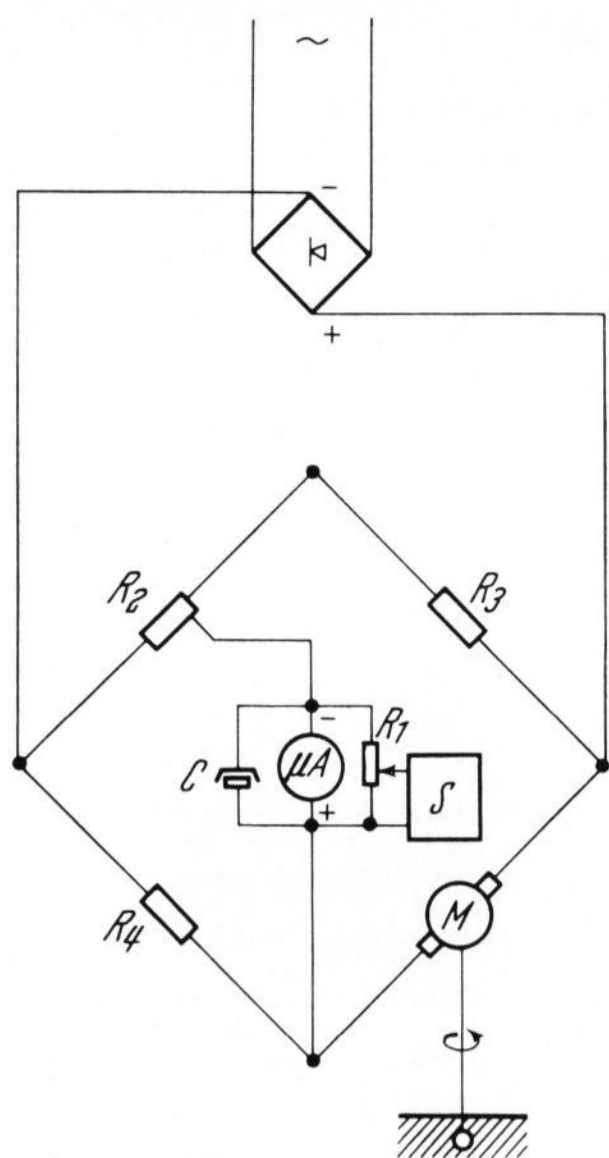


Bild 1. Prinzipskizze des Viskosimeters.

eters bei bekanntem Rührsystem direkt in Zähigkeits-einheiten geeicht. Das Gerät ist auf Eichung angewiesen, da die Drehzahl nicht konstant ist, sondern vom Drehmoment abhängt. Da der Glasfluß sich wie eine ideale Flüssigkeit verhält, ist dies kein Nachteil. Dem Instrument ist eine Dämpfungskapazität von $2000 \mu\text{F}$ parallel geschaltet.

1.4. Rührkörper

Der Rührkörper ist eine 800 mm lange, 4 mm dicke gerade Stange aus Sintertonerde, an deren unterem Ende der eigentliche Tauchkörper aus 70% Pt + 30% Rh angeklemt ist. Er besteht aus einem 15 mm langen und 2 mm dicken zylindrischen Teil und einer Kugel von 7 mm Durchmesser. Die Strömung um den rotierenden Rührer wird nach außen hin nicht begrenzt. Einen solchen Rührer, der 3 Monate (2200 h) lang fortwährend bei etwa 1180°C in Betrieb war, zeigt Bild 2.

Mit ihm wird bei 1000 Poise und 100 Umdrehungen/min ein Reibungsmoment von etwa 10 pcm erzeugt. Für unvorhergesehene Fälle (Einfrieren des Speisers) ist also noch ein Faktor 40:10 vorhanden, um den das Reibungsmoment ansteigen darf, ohne daß der Motor zerstört wird. 0,2 pcm Lagerreibung werden durch einen Nullpunktsteller in der Brückenschaltung ausgeglichen (Bild 1). Durch Verwendung von Spezial-Kugellagern und einer Teflon-Labyrinthdichtung wird die zeitliche Zunahme der Lagerreibung begrenzt. Beim Einsatz von insgesamt sieben Meßmotoren war die maximale nicht kompensierte Lagerreibung etwa 0,3 pcm, die Verfälschung der Zähigkeitsanzeige also etwa + 3%. Der Rührer ist so berechnet, daß bei halbem Eintauchen des zylindrischen Teils Niveauschwankungen des Glasspiegels um ± 1 mm Schwankungen des Reibungsmomentes von nur $\pm 1\%$ hervorrufen. Die Gesamteintauchtiefe des Rührers ist 14,5 mm. Der Hauptanteil des Reibungsmomentes der Kugel entsteht hier 11 mm unter dem Glasspiegel. Der Anteil der Kugel am Gesamt-Reibungsmoment beträgt 92%.

Um die Glaszähigkeit auch in größerer Tiefe ausmessen zu können, wurden Kugelhührer mit 8 mm Durchmesser, 2,5 mm Schaftdurchmesser und 100 mm Schaftlänge verwendet. Die Gesamteintauchtiefe ist hier 95 mm, wobei der geometrisch berechnete Anteil der

Kugel am Gesamt-Reibungsmoment nur 47% beträgt. Er entsteht in 91 mm Tiefe.

1.5. Aufstellung

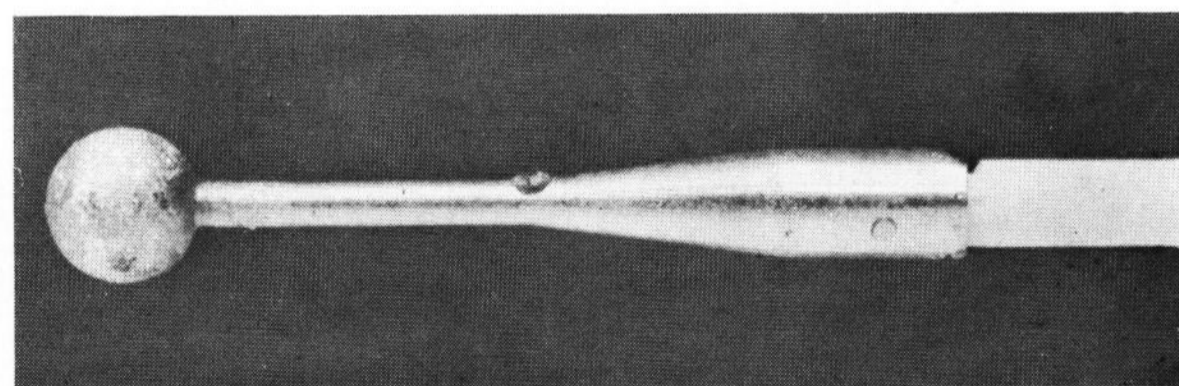
Für den Betrieb am heißen Speiserkanal muß der Motor wassergekühlt werden. Er befindet sich deshalb in einem doppelwandigen Messinggehäuse. Um auch das untere Motorlager vor Strahlungs- und Flammenwirkung zu schützen, ist es von einem wasserdurchflossenen Kühlkorb umgeben. Unterhalb des Kardangelenkes trägt die Tonerdestange zum gleichen Zweck eine Aluminiumscheibe von 75 mm Durchmesser. Die Anordnung ist in Bild 3 zu sehen.

Wie Bild 4 zeigt, ist das ganze Viskosimeter an einem in der Höhe verstellbaren Dreifuß befestigt, der auf die Decke des Speiserkanals gestellt wird. Die Montage des Gerätes zeigt Bild 5. Der Rührstab steckt in einem Deckenloch von 30 bis 50 mm Durchmesser. Die Anordnung der Löcher für zwei Viskosimeter ist in Bild 6 an einem Kanal dargestellt.

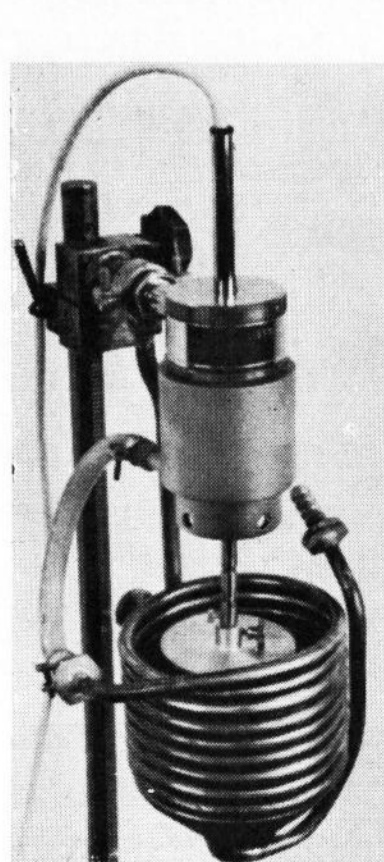
Beim Einrichten muß darauf geachtet werden, daß der Rührstab nicht an den Lochwandungen kleben bleibt und abbricht. Das abgebrochene Teil könnte Störungen im Glasauslauf verursachen. Bis zum Ende einer Versuchsreihe waren sieben Rührkörper in einen Kanal gefallen, die nach Abriß der Wanne alle wiedergefunden wurden. Störungen in der Produktion hatten sich hierdurch nicht ergeben. Beim Einsatz von drei Viskosimetern an fünf Kanälen sind nur zwei kurzzeitige Produktionsstörungen durch Platzen der Wasserschläuche eingetreten. Dies wurde später durch Einbau von Wasserdruckwarneinrichtungen verhindert.

1.6. Strömung

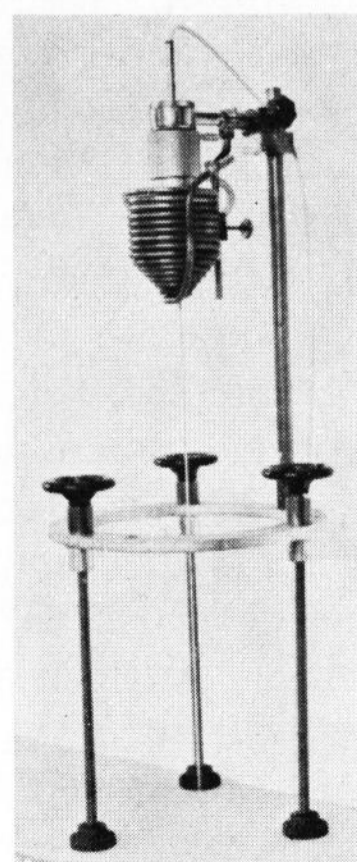
Die freie Rotationsströmung um den Kugelhührer herum erstreckt sich auf eine Kreisscheibe von etwa 40 mm Durchmesser. Die Kanalbreite von 500 mm ergibt deshalb keine meßbare Beeinflussung durch die Wandungen. Dagegen überlagert sich der Kreisströmung, deren Werte entsprechend der Drehzahl der



2)



3)



4)

Bild 2. Rührer nach dreimonatigem Betrieb bei 1180°C .

Bild 3. Viskosimeter (Meßkopf).

Bild 4. Meßanordnung für den Speiserkanal.

Bild 5. Montage des Viskosimeters auf einen Speiserkanal.

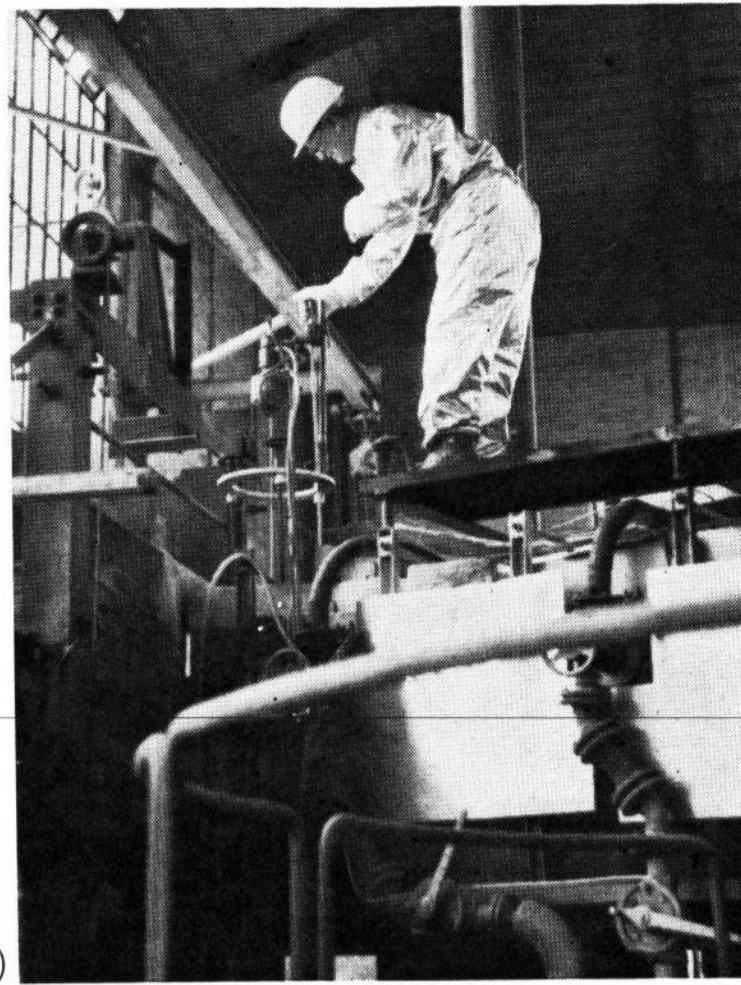
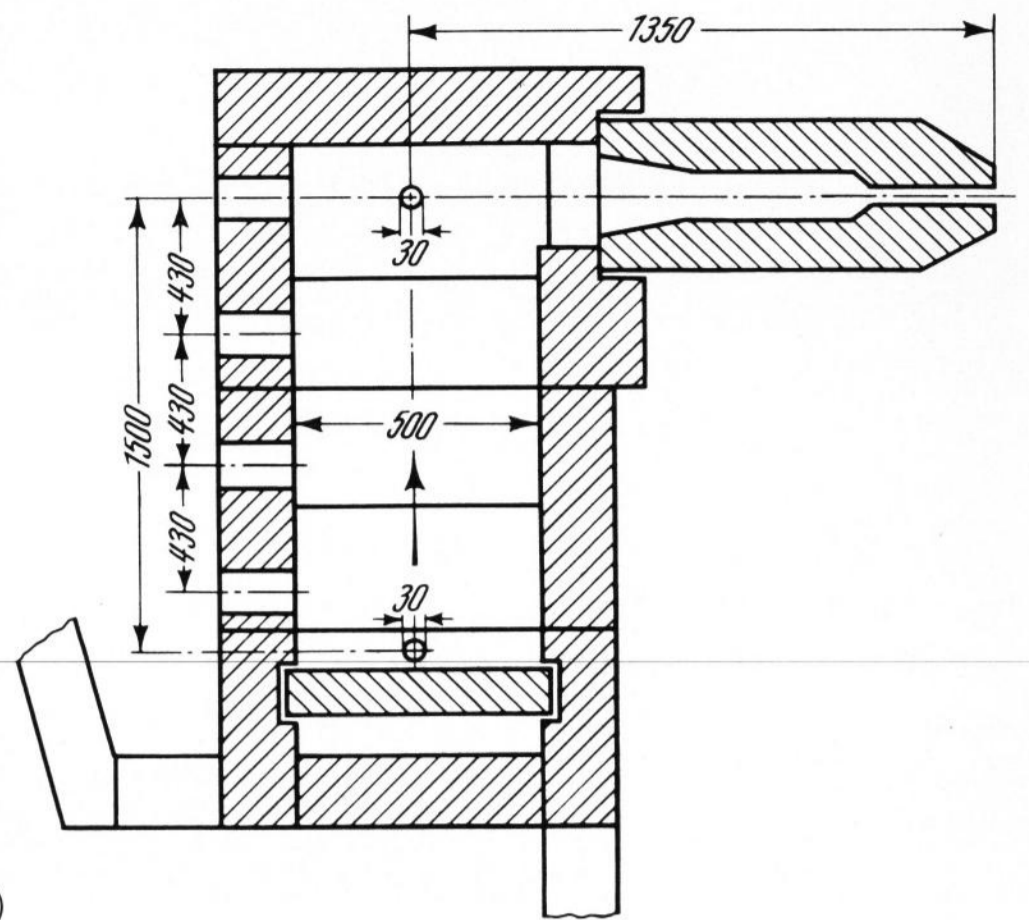


Bild 6. Einbaulage der Viskosimeter im Speiserkanal für einen Danner-Zug.

5)



6)

Kugel von etwa 40 mm/s nach außenhin auf 0 abnehmen, eine lineare Entnahmestromung von einigen cm/s. Diese beeinflusst die Kreisströmung zwar praktisch nicht, da die an der rotierenden Kugel angreifenden linearen Fließkräfte sich gegenseitig aufheben. Sie nimmt aber den Rührstab entsprechend seinem Gewicht und der an ihm im Glasflusse angreifenden Reibungskraft um einige mm mit. Dadurch stellt sich der Rührstab um 2 bis 5° gegen die Motorachse ein. Zum Ausgleich dient das Kardangelenk.

Nach Einstellen des Strömungsgleichgewichtes wird der Motor in Richtung Rührachse nachgestellt, um das Kardangelenk zu entlasten und Störungen der Messung durch dessen Verschmutzung zu vermeiden.

1.7. Schreiber

Für kontinuierliche Messung ist Registrierung der Meßwerte unerlässlich. Es wurde als Schreiber eine Meßstelle eines 12-Punkt-Kompensografen (Druckfolge 45 s) im Meßbereich 8 bis 13 mV gewählt, weil alle wesentlichen anderen Kenngrößen des Ofens und des Röhrenzuges ebenfalls mit diesem Kompensografen registriert wurden. Deshalb kam ein Linienschreiber weniger in Frage. Es sind allerdings auch hiermit Messungen gemacht worden. Zur Anpassung der Meßgröße Zähigkeit an den Schreiber mußten einige kleine Änderungen am Gerät vorgenommen werden. Die Meßspannung wurde am Brückeninstrument so geteilt, daß der Bereich 1000 bis 2000 P sich auf 8 bis 13 mV abbilden ließ (Bild 1). Die mittlere Meßspannung betrug 10 mV. Die Lage der Meßpunkte auf dem Schreiber konnte durch Zuschaltung eines Konstantspannungsgebers Typ S³⁾ mit $\pm 2 \cdot 10^{-3}$ mV ($\pm 0,02\%$ vom Meßwert) zeitlicher Konstanz eingestellt werden. Die Übertragung der Eichwerte vom Brückeninstrument auf den Schreiber geschah mit Hilfe einer weiteren Konstantspannungsquelle durch Skalenvergleich. Anpassung und Eichung erfolgten jeweils für jeden Schreiber und jedes Viskosimeter gesondert.

1.8. Meßgenauigkeit

Die Eichung des Viskosimeters in absolute Zähigkeitseinheiten durch die Herstellerfirma erfolgte mit $\pm 3\%$ absoluter Genauigkeit. Instrumentenfehler, Ablesefehler, Eintauchfehler und Übertragung der Eich-

³⁾ Hersteller: Firma Knick, Berlin 37.

werte auf den Schreiber erhöhen den Fehler auf $\pm 5\%$; bei längerem Betrieb kann er durch Vergrößerung der Lagerreibung, Glasspiegelschwankungen, Schmutz und Kühlwassertemperaturschwankungen auf etwa $\pm 10\%$ ansteigen. Dies entspricht bei normalem Natron-Kalk-Glas im Zähigkeitsbereich um 1000 Poise etwa ± 10 grad absolutem Temperaturfehler.

Der relative Fehler ist dagegen viel geringer und die auflösbare Spannungs-Empfindlichkeit siebenmal größer als die eines Pt/PtRh-Thermoelementes (DIN 43710), wie folgendes Beispiel für Natron-Kalk-Glas zeigt:

Thermoelement 1200 °C	←→	Viskosimeter 1000 P
$\Delta 12$ mV		$\Delta 10$ mV
Empfindlichkeit 0,012 mV/grad		Empfindlichkeit 0,007 mV/P
		1 grad $\Delta 10$ P

$$0,012 \text{ mV} = 0,1\% \quad 0,07 \text{ mV} = 0,7\%$$

Eine Spannungsänderung des Thermoelementes um 0,1% entspricht also einer Spannungsänderung von 0,7% am Viskosimeter. Der bei absoluten Viskosimetern mit konstanter Drehzahl mögliche Empfindlichkeitsfaktor 10 gegenüber dem Thermoelement ist hier nicht zu erreichen, da keine Linearität zwischen Reibungsmoment und Ausgangsspannung besteht.

Die Auflösbarkeitsgrenze der Viskosimeterspannung wird durch den Motorkollektor und Schwankungen der Eintauchtiefe des Rührers bestimmt. Der Motorkollektor gibt bei vorhandener Anpassung Meßspannungsschwankungen von höchstens $\pm 0,005$ mV = $\pm 0,05\%$. Da die Glasstandshöhe im Kanal auf $\pm 0,2$ mm konstant geregelt wird, kann sich das Reibungsmoment entsprechend den Dimensionen des Rührers durch Schwankungen der Eintauchtiefe um nicht mehr als $\pm 0,2\%$ ändern. Die untere Grenze der im Speiserkanal bei 1000 P meßbaren Zähigkeitsschwankung ist also etwa 2 Poise. Dies entspricht auf den folgenden Meßkurven etwa 0,4 Skalenteilen.

1.9. Lebensdauer

Der in die Schmelze eintauchende Rührer kann bei 1200 °C in oxydierender Ofenatmosphäre mit Sicherheit ein Jahr lang arbeiten. In reduzierender Atmosphäre ist seine Lebensdauer selbst in Natron-Kalk-Glas auf wenige Stunden beschränkt. Bild 7 zeigt einen Rührer, der 2 h lang in der reduzierenden Atmosphäre des Kanals oberhalb des Glasspiegels hing.

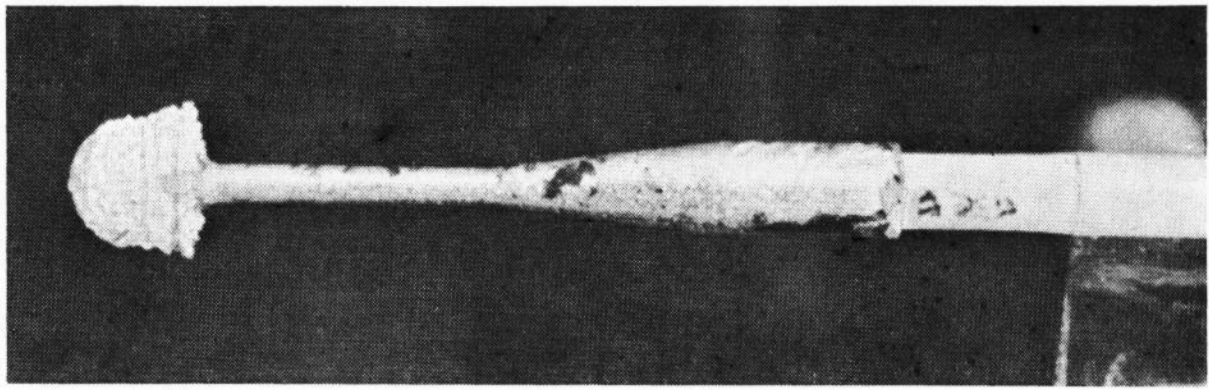


Bild 7. Rührer nach 2 h Einsatz oberhalb des Glasspiegels in reduzierender Atmosphäre.

Gefährdeter ist der lange dünne Sintertonerdestab. Bei unvorsichtigem Einrichten des Viskosimeters auf der heißen Kanaldecke kann er leicht brechen. Er muß auch vor Spritz- und Kondenswasser geschützt werden. Häufige Ursache seiner Zerstörung sind Verstaubungsreste und Kondensate, die sich am Rührstab in der oberen Region des Meßloches absetzen. Der Versuch, ihn während des Betriebes zu reinigen, führt meist zum Bruch. So wurden mit drei Viskosimetern innerhalb von $2\frac{1}{2}$ Jahren bei einer Gesamtbetriebszeit von 980 Tagen zwölf Rührer mit Stab verbraucht. Diese Zahl muß kein Maßstab für den Einsatz des Gerätes im Betrieb sein. Durch gute Zugänglichkeit des Meßloches können die Verluste mit Sicherheit auf einen Bruchteil dessen herabgesetzt werden. Maßgebend für die Laufzeit des Viskosimeters ist jedoch die Lebensdauer des Motors. Sie wird vom Hersteller mit > 10000 Betriebsstunden unter normalen Bedingungen angegeben. Durch Verschmutzung der Lager, Kondenswasserbildung, Spritzwasser, Aussetzen der Kühlung und Überlastung ging während der Gesamtbetriebszeit von 980 Tagen ein Motor verloren, und an sechs Motoren mußten zehn Reparaturen ausgeführt werden. Diese Zahl läge erheblich niedriger, wenn gleich zu Beginn der Versuche eine geeignete Lagerabdichtung des Motors und Kontrollgeräte für den Kühlwasserdruck zur Verfügung gestanden hätten. So schwankte die ununterbrochene Laufzeit eines Gerätes zwischen wenigen Stunden und $4\frac{1}{2}$ Monaten. Für die verbesserten Geräte an leichter zugänglichen Meßstellen werden Laufzeiten bis zu einem Jahr erwartet.

2. Versuche und Ergebnisse

Drei Viskosimeter wurden an fünf verschiedenen Speiserkanälen von vier unterschiedlichen Natron-Kalk-Glas-Wannen installiert. Die Glasart war in allen Fällen die gleiche. Die Registrierung erfolgte auf drei verschiedenen 12-Punkt kompensografen und einem Linienschreiber.

2.1. Zähigkeit und Temperatur

Im allgemeinen werden die Schwankungen der Zähigkeit denen der Temperatur entsprechen. Abweichungen von diesem Zusammenhang entstehen durch Änderungen in der Glaszusammensetzung. Diese Verhältnisse sind an drei Kanälen untersucht worden. In den beiden ersten Fällen wurde durch das Meßloch neben die Rührachse ein Pt/PtRh-Thermoelement eingeführt, dessen Schweißstelle wie der Rührer etwa 15 mm in die Schmelze eintauchte. Der Abstand beider Sonden voneinander betrug 60 mm. Bild 8 zeigt Rührer (Mitte) und Element (links) im Kanal.

Einen Ausschnitt aus dem entsprechenden Registrierstreifen zeigt Bild 9. Es verdeutlicht die höhere Empfindlichkeit der Viskosimetermessung gegenüber der Temperaturmessung. Man erkennt die Abnahme der

Glastemperatur von 1156 auf 1144 °C und die gleichzeitige Vergrößerung der Zähigkeit von 1500 auf 1700 P (13%).

Wenn man die gemessenen Zähigkeiten über bekannte Labormessungen auf Temperaturen umrechnet, diese mit den gemessenen Temperaturen vergleicht und beide über eine lange Zeit verfolgt, erhält man einen Kurvenzug, von dem Bild 10 einen Ausschnitt zeigt. Hier laufen beide Kurven nicht immer nebeneinander her, was eindeutig auf Zusammensetzungsschwankungen hinweist. Rechnerisch kann man diesen Einfluß durch Differenzbildung der gleichzeitigen Temperaturen, Mittelung der Differenzen und Berechnung der Standardabweichung über den beobachteten Zeitraum ermitteln.

In diesem Falle eines unregelmäßigen Kanals mit 11,3 t/24 h Durchsatz bei 1000 kg/m² 24 h Schmelzleistung der Wanne ergibt sich für 7 Tage:

$$\overline{\Delta T} = 0 \text{ grad}; \quad \sigma = \pm 2,7 \text{ grad.}$$

Die maximale Zähigkeitsschwankung $\Delta \eta_{\max.}$ ist $\pm 8\%$. Dem Wert für σ entspricht eine Schwankung des Alkaligehaltes des Glases um $\pm 0,08$ Gew.-% oder Schwankung seines Tonerdegehaltes um $\pm 0,13$ Gew.-%. Der in Bild 10 hervorgehobene Bereich korrespondiert mit dem Registrierstreifen im Bild 9. Bild 11 zeigt einen Ausschnitt einer 9-Tage-Beobachtung der Kurvenzüge für Zähigkeitstemperatur und Thermoelement-Temperatur an einem unregelmäßigen Kanal mit 6,4 t/24 h Durchsatz und 600 kg/m² 24 h Wannenschmelzleistung.

Die errechneten Werte sind:

$$\overline{\Delta T} = -1 \text{ grad}; \quad \sigma = \pm 3,2 \text{ grad}; \quad \Delta \eta_{\max.} = \pm 17\%.$$

Außer dem unruhigen Verlauf beider Kurven bemerkt man, daß die im Glasbad gemessenen mit den im Feuerraum gemessenen Vorkanal-Temperaturen weder absolut noch relativ übereinstimmen. Die Differenzen sind nicht immer gleich, sondern schwanken zwischen 8 und 25 grad.

Bild 12 zeigt einen Meßstreifen eines temperaturgeregelten Kanals, Bild 13 einen Ausschnitt mit den beiden Temperaturkurven. Bei diesem Kanal mit 20 t/24 h Durchsatz und 900 kg/m² 24 h Wannenschmelzleistung ergibt sich in 14 Tagen:

$$\overline{\Delta T} = +42 \text{ grad}; \quad \sigma = \pm 2,1 \text{ grad}; \quad \Delta \eta_{\max.} = \pm 5\%.$$

Die Glasoberflächentemperatur wurde hier mit einem Gesamt-Strahlungspyrometer gemessen, das in Glasflußrichtung 450 mm hinter der Viskosimeter-Meßstelle eingebaut war. Die Verschiebung zwischen beiden Meßwerten beträgt daher etwa 1 min. Sie macht sich bei dem hier aufgetragenen Zeitmaßstab nicht mehr bemerkbar. Das Pyrometer war nicht auf absolute Temperaturen geeicht worden.

2.2. Zähigkeitsmessungen mit Linienschreiber

Der Vollständigkeit halber gibt Bild 14 einen Teil eines Zähigkeits-Registrierstreifens wieder, der von einem Linienschreiber geschrieben wurde. Er ist zwar für Betriebszwecke ausreichend, jedoch nicht optimal an das Meßproblem angepaßt. Der Vorteil des Linienschreibers, kontinuierlich zu schreiben, geht hier durch den geringen Vorschub von 20 mm/h verloren, da auch hier nur Schwankungen von etwa 0,6 min Dauer aufgelöst werden. Diese Messung wurde an einem unge-

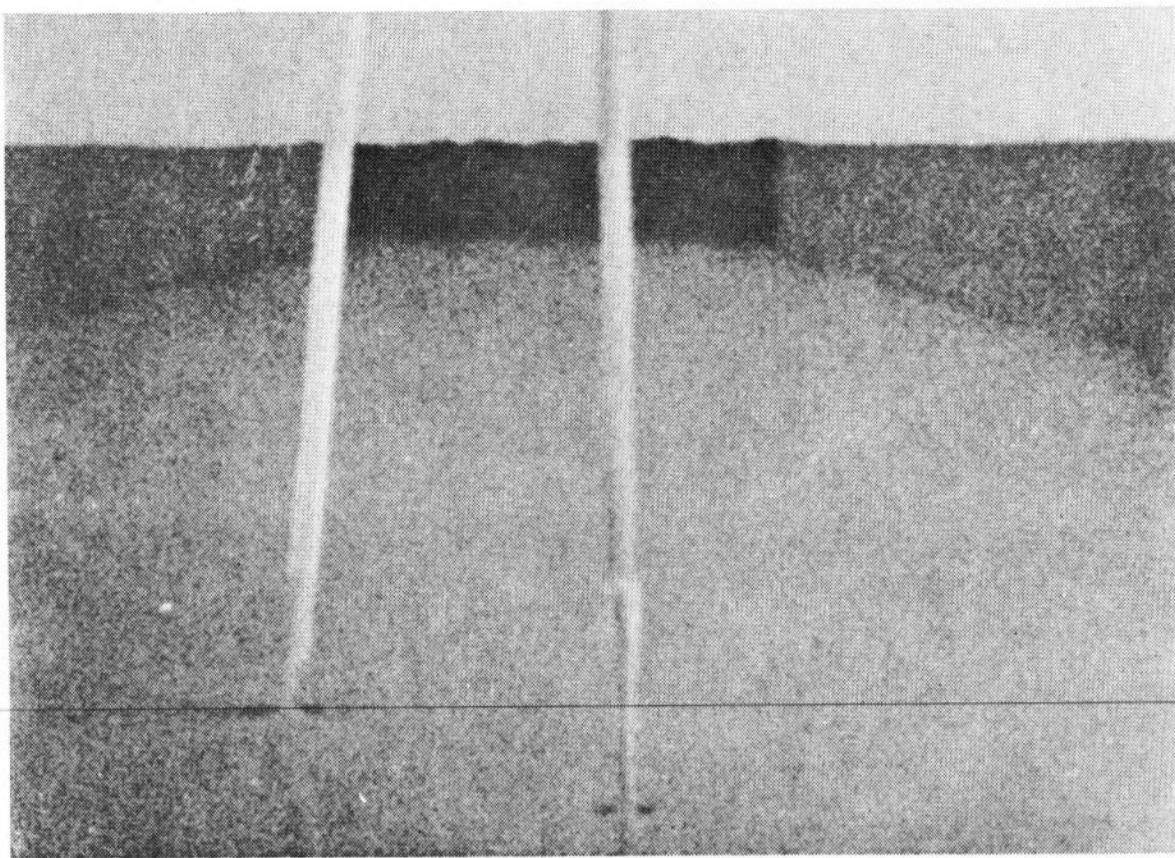


Bild 8. Tauchelement und Rührer im Glasfluß.

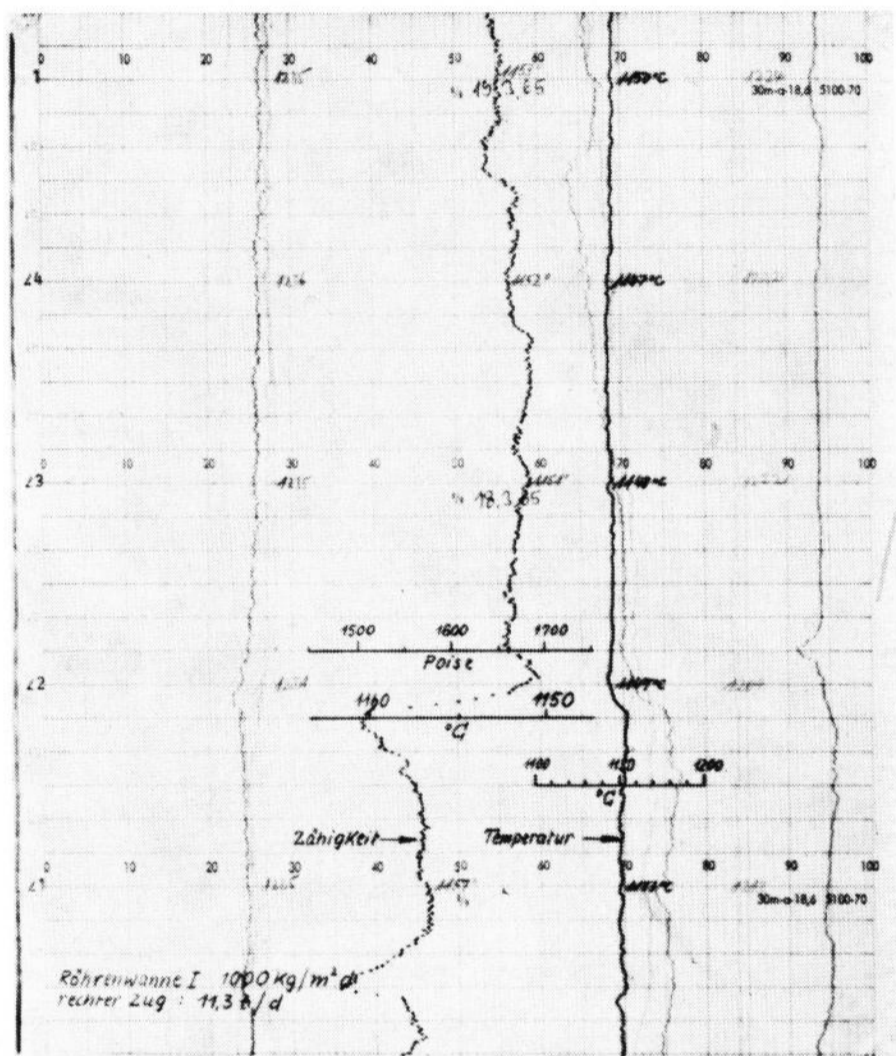


Bild 9. Zähigkeits- und Temperaturmessung in einem unregulierten Speiserkanal.

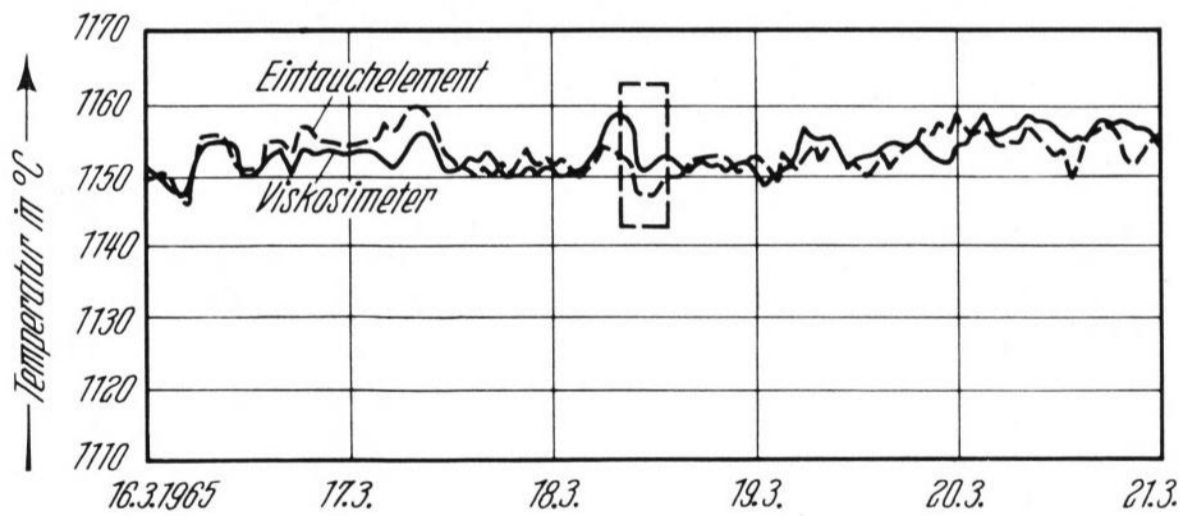


Bild 10. Wahre Temperatur und Viskositätstemperatur in einem unregulierten Kanal (Wanne I).

$$\Delta T = T_{\text{Visk.}} - T_{\text{Elem.}}; \overline{\Delta T} = 0; \sigma = \pm 2,7 \text{ grad};$$

$$\Delta \eta_{\text{max.}} = \pm 8\%; \text{ Durchsatz } 11,3 \text{ t/24 h};$$

$$\text{Schmelzleistung } 1000 \text{ kg/m}^2 \text{ 24 h.}$$

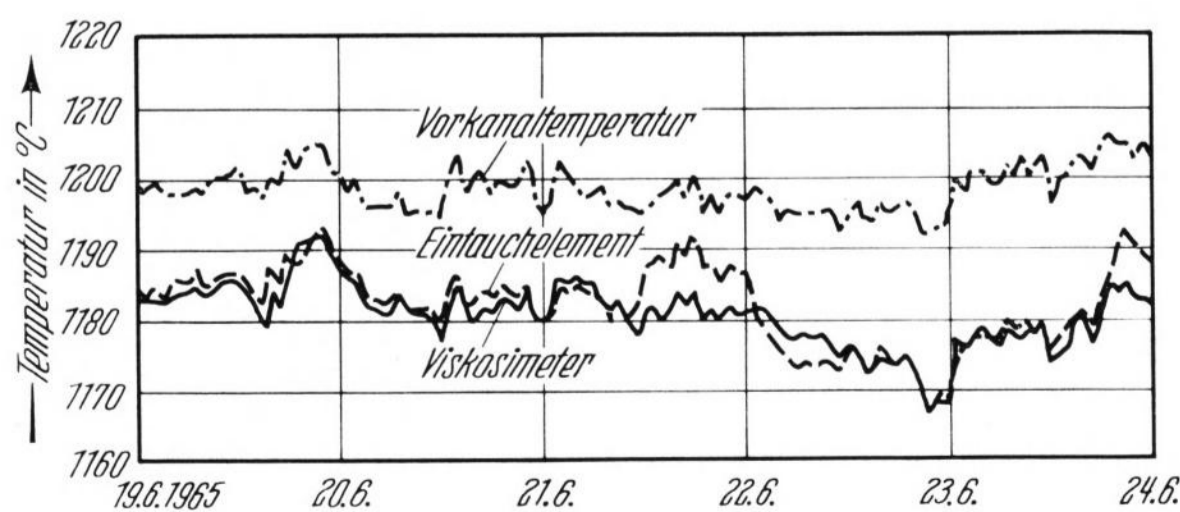


Bild 11. Wahre Temperatur und Viskositätstemperatur in einem unregulierten Kanal (Wanne BII).

$$\Delta T = T_{\text{Visk.}} - T_{\text{Elem.}}; \overline{\Delta T} = -1 \text{ grad}; \sigma = \pm 3,2 \text{ grad};$$

$$\Delta \eta_{\text{max.}} = \pm 17\%; \text{ Durchsatz } 6,4 \text{ t/24 h};$$

$$\text{Schmelzleistung } 600 \text{ kg/m}^2 \text{ 24 h.}$$

regulierten Kanal gemacht. Der Durchsatz war 6 t/24 h, die Schmelzleistung der Wanne 680 kg/m²·24 h.

2.3. Gleichzeitige Messung mit zwei Viskosimetern

Um die Arbeitsweise eines Speiserkanals zu studieren, kann man mehrere Viskosimeter anordnen. In diesem Falle wurden zwei Geräte an den in Bild 6 bezeichneten Stellen installiert. Der Abstand der Löcher voneinander beträgt 1500 mm. Dies bedeutet, daß man eine Zeitdifferenz von einigen Minuten berücksichtigen muß. Bild 15 zeigt, daß das Glas an der Stelle des vorderen Loches 1100 P, am hinteren Loch um 1600 P zäh ist. Dabei ist es interessant, die Schwankungen zu beobachten. Während das Glas aus der Arbeitswanne mit $\pm 2\%$ relativ gleichmäßig fließt, schwankt die Zähigkeit in der Höhe des letzten Kanalbrenners um $\pm 4\%$. Daraus ist zu schließen, daß die unregelmäßige Kanalbeheizung das Glas unruhiger macht, als es im Ofen produziert wird. Man sieht auch, daß den ausgeprägten Schwankungsspitzen der Zähigkeit im hinteren Loch keine Spitze im vorderen Loch entspricht, auch dann nicht, wenn eine Zeitdifferenz von einigen Minuten berücksichtigt wird. Auch dies spricht dafür, daß die Schwankungen nicht aus der Arbeitswanne, sondern von der Kanalheizung herkommen.

Bild 16 zeigt zwei Zähigkeitsmeßstreifen von zwei Kanälen der gleichen Wanne. Hierbei läuft der linke Kanal mit geringerem Durchsatz heißer als der rechte mit höherem. Dies ist auf verschiedene Auslaufquerschnitte und die Eigenart des Danner-Prozesses zurückzuführen. Einige Schwankungen in der Zähigkeit laufen hier gleichzeitig und gleichsinnig. Der Grund liegt darin, daß alle Kanalbrenner aus der gleichen Gasleitung ge-

Bild 12. Zähigkeit in einem regulierten Speiserkanal.

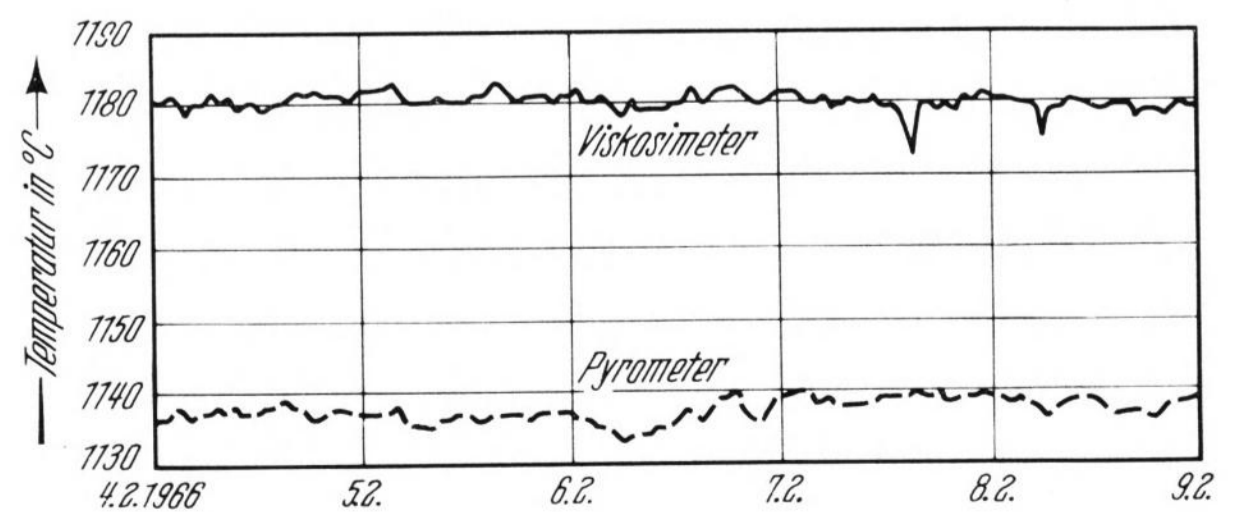
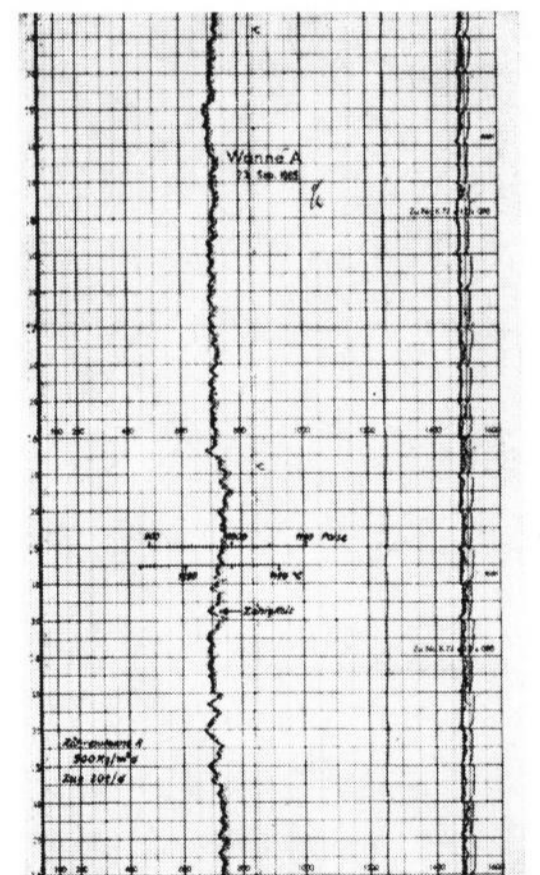


Bild 13. Wahre Temperatur und Viskositätstemperatur in einem regulierten Kanal (Wanne A).

$$\Delta T = T_{\text{Visk.}} - T_{\text{Rad.}}; \overline{\Delta T} = + 42 \text{ grad}; \sigma = \pm 2,09 \text{ grad};$$

$$\Delta \eta_{\text{max.}} = \pm 5\%; \text{ Durchsatz } 20 \text{ t/24 h};$$

$$\text{Schmelzleistung } 900 \text{ kg/m}^2 \text{ 24 h.}$$

Spitzen sind jeweils um etwa 10 min verschoben. Solange braucht das Glas, um vom Ort des Viskosimeters an den Ort der Rohrdurchmesser-Meßeinrichtung zu gelangen.

Bild 19 ist ein Ausschnitt aus einem Original-Meßstreifen, auf dem die Wirkung einer Zähigkeitsveränderung auf Durchmesser und Wanddicke des Rohres bei sonst konstanten Ziehbedingungen zu sehen ist. Es handelt sich hier um einen Teil systematischer Untersuchungen über die Arbeitsweise eines Danner-Zuges. Die Auswertung aller Messungen ergibt lineare Zusammenhänge zwischen Zähigkeit einerseits und Durchmesser sowie Wanddicke andererseits. Danach vermindert sich der Durchmesser von 37,3 auf 35,8 mm, also um 4%, und die Wanddicke von 0,800 auf 0,755 mm, also 6%, der Rohrquerschnitt um 10%, wenn die Zähigkeit um 10% erhöht wird. Die Aufteilung der Querschnittsänderung in Änderung der Wanddicke und Änderung des Rohrdurchmessers ist vom Ziehwerkzeug abhängig.

3. Zusammenfassung

Zur Kontrolle der Arbeitsweise von fünf Speiserkanälen werden Betriebsviskosimeter eingesetzt, deren Meßwerte bei 1000 bis 1500 P Zähigkeit auf ± 2 P, d. h. 0,2% genau gemessen werden. Die absolute Genauigkeit beträgt $\pm 10\%$. Die bisher erreichte maximale Lebensdauer ist 4,5 Monate. Die Messungen zeigen Zähigkeitsschwankungen bis zu $\pm 17\%$ bei unregelmäßigen, bis zu $\pm 5\%$ bei temperaturgeregelten Kanälen. Statistische Auswertung von Zusammensetzungsschwankungen im Glase bei konstanter Temperatur ergeben als Standardabweichung für die Zähigkeit Werte um $\pm 3\%$. Einsatz von Viskosimetern beim maschinellen Röhrenziehen führen zu quantitativen Beziehungen zwischen den Schwankungen der Glaszähigkeit und denen der Rohrabmessungen. Die erprobten Viskosimeter werden zum Einsatz in den Betriebsöfen empfohlen.

Der Autor dankt seinem Mitarbeiter, Herrn HEINZ WALTER HILLER, für die Durchführung der Versuche und der notwendigen Reparaturen.

4. Literatur

- [1] KASANSKIJ, M. S.: Die Anwendung eines dynamischen Viskosimeters bei einer Betriebswanne. *Stekl. Prom.* 14 (1938) Nr. 10, S. 27–29. [Ref. *Glastechn. Ber.* 17 (1939) S. 52.]
KUMANIN, K. G.: Über die Anwendung eines Viskosimeters bei Wannenöfen. *Stekl. Prom.* 15 (1939) Nr. 1, S. 19–21. [Ref. *Glastechn. Ber.* 17 (1939) S. 153.]
- [2] POOLE, J. P.: Molten glass viscosity measuring apparatus. USA.-Pat. Nr. 2679749. 1. 6. 1954. [Ref. *Glastechn. Ber.* 29 (1956) S. P 8.]
- [3] OCHOTIN, M. V., VILENSKAJA, E. I. und TUSIKOV, A. I.: Über Verfahren zur Messung der Zähigkeit von Glasmassen in Schmelzöfen. (Orig. russ.). *Steklo i Keram.* 19 (1962) Nr. 5, S. 12–14. [Ref. *Glastechn. Ber.* 36 (1963) S. 415.] (46396)

DK 621.317.799:531.717.1:666.15:666.1.036.4-55

Meßeinrichtung zur kontinuierlichen Dickenkontrolle bei Flachglas

VON RAINER KIENLE UND KARL HERMANN BOLEY, Porz am Rhein

(Mitteilung aus der Rheinischen Ziehglas AG, Porz am Rhein)

(Eingegangen am 1. September 1967)

Ein besonderes Charakteristikum des Tafelglases ist die Welligkeit, die sich teils mehr oder weniger stark ausgeprägt quer zur Ziehrichtung bemerkbar macht. Diese Welligkeit spiegelt Dickenänderungen wieder, die durch Viskositätsunterschiede in dem Bereich, in dem das Glasband seine Form annimmt, entstanden sind. Durch lokale Temperaturänderungen könnte eine gleichmäßige Viskositätsverteilung quer zur Ziehrichtung erreicht werden. Dies setzt eine genaue Dickenmessung quer zur Ziehrichtung voraus. Unter den möglichen Meßmethoden wählten die Autoren das Meßverfahren mit induktiven Wegaufnehmern aus, weil bei dieser Methode sowohl mit großer Geschwindigkeit gemessen werden kann, als auch kurzzeitige Dickenänderungen in ihrer vollen Größe erfaßt werden. Die induktiven Wegaufnehmer wurden in ein handliches, tragbares Gerät gebaut, welches eine Messung während des Maschinenlaufes am Glasband ermöglicht.

Tafelglas unterscheidet sich von Spiegelglas durch die leicht wellige Struktur der Oberfläche. Bedingt durch Viskositätsunterschiede des Glases entlang der Zwiebel über die Blattbreite entstehen lokal unterschiedliche Blattdicken. Durch eine Beeinflussung der Kühlung an diesen Stellen wird versucht, die Glasoberflächen möglichst plan und parallel zu formen. Diese Regelung setzt allerdings eine gute Kenntnis dessen voraus, was geregelt werden soll. Im allgemeinen wird heute die Dickenverteilung durch Abtasten des Glasbandes mit einer Mikrometerschraube ermittelt. Es werden alle 5 bzw. 10 cm die Dicken gemessen, wobei nicht immer Minimum und Maximum erfaßt werden. Es kann durchaus der Fall sein, daß bei einer Probe die Meßwerte gerade die Mittelwerte der Dickenschwankung bilden, daß also eine plane Fläche vorgetäuscht wird, wo es sich in Wirklichkeit um ein ausgeprägt welliges Glas handelt. Außer diesem methodischen Fehler kann es zu Ablese- und Übertragungsfehlern kommen.

Es mußte also eine Methode gefunden werden, die eine einfache kontinuierliche Registrierung der Dickenverteilung erlaubt. Eine optische Messung über die Transmission schied aus, da der Absorptionskoeffizient bei Tafelglas nicht genügend konstant ist und da eine Messung am warmen Schacht durch thermische Luftschlieren verfälscht würde.

Möglich wäre diese Messung mit γ -Strahlen oder Neutronen. Jedoch war zu der Zeit die Meßeinrichtung hierfür zu kostspielig, zumal diese Messung an allen Maschinen zu erfolgen hatte.

Als brauchbare Lösung bot sich das induktive Verfahren an.

1. Elektrischer Aufbau

Mit induktiven Wegaufnehmern lassen sich in Verbindung mit Trägerfrequenz-Meßbrücken statische und dynamische Wegänderungen messen.

Verwendet wurde ein Wegaufnehmer vom Typ PR 9314/01 (Philips). Er besteht aus einer induktiven