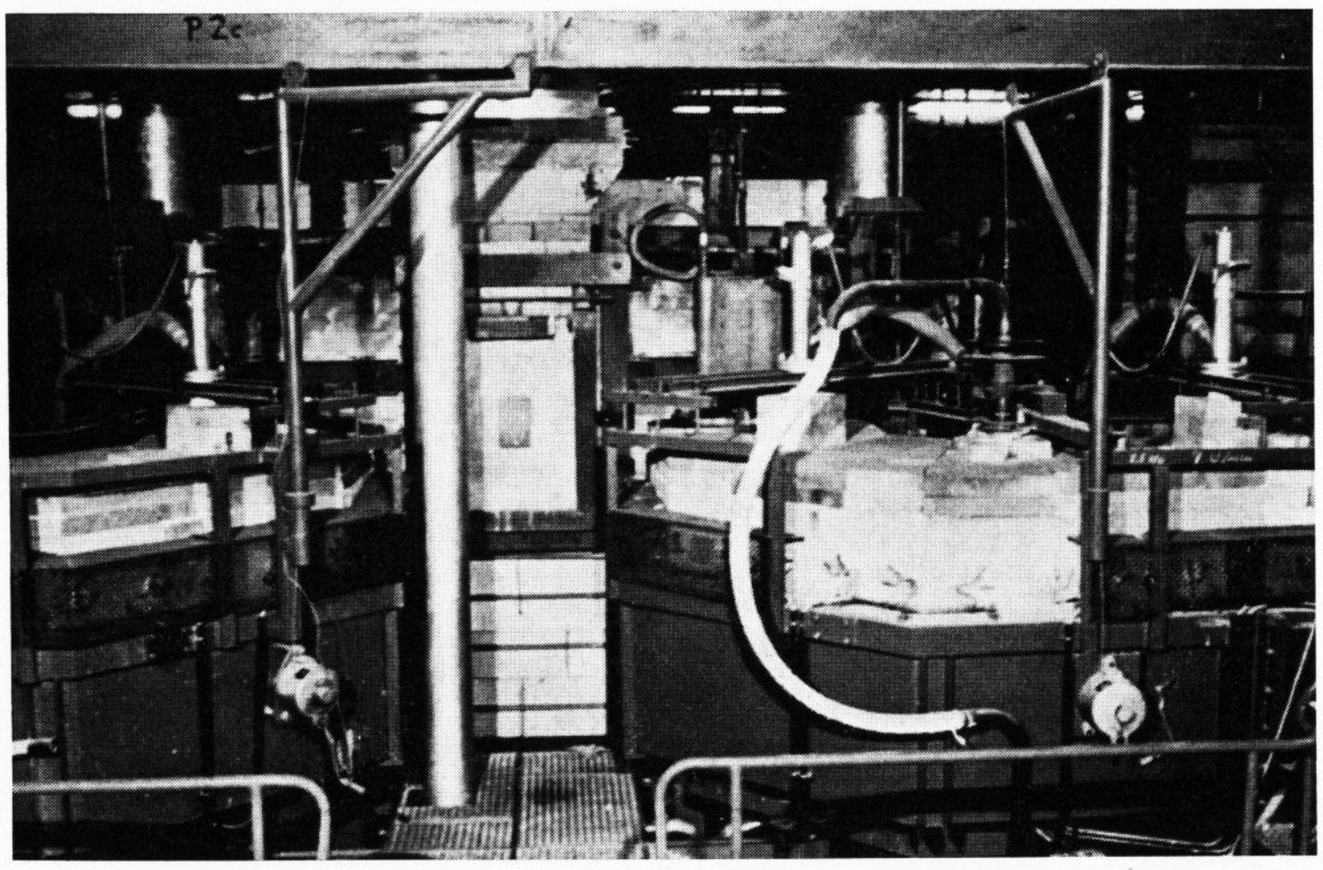

Bild 9. Gesamtanlage mit abgenommenem Schutzkäfig.

Um bei dieser hohen Ansprechempfindlichkeit Überschwingungen zu vermeiden, muß mit stark gedämpfter Regeleinstellung gearbeitet werden.

Für ein einwandfreies Arbeiten des Speisers sollte die Heizleistung bei etwa 15 bis 20% liegen. Nur dann können größere Ausschläge nach unten und oben (bei wärmerem Glas) ausgeglichen werden. An Bild 8 soll nochmals gezeigt werden, wie schnell sich die elektrische Heizung auf verschiedene Betriebszustände einstellen läßt. Es wird hierbei ein recht grober Eingriff in den gesamten Wärmehaushalt des Vorherdes gezeigt, wie er sich bei Arbeiten an der Pfeife und am Speiservorherd selbst ergeben hat.

6. Investitionsaufwand

Abschließend seien noch ein paar Zahlen angegeben, die den Aufwand für eine elektrische Speiserkanalheizung zeigen. Die vollautomatische Ausführung erfordert eine Investition von 65000 DM. Nimmt man eine Ausführung, die nur von Hand einstellbar ist, reduziert sich der Aufwand auf 54000 DM. Die entsprechenden Werte bei der Gasheizung lauten dagegen 52000 bzw. 42000 DM. Bild 9 vermittelt einen Eindruck von der Gesamtanlage, die Anschlüsse der Heizstäbe sind im Betrieb durch Käfige abgedeckt und nur am rechten Vorherd bei abgenommenem Käfig deutlich zu erkennen. (51773)

DK 666.1.031.74:666.1.031.5:621.365.69:621.3.036.6

Verfahren zur direkten Beheizung von Speiservorherden mit in die Schmelze eintauchenden Elektroden

Von Heiner J. Strube, Leigh-on-Sea (England)

(Eingegangen am 19. Januar 1970)

Als erster Schritt zur direkten Beheizung wurden Zusatzheizsysteme mit in die Glasschmelze durch die Seitenwandungen oder den Kanalboden eintauchenden Elektroden entwickelt. Vor wenigen Jahren wurde dann ein Standardsystem entworfen, das mit geringen Abweichungen in gleicher Form bei gleicher elektrischer Leistung in fast allen gas- oder ölbeheizten Speiservorherden kurzfristig eingebaut werden kann. Die verbesserte thermische Homogenität des zur Verarbeitung kommenden Glases führte zur Verbesserung der Wanddickenverteilung und Erhöhung der Maschinengeschwindigkeit.

Systeme mit höherer elektrischer Energiezufuhr werden als vollelektrisch beheizte Speiser bezeichnet, wenn Öl- oder Gasheizung oberhalb des Glasspiegels nur noch zum Ausgleich der sonst vorhandenen Strahlungsverluste dienen. Zur Kompensation der Wandverluste werden sogenannte Heizmatten verwendet, welche die thermische Homogenität, wie sie durch Elektrodensysteme erzeugt wird, bis in die Speiserschüssel aufrechterhalten. Aufbau, Steuerung und Leistungsaufnahmen der genannten Systeme werden in der vorliegenden Arbeit beschrieben.

Viele Verbesserungen der gebräuchlichen Speisertypen sind auf die Forderungen nach höheren Maschinengeschwindigkeiten, besserer Glasqualität, geringerem Stückgewicht und genauerer Kontrolle des Vorherdbetriebes zurückzuführen. Diese Entwicklung reicht aber bis jetzt noch nicht aus. Insbesondere für die Herstellung von sehr dünnwandigen Hohlglasgegenständen muß das Prinzip der Speiservorherdbeheizung grundsätzlich geändert werden, um mit der Entwicklung der Glasproduktion Schritt halten zu können.

Die bekannten Nachteile bei öl- oder gasbeheizten Speisern für die Herstellung von Kalk–Natron-Glas sind: 1. Die Gesamtwärmeübertragung erfolgt in senkrechter Richtung durch die Oberfläche des Glases. 2. Die Wandverluste erzeugen vertikale und horizontale Temperaturgradienten in der Glasschmelze. Das erste Problem kann durch Einführung von Wärmeenergie direkt in das Glasbad gelöst werden, während die Wandverluste durch sogenannte Heizmatten kompensiert werden können. Darauf soll später noch eingegangen werden.

Bei der elektrischen Speiserbeheizung unterscheidet man zwischen Speiserzusatzheizsystemen und den vollelektrisch beheizten Speisern.

1. Speiserzusatzheizung

In Speisern mit konventioneller Beheizung wurden z. B. bei grünem Flaschenglas Temperaturunterschiede von 80 bis 125 grd bei einem Glasstand von 15 bis 18 cm, bei braunem Flaschenglas wurden Temperaturunterschiede von 35 bis 50 grd bei demselben Glasstand und bei weißem Hohlglas bis zu 40 grd in vertikaler

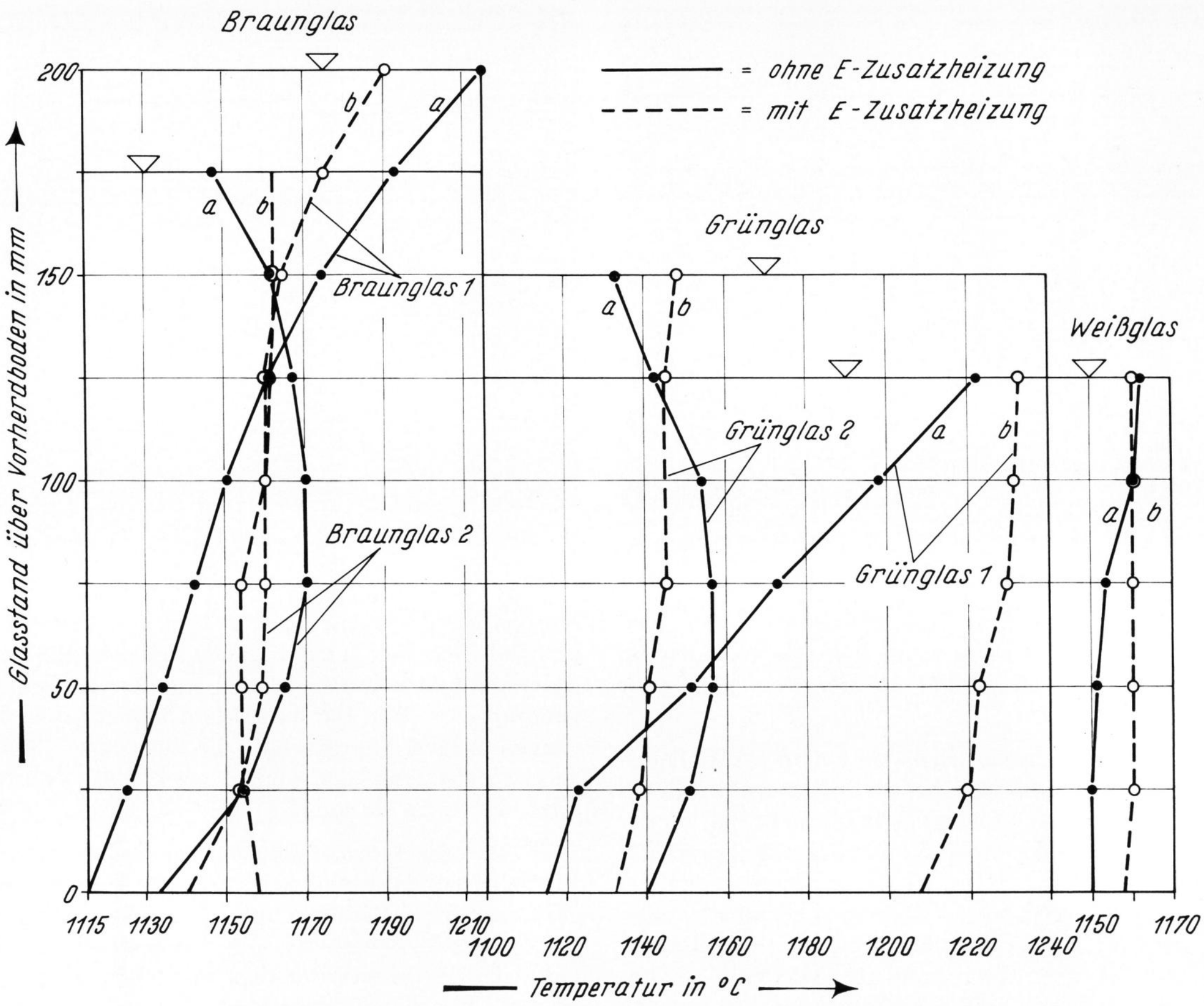

Bild 1. Gemessene Temperaturverteilung in Speiservorherden mit und ohne Elektro-Zusatzheizung.
Braunglas 1, a) 0,3-l-Flaschen; 198 g; 68 Schnitt/min; Speiserkopftemperatur 1179 °C.
Braunglas 1, b) 0,25-l-Flaschen; 285 g; 50 Schnitt/min; Speiserkopftemperatur 1175 °C; elektrische Heizleistung 6,43 kW.
Braunglas 2, a) 0,5-l-Flaschen; 360 g; 2 × 46 Schnitt/min; Speiserkopftemperatur 1110 °C.
Braunglas 2, b) 0,5-l-Flaschen; 369 g; 2 × 46 Schnitt/min; Speiserkopftemperatur 1118 °C; elektrische Heizleistung 2,37 kW.
Grünglas 1, a) Fläschchen; 90 g; 2 × 33 Schnitt/min; Speiserkopftemperatur 1206 °C.
Grünglas 1, b) Fläschchen; 90 g; 2 × 33 Schnitt/min; Speiserkopftemperatur 1207 °C; elektrische Heizleistung 3,77 kW.
Grünglas 2, a) Flaschen; 550 g; 50 Schnitt/min; Speiserkopftemperatur 1158 °C.
Grünglas 2, b) Flaschen; 550 g; 50 Schnitt/min; Speiserkopftemperatur 1158 °C; elektrische Heizleistung 2,43 kW.
Weißglas a) Fläschchen; 145 g; 2 × 54 Schnitt/min; Speiserkopftemperatur 1153 °C.
Weißglas b) Fläschchen; 145 g; 2 × 54 Schnitt/min; Speiserkopftemperatur 1156 °C; elektrische Heizleistung 2,20 kW.

Richtung ermittelt. Bild 1 zeigt gemessene Temperaturgradienten in Speiserkanälen mit und ohne elektrische Zusatzheizung. Entsprechendes wurde in horizontaler Richtung gemessen. Frühere Versuche zeigten, daß diese Temperaturunterschiede auf etwa 10% ihres Wertes gesenkt werden konnten, wenn in den Speiser einfache Elektrodensysteme mit geringer elektrischer Leistung (etwa 15 bis 20 kW) eingebaut wurden, durch die die Temperatur der unteren Bereiche des Glasbades an die Temperatur der Glasbadoberfläche angeglichen wurde. Da das vorliegende Verfahren einen Temperaturausgleich bewirkt, konnten die Gas- oder Ölzufuhr reduziert und die Kosten für den gesamten Energiebedarf bis zu 5% unter die ursprünglichen Kosten gesenkt werden.

Durch Speiserzusatzheizungen wurden auch die thermische Homogenität der Glasposten und damit die Wanddickenverteilung der Hohlgläser bedeutend verbessert. Am „Kalten Ende" wurde dadurch eine Erhöhung der Produktivität zwischen 2 und 5% festgestellt. Vor etwa 5 Jahren wurde ein sogenanntes Standard-Speiserbeheizungssystem konstruiert, das — mit geringen Abweichungen — in gleicher Form bei gleicher elektrischer Leistung in fast alle gas- oder ölbeheizten Speiser kurzfristig eingebaut werden kann.

In den Bereich des Speisers, in dem die Temperatur ausgeglichen werden soll, werden, den Tropfentemperaturen entsprechend, drei oder vier Elektrodenpaare eingebaut. Die Energiezufuhr zu den ersten Elektrodenpaaren wird manuell geregelt, während die Energiezufuhr am letzten, in der Nähe der Speiserschüssel angeordneten Elektrodenpaar durch kontinuierliche Messung der elektrischen Leitfähigkeit der Glasschmelze zwischen den Elektroden gesteuert wird.

Jeder Temperaturanstieg oder -abfall wird mit Hilfe eines automatischen Schaltkreises, an den das Elektrodenpaar angeschlossen ist, durch Nachregulieren der Energiezufuhr ausgeglichen, so daß das in die Speiserschüssel fließende Glas stets dieselbe Temperatur aufweist. Durch die manuell geregelten Elektrodenpaare wird eine Art Grobhomogenisierung bewirkt, während die Feinregulierung der thermischen Homogenität der Schmelze durch die automatische Regelung des letzten

Bild 2. Zinnoxidelektrode für die Speiserbeheizung.

Bild 3. Molybdänelektrode für die Speiserbeheizung.

Elektrodenpaares erfolgt. Durch Abstufung der Eingangsleistung bei den einzelnen Elektrodenpaaren wird die thermische Homogenität in der Ausgleichszone stabilisiert.

Jedes Elektrodenpaar wird von einem 5-kW-Transformator gespeist, was sich bei niedrigen und mittleren Glastemperaturen als geeignet herausgestellt hat, da der Energieverbrauch der Speiserzusatzheizung bei Hohlglasarten selten über 6 bis 8 kW ständiger Eingangsleistung liegt, d. h. also etwa 2 kW pro Elektrodenpaar. Die bessere elektrische Leitfähigkeit der Glasschmelze bei höheren Temperaturen kann die Verwendung von Transformatoren mit größerer Leistung erforderlich machen. Da die Spannung zwischen den Elektroden aber konstant bleibt, müssen Elektroden mit einer größeren Strombelastbarkeit gewählt werden. Deshalb werden immer häufiger Zusatzheizsysteme mit Molybdänelektroden statt Zinnoxidelektroden ausgerüstet, um von der Belastbarkeit der Elektroden unabhängig zu sein.

Die Auswahl des Elektrodenmaterials richtet sich grundsätzlich nach den Glaseigenschaften. Für oxydierendes Weiß- und Grünglas wurden Zinnoxid-, (siehe Bild 2), für reduzierendes Braunglas Molybdänstabelektroden (siehe Bild 3) gewählt. Neuere Versuche haben aber gezeigt, daß Molybdänelektroden auch in oxydierendem Kalk–Natron-Glas eingesetzt werden können, insbesondere dann, wenn die Strombelastung niedrig ist, was durch Vergrößerung der in die Glasschmelze eintauchenden Elektrodenoberfläche erreicht werden kann. Übermäßige Korrosion konnte an den in verschiedenen Speiserzusatzheizsystemen schon über zwei Jahre eingesetzten Molybdänelektroden mit 32 mm Durchmesser nicht festgestellt werden.

Die Lebensdauer von Zinnoxidelektroden ist größer als die von Molybdänelektroden in Natron–Kalk-Glasschmelzen. Nach einem dreijährigen Einsatz von Zinnoxidelektroden trat fast keine Abnutzung auf, was allerdings ebenfalls eine niedrige Strombelastung voraussetzt.

Zur Zeit sind etwa 40 dieser Zusatzheizsysteme in Speisern mit Natron–Kalk-Glas, das zur Herstellung von Flaschen und Weithalsgefäßen verwendet wird, im Einsatz. Einige Zusatzheizsysteme sind in Kleinglasspeisern eingebaut. In Braun- und Grünglasspeisern wurden mit der Speiserzusatzheizung die besten Ergebnisse erhalten, hier lagen offensichtlich die ungünstigsten Temperaturverhältnisse mit der konventionellen Beheizungsart vor. Wie die inzwischen gesammelten Erfahrungen zeigen, entsprachen die bisherigen Standard-Zusatzheizsysteme den an sie gestellten Erwartungen oder übertrafen sie sogar.

Es ist vorgesehen, einige Zusatzheizsysteme so abzuwandeln, daß die Eingangsleistung der Elektroden noch gesteigert wird. Bei einer speziellen Ausführung wurde ein Standard-Zusatzheizsystem eingesetzt, mit dessen Hilfe die Temperaturdifferenz von 100 auf 25 grd in grünem Flaschenglas verringert werden konnte. Obwohl die Eingangsleistung nicht erschöpft war, konnte wegen der geringen Strombelastbarkeit der verwendeten Zinnoxidelektroden die Leistung nicht weiter erhöht werden. Zusätzlich wurde am Ende der Kühlzone ein weiteres Elektrodenpaar installiert, wodurch die Temperaturdifferenz von 25 grd noch etwas verringert werden konnte. Genaue Messungen aber ergaben, daß die Temperaturdifferenz bis zum Eintritt des Glases in die Speiserschüssel wieder anstieg. Diese Tatsache beweist, daß — wie verschiedentlich angenommen wurde — die Temperaturhomogenität der Glasposten nicht schon in der Kühlzone erreicht werden kann. Um bei diesem Fall eine weitere Verbesserung erreichen zu können, wird demnächst ein Zusatzheizsystem mit doppelter Eingangsleistung und den entsprechenden Elektroden eingebaut.

2. Vollelektrisch beheizte Speiser

Bei sogenannten vollelektrisch beheizten Speisern ist die Öl- oder Gasbeheizung in der Ausgleichszone auf ein Minimum reduziert, so daß die Ausgleichszone praktisch elektrisch beheizt wird und die Oberflächenbeheizung mit Gas oder Öl nur zum Ausgleich der Abstrahlungsverluste dient. Das Prinzip eines elektrisch beheizten Speisers ist, daß die Energie durch die Elektroden und nicht durch die Oberflächenbeheizung zugeführt wird. Den Kontroll- und Steuerschrank für ein Gesamtspeisersystem zeigt Bild 4.

Das Beheizungssystem des elektrisch beheizten Speisers gleicht im Prinzip der elektrischen Zusatzheizung. Die Zahl der Elektroden richtet sich nach der Länge des Kanals (entsprechend dem Durchsatz); bei

Kalk–Natron-Glas werden meistens nicht mehr als 10 Elektroden (fünf Paare) eingesetzt. Die Energiezufuhr von zwei oder drei Elektrodenpaaren wird, wie bei der Zusatzheizung, manuell geregelt, während die in der Nähe der Speiserschüssel befindlichen Elektroden nach demselben Prinzip wie bei der Zusatzheizung automatisch geregelt werden. Die eigentliche Temperaturregelung erfolgt elektronisch, die Energiezufuhr zu dem vor der Speiserschüssel angebrachten Elektrodenpaar wird von einem Signal eines Thermoelements in der Speiserschüssel gesteuert. Die Glasbadtemperatur in der Speiserschüssel kann auf diese Weise bis auf $\pm$ 1 grd genau geregelt werden. Man muß hierbei beachten, daß es sich bei diesen Temperaturen nicht um Oberflächentemperaturen handelt, die bei konventionell beheizten Speisern nicht mit der Glasbadtemperatur gleichgesetzt werden können. Beim elektrisch beheizten Speiser wird an jeder Stelle direkt die Glasbadtemperatur gemessen, denn Wärmeverluste durch die Wandungen werden durch später noch beschriebene Einrichtungen verhindert.

Die durch Elektroden eingeführte elektrische Leistung beträgt bei einem 14″- bis 18″-Speiser etwa 50 bis 70 kW, dagegen ist der eigentliche Verbrauch an elektrischer Energie je nach Glasbadtemperatur geringer. Um jedoch Durchsatzschwankungen in kurzer Zeit ausgleichen zu können, muß diese Leistung zur Verfügung stehen. Innerhalb von 20 min z. B. kann ein Temperaturanstieg von etwa 100 grd bei einem Durchsatz von 500 kg/h erzielt werden.

Um die Wärmeverluste durch Speiserwände und -boden zu vermindern, werden zwischen Kanal und Isolierung sogenannte elektrische Heizmatten eingebaut. Es ist nicht möglich, einen Speiser zu konstruieren, bei dem keine Wandverluste auftreten. Die Heizmatten werden von einfachen Vielstufentransformatoren gespeist und auf Temperaturen entsprechend der Glastemperatur im Speiserkanal gehalten. Es wurde festgestellt, daß 15 bis 20 kW/m genügen, um die Wandverluste auszugleichen. Die Heizmatten können bis 1300 °C verwendet werden. Da die Regelung variabel ist, können die Heizmatten je nach Gegebenheit im Speiser eingesetzt werden. Um die Speiserschüssel wird zusätzlich eine Heizmatte gelegt, so daß auch hier die thermische Homogenität der Glasschmelze aufrechterhalten wird. Beim Antempern des Speisers sind Heizmatten ebenfalls zweckmäßig.

Um die Wärmeverluste durch die Oberfläche des Glasbades auszugleichen, werden Strahler eingesetzt, deren Leistung den Wärmeverlusten entsprechend ausgelegt ist. Der Stromverbrauch während des Betriebes ist sehr gering. Durch diese Strahler wird ein schneller Temperaturanstieg des Glases im Speiser unterstützt; sie werden zweckmäßig auch zum Antempern des Speisers eingesetzt. Bei gasbeheizten Speisern kann die Gasheizung die Funktion der Strahler übernehmen, da beim elektrisch beheizten Speiser wenig Energie genügt,

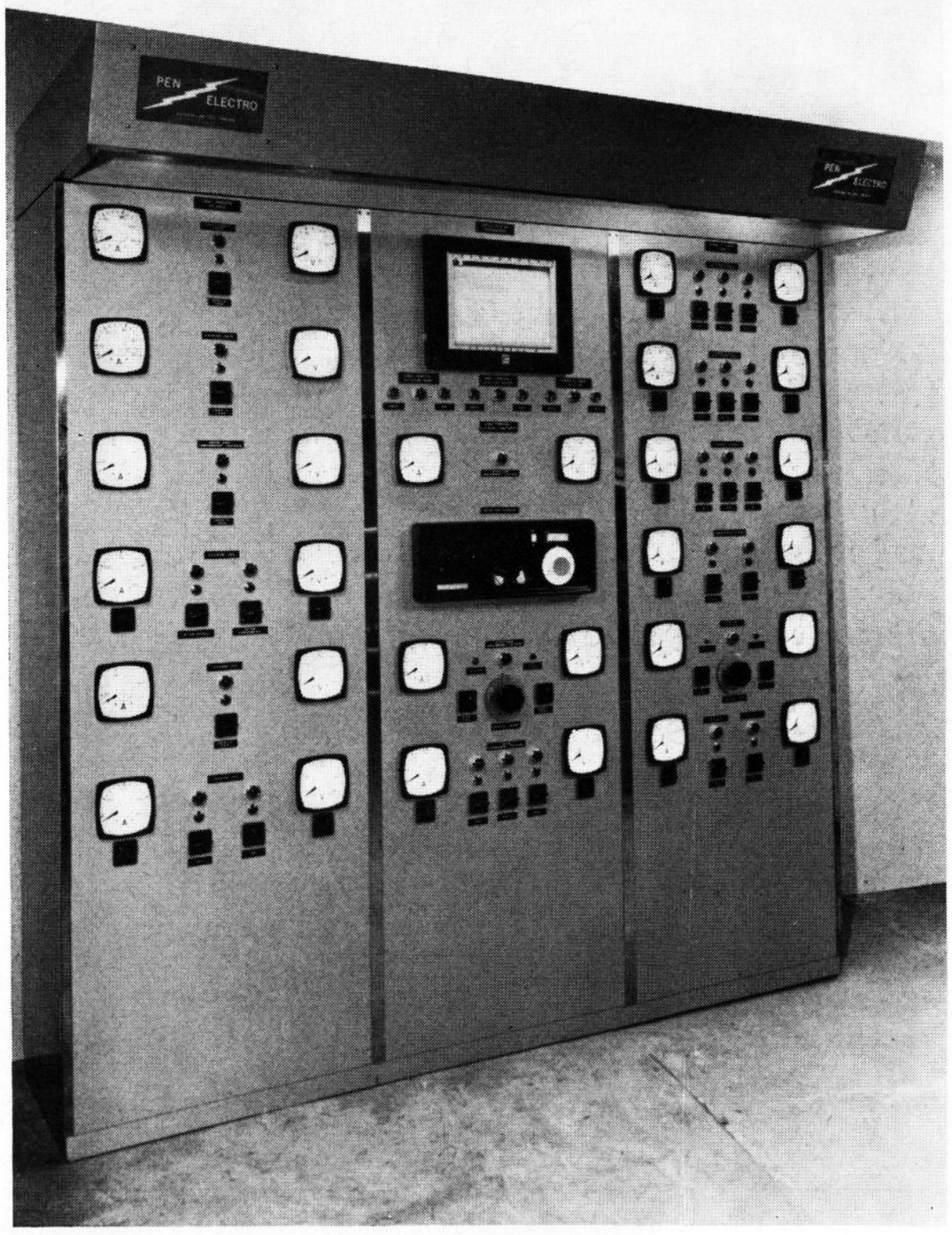

Bild 4. Kontroll- und Steuerschrank für ein Gesamtspeisersystem.

um die Strahlungsverluste durch die Oberfläche des Glasbades zu kompensieren. Es wird nicht angestrebt, einen Speiser nur elektrisch zu beheizen, sondern einen Speiser zu bauen, in dem thermisch homogene Glasposten erzeugt werden.

Elektrische Speiser, auch für Kalk–Natron-Glas, werden zusätzlich mit mechanischen Rührwerken ausgestattet, die am Ende der Kühlzone oder am Anfang der Ausgleichszone installiert sind und das Glas dort kontinuierlich mischen. Diese mechanische Homogenisierung ist vor allem dann wichtig, wenn das Glas in der Kühlzone stark abgekühlt wird und die Temperatur unter die Glaspostentemperatur sinkt, so daß ein Anstieg der Temperatur in der Ausgleichszone erforderlich wird.

3. Zusammenfassung

Durch die elektrische Speiserbeheizung mit Elektroden und mit Hilfe der Heizmatten und Strahler ist es möglich, thermisch homogenes Glas herzustellen. Mit den zur Zeit in Betrieb befindlichen Speisern werden gute Erfahrungen gemacht. Die Entwicklung dieser Speiser wird deshalb fortgesetzt, und es werden neue Anlagen in Betrieb genommen, die für die Hohlglasindustrie interessante Ergebnisse bringen dürften.

(52156)