

## Praktische Erfahrungen mit einer kleinen, kontinuierlich arbeitenden elektrisch beheizten Wanne

Von Klaus Eckhardt, Augsburg

(Vortrag auf der 53. Glastechnischen Tagung am 16. Mai 1979 in Berchtesgaden)

(Mitteilung aus der OSRAM GmbH, Augsburg)

(Eingegangen am 7. November 1979)

Die Arbeit behandelt die inzwischen mehrjährigen Betriebserfahrungen mit einem kleinen zweiräumigen, zweiseitigen vollelektrisch beheizten, kontinuierlich arbeitenden Glasschmelzofen. Es handelt sich um einen Schachtofen, dessen Schmelzwanne bei 0,5 m<sup>2</sup> freier Oberfläche durch seitlich eingeführte Molybdänelektroden be-

heizt wird. Die Anlage fertigt ein weiches Borosilicatglas, eingestellt als Molybdän-Einschmelzglas, das z. B. für Blitzlampen-Röhren benutzt wird. Die Schmelzleistung beträgt 30 t Glas/Monat bei einem Energieverbrauch von etwa 2 kWh/kg Glas.

### Practical experience with a small continuous electrically heated tank

Many years operating experience with a small two chamber all-electric continuous tank are described. The furnace is of the vertical type, heated from the sides by molybdenum electrodes and has a free

surface of 0,5 m<sup>2</sup>. A soft borosilicate glass for sealing to molybdenum and used for flash lamp tubes is melted. The output is about 30 t glass a month for an energy consumption of about 2 kWh/kg of glass.

### Expériences pratiques avec un petit bassin électrique à marche continue

Cette étude est consacrée à l'expérience acquise au cours de plusieurs années avec un four électrique à deux chambres et à deux voûtes distinctes. Ce four à bassin a une surface libre de 0,5 m<sup>2</sup>, il est chauffé par des électrodes en molybdène introduites latéralement. On

y élabore un verre de borosilicate tendre utilisé comme verre de soudure dans la fabrication de tubes pour lampes flash. Le débit est de 30 t de verre/mois, la consommation d'énergie s'élève à 2 kWh/kg de verre.

Erfahrungen über elektrisch beheizte Wannen liegen seit längerer Zeit vor [1 bis 6]. Für einen Einsatz elektrisch betriebener Wannen sprechen folgende Argumente:

- a) geringe Verdampfung der flüchtigen Rohstoffe, daher Ersparnisse an Rohstoffen und geringe Umweltbelastung;
  - b) geringe Wärmestrahlung, daher gute Arbeitsbedingungen;
  - c) geringe Wärmeverluste, daher gute Energieausnutzung;
  - d) leichte und effektive Regelung der Energiezufuhr, daher optimale Schmelzbedingungen;
  - e) geringer Materialbedarf für den Aufbau der Wanne.
- Aus den genannten Gründen ist 1972 eine Elektro-

wanne zum Schmelzen von Spezialgläsern entwickelt worden.

### 1. Kenndaten der Elektrowanne

Der Querschnitt der Elektrowanne ist in Bild 1 wiedergegeben. Die Wanne besteht aus Schmelzwanne, Durchlaß, Steiger und Vorkanal. Schmelzwanne, Durchlaß und Steiger werden durch Stromdurchgang erhitzt, der Vorkanal durch eine Strahlungsheizung.

Die Kenndaten der Elektrowanne sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

### 2. Strömungsverhältnisse in der Elektrowanne

Für die vorliegende Wanne wurden die Strömungsverhältnisse eingehend in einem Modellversuch untersucht [7]. In Bild 2 [7] sind die Strömungsrichtung durch

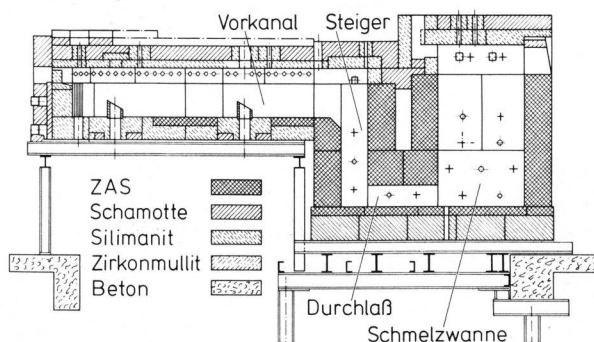


Bild 1. Querschnitt einer Elektrowanne für Spezialgläser.

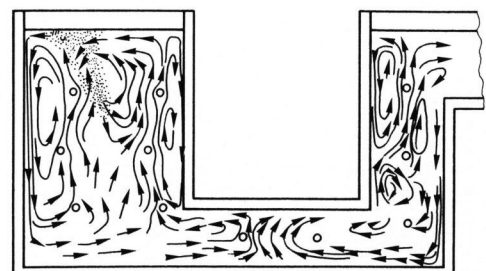


Bild 2. Strömungen im Modell einer kontinuierlich arbeitenden, elektrisch beheizten Wanne [7].

Tabelle 1. Kenndaten der Elektrowanne

Glasart	Borosilicatglas			
	2,28 g/cm <sup>3</sup>			
Glaswichte	1 t/d			
Tagesleistung	Schmelzwanne	Durchlaß	Steiger	Vorkanal
Fläche in m <sup>2</sup>	0,48	0,26	0,10	0,55
Volumen in m <sup>3</sup>	0,53	0,052	0,11	0,17
Glasmenge in t	1,2	0,12	0,25	0,38
Elektroden (Molybdän)	4 × 450 mm × 20 mm Ø 5 × 690 mm × 20 mm Ø 5 × 800 mm × 32 mm Ø		Leistungsregelung Spannung an den Elektroden spezifischer Energiebedarf der Schmelzwanne	Stromregelung durch Thyristor bis 180 V 2 kWh/kg Glas
Glasentnahme	2 vertikale Züge		Standzeit der Wanne	> 1 Jahr
Länge der Züge	4,30 m		Standzeit der Elektroden	1/2 bis 1 Jahr
Glasdurchsatz	maximal 50 kg Glas/h		Gemengezufuhr	alle 20 min von Hand
spezifische Glasentnahme	2 t Glas/(m <sup>2</sup> d)		Scherbenanteil	10 bis 75 %
Glasrohrdurchmesser	2 bis 25 mm (7 mm)		Temperatur der Gemengedecke	200 °C < T < 600 °C
Gemengedecke	kalte Gemengedecke 5 bis 15 mm			

die Richtung der Pfeile und die Strömungsgeschwindigkeit durch die Länge der Pfeile gekennzeichnet. Die Strömungen werden im wesentlichen durch die Elektrodenanordnung, die Temperatur der Schmelze, die Wärmeverluste an der Oberfläche der Schmelze (Gemengedecke) und durch die Glasentnahme bestimmt. Die in Bild 2 gezeigten Strömungsverhältnisse werden bei einer optimalen Einstellung der genannten Parameter beobachtet. Charakteristisch sind im mittleren Bereich der Schmelzwanne eine aufsteigende Strömung, an den kälteren Wänden jedoch Strömungen in umgekehrter Richtung. Im Bereich des Durchlasses tritt bei geeigneter Elektrodenanordnung eine Umkehr der Rückströmung auf. Derartige Strömungsverhältnisse sind notwendig, um im Schmelzbereich eine gute Durchmischung zu erreichen und im Durchlaß zu verhindern, daß bei schwerschmelzbaren Gläsern Gemengereste oder ungeläutertes Glas zur Entnahmestelle gelangt.

### 3. Energiebilanz

Die zum Schmelzen benötigte Energie kann wesentlich effektiver eingesetzt werden, wenn der Energieumsatz

dort erfolgt, wo er einen optimalen Wirkungsgrad erzielt.

Der Energiehaushalt von Glasschmelzwannen (Richtwerte) ist in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Richtwerte für Gas/Öl-Beheizung sind [8] entnommen, die Angaben für die elektrische Beheizung stammen von Sorg [9] und aus eigenen Erfahrungen. Sie gelten für kleine Wannen. Es ist bemerkenswert, daß die Energieverluste bei Gas/Ölheizung etwa 80, bei der elektrischen Heizung dagegen nur etwa 30 % betragen. Trotz der viel günstigeren Bilanz für die elektrische Heizung sind die Betriebskosten für beide Heizarten fast gleich. Die Ursache sind die zur Zeit noch viel höheren Kosten für die elektrische Energie. Der Jahresmittelwert der Energiekosten betrug 1978 in Augsburg für: Erdgas 2,17 DPf/kWh; Öl 2,51 DPf/kWh; elektrische Energie 10,47 DPf/kWh. Durch die steigenden Preise für Erdöl und dadurch, daß die Preise für Erdgas zu 75 %, die für elektrische Energie jedoch nicht an die Erdölpreise gebunden sind, ist zu erwarten, daß die Betriebskosten für elektrisch betriebene Wannen zunehmend günstiger werden. Die Entwicklung der Energiekosten seit 1970 in Augsburg ist in Bild 3 dargestellt.

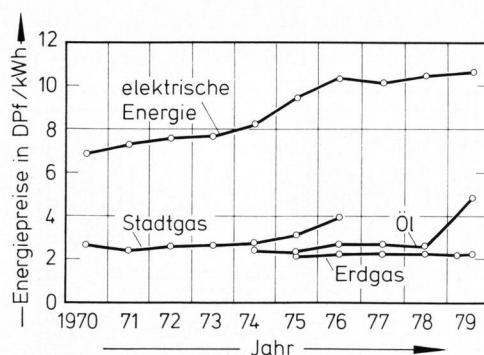
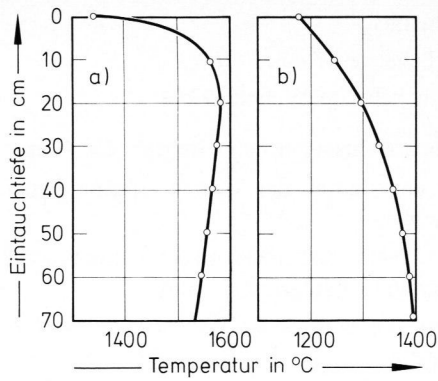


Bild 3. Entwicklung der Energiekosten von 1970 bis 1979 in Augsburg.

Tabelle 2. Energiehaushalt von Glaswannen (Richtwerte)

	Energiebedarf in %	
	Gas/Öl-Beheizung	elektrische Beheizung
Glasschmelze	20	68
Prozeßgase	18	3
Wandverluste	46	20
Regenerativ-System	3	—
Wasserkühlung	2	5
Luftkühlung	6	2
Sonstige	5	2
Summe	100	100



Bilder 4a und b. Temperaturverteilungen in a) Schmelzwanne und b) Steiger

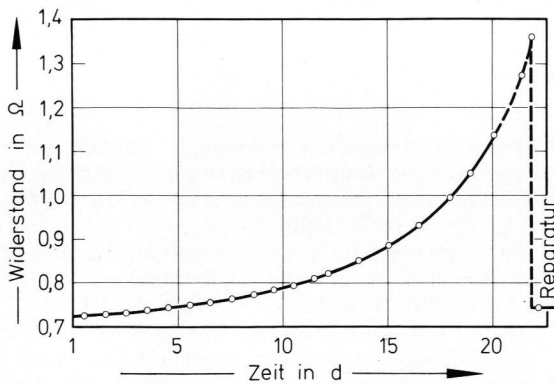


Bild 5. Widerstandsänderung vor Ausfall einer Elektrode.

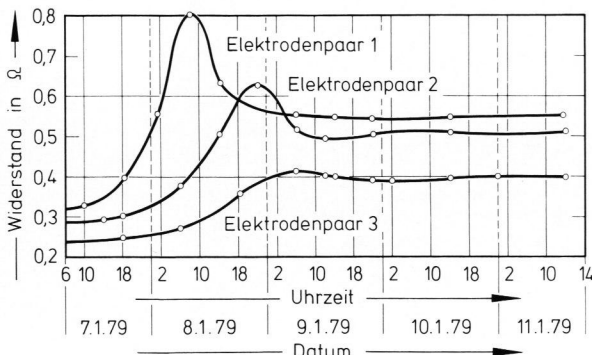


Bild 6. Widerstandsänderung der ersten drei Elektrodenpaare beim Umschmelzen.

**4. Umweltschutz**

Die Wanne wird für die Herstellung von Borosilicatglas mit kalter Gemengedecke gefahren. Für den Umweltschutz sind keine Aufwendungen erforderlich, da die Maximalwerte der TA-Luft eingehalten werden.

**5. Wannenbetrieb**

Die Wanne wird für die Herstellung von Borosilicat- und durch eine Gasheizung – je nach Glasart – bis auf etwa 1200 °C aufgeheizt. Wie bereits erwähnt, werden durch Stromdurchgang die Schmelzwanne (2 kWh/kg

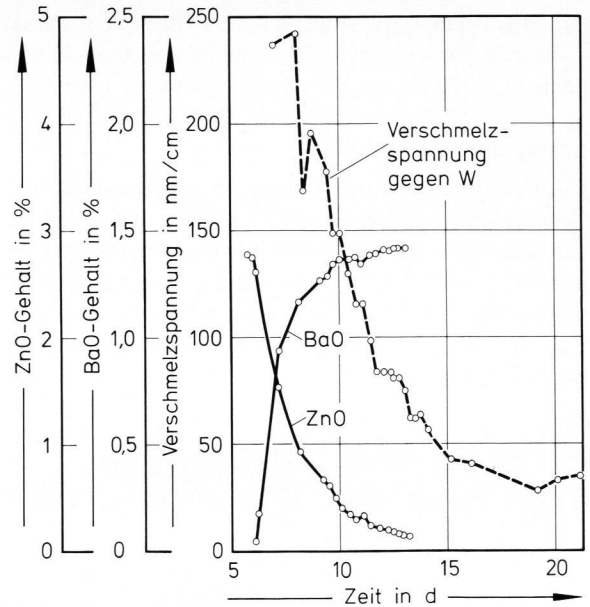


Bild 7. Umstellung von Glas 936 auf Glas 714.

Glas), der Durchlaß und der Steiger (0,6 kWh/kg Glas) sowie durch elektrische Strahlungsheizung der Vorkanal (0,3 kWh/kg Glas) betrieben. Der Scherbenanteil liegt je nach Anfall bei 10 bis 75 %. Die Schmelztemperatur beträgt je nach Glasart 1450 bis 1600 °C. Die Temperaturverteilungen in der Schmelzwanne und im Steiger werden mit Thermoelementen bis zu 70 cm Eintauchtiefe gemessen (Bild 4). Die Temperatur – insbesondere in der Schmelzwanne – ist – wenn man von der oberen Schicht absieht – sehr konstant. Die Elektroden werden nicht nachgeschoben. Das Auswechseln erfolgt nach Bedarf. Ein bevorstehender, notwendiger Elektrodenwechsel ist an der Änderung des Widerstandes zu erkennen (Bild 5).

In der Wanne werden mehrere Gläser geschmolzen. Das Umstellen der Wanne erfolgt durch Umschmelzen. Das Umschmelzen dauert etwa fünf bis zehn Tage (je nach Qualitätsanforderung), bis die neue Soll-Zusammensetzung erreicht wird. Der Ablauf des Umschmelzens ist an der Widerstandsänderung der Elektrodenpaare zu erkennen (Bild 6). Bild 6 zeigt, wie die Widerstandsänderung und damit das Umschmelzen von Elektrodenpaar zu Elektrodenpaar fortschreiten. Der Endwert des Widerstandes ist durch den spezifischen Widerstand der Schmelze und durch die Schmelztemperatur gegeben, das Widerstandsmaximum durch eine vorübergehend ansteigende Temperatur. Die Endwerte des Widerstandes haben sich beim ersten Elektrodenpaar nach zwei, beim zweiten nach 2½ und beim dritten nach drei Tagen eingestellt. Die Änderung der Zusammensetzung der Schmelze beim Umschmelzen zeigt Bild 7, in dem die Umstellung von Glas 936 (weiches Borosilicatglas für Vacon- und Molybdänverbindungen) auf Glas 714 (hartes Borosilicatglas für Wolframverbindungen) dargestellt ist. Der Anteil des Glases 936 wird durch ZnO, der Anteil des Glases 714 durch BaO repräsentiert. Die typischen Glas-

bestandteile haben etwa nach 5 bis 10 Tagen den charakteristischen Endwert erreicht. Spuren des alten Glases sind jedoch durch die Verschmelzspannung (gemessen gegen einen Wolframstab) bis zu 15 Tage nach Umstellungsbeginn nachweisbar.

Im Vergleich zu konventionell geschmolzenen Borosilicaten treten bei elektrisch geschmolzenen wesentlich weniger Glasfehler auf. Außerdem werden eine größere Ausbeute und eine bessere Läuterung infolge höherer Schmelztemperatur im Inneren der Schmelze erzielt. In bezug auf Glasqualität und Ausbeute können folgende Angaben gemacht werden:

a) Blasen

mit Öl beheizte Wanne: 2000 Gispfen/kg Glas,

elektrisch beheizte Wanne: 20 bis 100 Gispfen/kg Glas;

b) Ausbeute

mit Öl beheizte Wanne: 70 %,

elektrisch beheizte Wanne: 92 %.

### 6. Erfahrungen beim Betrieb der Wanne

Für den Betrieb der Wanne ergeben sich folgende Erfahrungen:

a) gute Qualität der Gläser (trotz schwerschmelzbarem Gemenge gute Läuterung);

b) geringe Verluste durch Verdampfen leicht flüchtiger Bestandteile;

c) geringe Umweltprobleme;

d) geringer Energiebedarf (Energiekosten entsprechen jedoch noch denen konventionell beheizter Wannen);

e) geringe Anlagekosten.

### 7. Literatur

- [1] Süsser, V. und Vach, J.: Kleine elektrisch beheizte kontinuierliche Glasschmelzöfen mit einer Leistung von 1 bis 4 t/24 h. Glas-Email-Keramo-Techn. **21** (1970) S. 445–448. [Ref. Glastechn. Ber. **45** (1972) R72-0914.]
- [2] Penberthy, L.: Recent history of electric melting of glass. Glass Ind. **54** (1973) Nr. 5, S. 12–13, Nr. 6, S. 18 und 24. [Ref. Glastechn. Ber. **47** (1974) 74R0908.]
- [3] Gell, P. A. M.: Electric melting for larger tonnage furnaces. Part 1–2. Glass Ind. **54** (1973) Nr. 3, S. 12–14, Nr. 4, S. 14–18. [Ref. Glastechn. Ber. **47** (1974) 74R0909 u. 74R0910.]
- [4] Vach, J. und Süsser, V.: Das Schmelzen von Wirtschafts- und technischen Gläsern in kleinen elektrischen Schmelzöfen. Silikat-J. **13** (1974) S. 61–64. [Ref. Glastechn. Ber. **48** (1975) 75R0260.]
- [5] Shimada, H.; Takashi, Y. und Endo, K.: Day-tank type operation in electric melting of borosilicate glasses with daily output of 90 kg. J. ceram. Soc. Jap. **83** (1975) S. 367–371. [Ref. Glastechn. Ber. **49** (1976) 76R0192.]
- [6] Sims, R. und Pieper, H.: New developments and experience with all electric furnaces of the type V.S.M. Glastechn. T. **30** (1975) S. 85–91. [Ref. Glastechn. Ber. **50** (1977) 77R1166.]
- [7] Tober, H.: Konvektionsströmungen in elektrisch beheizten Wannen. Modellversuche. Glastechn. Ber. **45** (1972) S. 41–53.
- [8] Tooley, F. V.: Handbook of glass manufacture. New York: Odgen 1953. [Ref. Glastechn. Ber. **26** (1953) S. 221.]
- [9] Sorg, N.: Pers. Mitt.