Konventionell beheizte Glasschmelzöfen für die Hohl- und Flachglasherstellung im deutschsprachigen Raum

– Ergebnisse einer HVG-Umfrage – Teil 2. Glasqualität und Energieverbrauch[1)]

Bernhard Fleischmann

Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie (HVG), Frankfurt/M.

1. Einleitung

Nachdem im ersten Teil dieser Arbeit [1] das Hauptaugenmerk den geometrischen Eckdaten des Ofenbaus und der Schmelzleistung galt, sollen jetzt die Möglichkeiten zur Beeinflussung der Glasströmung und damit der Glasqualität sowie der Energieverbrauch der Wanne im Mittelpunkt stehen.

Soweit sinnvoll und möglich werden die Ergebnisse der HVG-Umfrage vom November 1993 wieder mit den Resultaten der Umfrage vom Dezember 1962 [2] verglichen.

2. Bauliche Möglichkeiten zur Beeinflussung der Glasströmung

Die Glasströmung und damit die Verweilzeit der Glasschmelze im Ofen bestimmt wesentlich die Glasqualität. Fließt das Glas im sogenannten Kurzschluß aus dem Bereich der Rauhschmelze in die Arbeitswanne, so steigt die Anzahl der Glasfehler extrem an. Um dies zu vermeiden, werden Strömungsbarrieren (Wall und Bubbler) [3 und 4] in die Wanne integriert. Gleichzeitig erzwingen diese Strömungsbarrieren, daß die Glasschmelze an der heißesten Stelle (hot spot) in die oberen Bereiche der Schmelzwanne aufsteigt, und unterstützen so den Quellpunkt. Damit wird auch eine ordentliche Läuterung der Glasschmelze begünstigt. Der vertiefte Läuterteil soll ebenso zur Verbesserung der Glasqualität beitragen [5 und 6], indem er die Ausbildung einer sogenannten Kolbenströmung erlaubt. Die elektrische Zusatzheizung (EZH) kann ebenfalls zur Unterstützung des Quellpunktes und zur Beeinflussung der Glasströmungen genutzt werden [3 und 4]. Weitere Vorteile der EZH werden in späteren Abschnitten genannt.

Bei der Auswertung der Fragebögen ergab sich die in Tabelle 1 genannte Häufigkeit für den Einsatz von Wall, Bubbler sowie vertieftem Läuterteil.

Eingegangen am 3. Dezember 1996.

1) T. 1. Beheizung, bauliche Merkmale, Schmelzleistung. Glastech. Ber. Glass Sci. Technol. **70** (1997) Nr. 2, S. N11–N16.

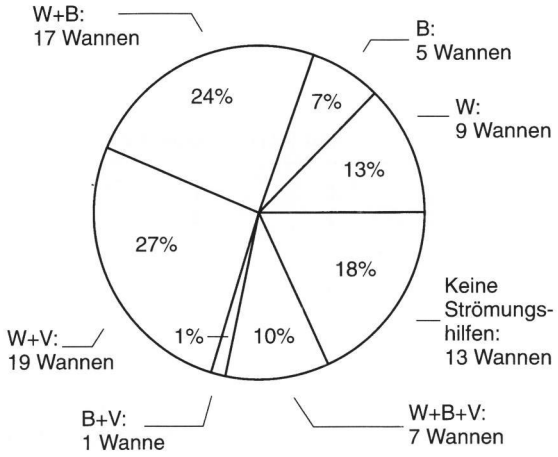

Bild 1. Kombination der Strömungshilfen, wie sie in Glasschmelzwannen eingesetzt werden. (W: Wall, B: Bubbler, V: vertiefter Läuterteil.)

In Bild 1 sind die verschiedenen Kombinationen der Strömungshilfen mit ihrer Anzahl bzw. ihrem prozentualen Anteil dargestellt. Dabei ist zu erkennen, daß der vertiefte Läuterteil am häufigsten mit einem Wall kombiniert wird oder mit Wall und Bubbler. Bubbler und Wall werden im Gegensatz zum vertieften Läuterteil auch als alleinige Strömungshilfe eingesetzt.

Von den 13 Wannen, in denen keine dieser Strömungshilfen integriert ist, besitzen allerdings sieben eine elektrische Zusatzheizung.

3. Elektrische Zusatzheizung

An 51 von 71 erfaßten Wannen (=72%) ist eine elektrische Zusatzheizung installiert. Tabelle 2 zeigt die maximale Leistung, die durch die EZH zur Schmelze des Glases beigesteuert wird bzw. die installierte Leistung.

Neben dem bereits genannten Grund, die Glasströmungen zu stabilisieren bzw. den Quellpunkt zu unterstützen, wird die EZH auch genutzt, um die Schmelzleistung der Wanne ohne Verlust der Glasqualität zu steigern [3, 4, 7 und 8]. Auch zur Schmelzbeschleunigung wird die EZH im Einlegebereich bzw. unter dem vom

Tabelle 1. Anzahl der Wannen mit Wall, Bubbler sowie vertieftem Läuterteil

	bauliche Maßnahme			
	Wall	Bubbler	vertiefter Läuterteil	keine Strömungshilfe
Anzahl der Wannen	52	31	27	13

Tabelle 2. Anzahl der Wannen mit einer bestimmten elektrischen Leistung der elektrischen Zusatzheizung (EZH)

	elektrische Leistung (in kW)				
	0 bis 499	500 bis 999	1000 bis 1499	1500 bis 1999	≥2000
Anzahl der Wannen	8	15	15	7	6

Tabelle 3. Anzahl der Wannen mit bzw. ohne EZH bei einer bestimmten maximalen spezifischen Schmelzleistung unter Berücksichtigung der Wannenart

spezifische Schmelzleistung in t/(m² d)	Anzahl der Wannen					
	Querbrennerwanne		U-Flammenwanne		seitenbeheizte Rekuperativwanne	
	mit EZH	ohne EZH	mit EZH	ohne EZH	mit EZH	ohne EZH
1,2 bis 1,39	1	1	–	–	–	–
1,4 bis 1,59	1	2	–	1	–	–
1,6 bis 1,79	–	–	1	–	–	–
1,8 bis 1,99	–	2	–	–	–	–
2,0 bis 2,19	2	–	–	–	3	–
2,2 bis 2,39	–	–	–	–	–	1
2,4 bis 2,59	–	2	–	1	1	–
2,6 bis 2,79	–	–	3	–	2	–
2,8 bis 2,99	2	3	1	3	1	–
3,0 bis 3,19	2	1	4	–	–	–
3,2 bis 3,39	–	–	11	–	–	–
3,4 bis 3,59	2	1	8	–	–	–
3,6 bis 3,79	3	1	1	–	–	–
3,8 bis 3,99	–	–	2	–	–	–
4,0 bis 4,19	–	–	–	–	–	–
4,2 bis 4,39	–	–	1	–	–	–

Gemenge bedeckten Bereich installiert [3 und 9]. Außerdem läßt sich manchmal eine „vom Wannenalter bedingte Beeinträchtigung der Glasqualität ... mit einer Elektrozusatzheizung beheben“ [3]. Da die Energie durch die EZH direkt ins Glasbad gebracht wird, kann aber auch die Brennstoffzufuhr im Oberofen vermindert und so die Temperatur im Verbrennungsraum zum Schutz des Gewölbes gesenkt werden [10].

Tabelle 3 verdeutlicht vor allem die Möglichkeit, den Durchsatz mit Hilfe der EZH zu erhöhen, wie dies bei den U-Flammenwannen genutzt wird. Wird die maximale spezifische Schmelzleistung (berechnet wie in [1] definiert) über 3 t/(m² d) gefahren, dann besteht bei allen U-Flammenwannen die Möglichkeit, Schmelzenergie auf elektrischem Wege zuzuführen. Im Vergleich dazu werden Querbrennerwannen bis zur maximalen Schmelzleistung von fast 3,8 t/(m² d) mit und ohne EZH betrieben. Bei seitenbeheizten Rekuperativwannen scheint die EZH fast obligatorisch zu sein.

4. Einfluß der Badtiefe auf die Glasqualität

Die Verteilung der Badtiefen bei den einzelnen Wannentypen ist in [1, Abschnitt 3.3.2] bereits aufgezeigt. In diesem Abschnitt soll nun betrachtet werden, inwieweit die Glasbadtiefe abhängig ist von anderen Parametern bzw. mitbestimmt wird vom Einsatz anderer Hilfsmittel zur Strömungssteuerung und -stabilisierung in der Glasschmelzwanne. Über den Stand von 1975 bei den Glasbadtiefen in Hohl-, Flach- und Spezialglaswannen wird in [11] berichtet, wobei verschiedene Einflußgrößen berücksichtigt werden.

4.1 Badtiefe und Glasfarbe

Die Farbe des erschmolzenen Glases ist in [1, Abschnitt 3.2] schon statistisch erfaßt bzw. ausgewertet worden. Jetzt soll geklärt werden, inwieweit die Glasfarbe und die geforderte Glasqualität die Badtiefe der Glasschmelzwanne im Schmelzteil der Wanne mitbestimmen. In Tabelle 4 werden die Anzahl der Wannen und ihre Badtiefe genannt, wobei zwischen Weißglas (weiß und halbweiß) und Farbglas (alle Farben und Wannen mit Umfärbung) unterschieden wird. Außerdem sind die Zahlen von 1962 [2] zum Vergleich mit angegeben.

Allgemein gilt, „daß Wannen für dunkle Gläser flacher sind als Wannen für helle Gläser“ [3], wobei die Durchlässigkeit für die Wärmestrahlung hier die aus-

Tabelle 4. Anzahl der Wannen mit bestimmter Badtiefe unter Berücksichtigung der Glasfarbe und Vergleich mit 1962 [2]

Jahr der Erfassung	Glasfarbe	Anzahl der Wannen mit einer Badtiefe (in cm) von							
		0 bis 0,95	0,96 bis 1,05	1,06 bis 1,15	1,16 bis 1,25	1,26 bis 1,35	1,36 bis 1,45	1,46 bis 1,55	1,56 bis 1,65
1962	weiß	37	11	6	16	1	–	1	4
	farbig	19	5	–	1	–	1	–	–
1993	weiß	–	1	4	11	13	6	1	–
	farbig	2	2	3	18	9	1	–	–

Tabelle 5. Anzahl der Wannen mit bestimmter Badtiefe und EZH unter Berücksichtigung der Glasfarbe

Glasfarbe	Anzahl der Wannen mit einer Badtiefe (in cm) von							
	0 bis 0,95	0,96 bis 1,05	1,06 bis 1,15	1,16 bis 1,25	1,26 bis 1,35	1,36 bis 1,45	1,46 bis 1,55	1,56 bis 1,65
weiß	–	1	3	6	8	5	1	–
farbig	2	1	1	12	11	1	–	–

Tabelle 6. Anzahl der Wannen mit bestimmter Badtiefe und Bubblern unter Berücksichtigung der Glasfarbe

Glasfarbe	Anzahl der Wannen mit einer Badtiefe (in cm) von							
	0 bis 0,95	0,96 bis 1,05	1,06 bis 1,15	1,16 bis 1,25	1,26 bis 1,35	1,36 bis 1,45	1,46 bis 1,55	1,56 bis 1,65
weiß	–	1	2	3	4	1	–	–
farbig	–	–	2	14	3	1	–	–

schlaggebende Größe ist. Bei Wannen, die öfter umgefärbt werden, ist ein kleinerer Wanneninhalt von Vorteil und daher ebenfalls eine geringere Badhöhe [3]. Die folgenden Abschnitte werden zeigen, welche Hilfsmittel zur Verfügung stehen, um bei Farbgläsern mit Badtiefen über 1,25 m, aber auch bei Weißglas mit größeren Badtiefen, Glas in der gewünschten Qualität zu erschmelzen.

4.2 Einsatz von elektrischer Zusatzheizung

Die EZH ist eine Möglichkeit, Energie in Bereichen der Schmelze einzutragen, die mit größeren Badtiefen nicht mehr genügend Wärmestrahlung erhalten. Daher steigt der Anteil der EZH bei Wannen mit größer werdenden Badtiefen unabhängig von der Glasfarbe an, wobei bei Farbgläsern der EZH-Anteil bei Badtiefen über 1,25 m fast 100 % beträgt. Tabelle 5 gibt die entsprechenden Werte wieder.

4.3 Einsatz von Bubblern

Um die kälteren Partien der Glasschmelze zur Erwärmung wieder an die heißere Glasbadoberfläche zu zwingen, werden Bubbler eingesetzt. Diese Maßnahme unterstützt ebenfalls die Möglichkeit, bei Farbgläsern Badtiefen über 1,25 m zu realisieren. Tabelle 6 zeigt, wie viele Wannen, unterschieden nach der Farbe des erschmolzenen Glases, bei bestimmten Glasbadtiefen Bubbler nutzen, um die Glasqualität auch bei höherem Durchsatz zu sichern.

4.4 Badtiefe und Schmelzleistung

Die Angaben der Abschnitte 4.1 bis 4.3 lassen erkennen, welche Hilfsmittel genutzt werden, um den Durchsatz von Glasschmelzwannen durch eine größere Badtiefe zu erhöhen, wenn die Schmelzfläche der Wanne aus räumlichen Platzgründen nicht erweitert werden kann. Auch bei Farbglasschmelzen führen die erhöhten Badtiefen somit nicht zu einem Verlust an Glasqualität, wenn EZH und/oder Bubbler zur Stabilisierung der Glasströmungen bzw. zur gezielten Energiezufuhr genutzt werden.

Bild 2 zeigt den Zusammenhang zwischen der spezifischen Schmelzleistung der Wannen und der Badtiefe unter Berücksichtigung der erschmolzenen Glasfarbe. Der umrandete Bereich gibt das Gebiet wieder, in dem bei der Umfrage von 1962 die entsprechenden Datenpunkte lagen.

5. Energieverbrauch

Die in der Literatur zu findenden Werte für den theoretischen Energieverbrauch zum Schmelzen von Glas aus Gemenge sind in Tabelle 7 zusammengefaßt. Zu beachten ist dabei, bis auf welche Temperatur die Schmelze aufgeheizt wird (maximale Temperatur), um eine Vergleichbarkeit der Werte zu ermöglichen.

Tabelle 7. Theoretischer Energiebedarf beim Schmelzen von Glas aus Gemenge

Art des Gemenges	theoretischer Energiebedarf in kJ/kg Glas	maximale Temperatur in °C	Literatur
Behälterglasgemenge	1342 ± 76	900	[12]
Flachglasgemenge mit schwerer Soda	2488	1300	[12]
Flachglasgemenge mit leichter Soda	2573	1300	[12]
weißes Flachglasgemenge	2708	1500	[13]
grünes Flachglasgemenge	2885	1500	[13]
weißes Behälterglasgemenge	2657 2735	1500	[13]
grünes Behälterglasgemenge	2777	1500	[13]
braunes Behälterglasgemenge	2718	1500	[13]
Flachglasgemenge (Fourcault)	2930	1500	[14]
Kalk-Natronsilicatglasgemenge (mit 1 Gew.-% K_2O und 2 Gew.-% Al_2O_3)	2610	1500	[14]
Flachglasgemenge	2574	1500	[15]
weißes Hohlglasgemenge	2535	1500	[15]

Tabelle 8. Anzahl der Wannen mit einem bestimmten spezifischen Energieverbrauch unter Berücksichtigung der Wannenart

Wannenart	Anzahl der Wannen mit einem spezifischen Energieverbrauch (in kJ/kg Glas) von										
	0 bis 3767	3768 bis 4185	4186 bis 4604	4605 bis 5022	5023 bis 5441	5442 bis 5859	5860 bis 6278	6279 bis 6696	6697 bis 7115	7116 bis 7533	7534 bis 7952
Querbrenner-wanne	–	5	7	1	5	3	2	2	–	1	–
U-Flammen-wanne	2	9	9	7	5	2	2	–	–	–	1
seitenbeheizte Rekuperativwanne	–	–	4	1	–	1	2	–	–	–	–

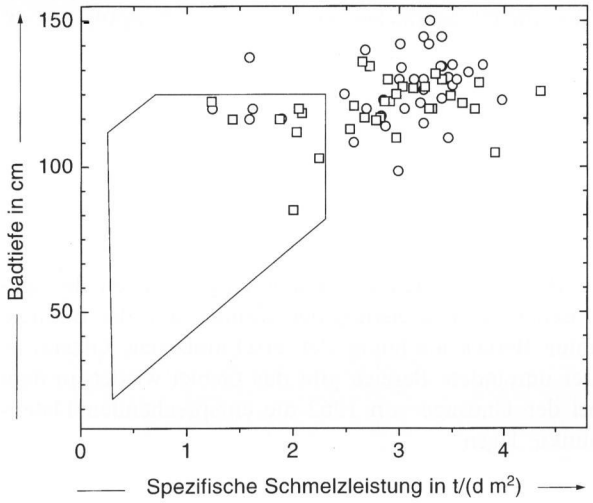

Bild 2. Badtiefen der Wannen bezogen auf die spezifische Schmelzleistung der Wannen unter Berücksichtigung der Glasfarbe (○: weißes Glas, □: Farbglas) und im Vergleich das entsprechende Datenfeld von 1962 [2] (——: Daten von 1962).

5.1 Spezifischer Energieverbrauch

Tabelle 8 gibt einen Überblick über den Energieverbrauch der 1993 laufenden Wannen. Es wird die Anzahl der Wannen mit einem bestimmten spezifischen Energieverbrauch genannt, wobei die Art der Wannen berücksichtigt wird. Bei der Umfrage 1962 [2] lag der geringste spezifische Energieverbrauch bei 6278 kJ/kg Glas (= 1500 kcal/kg), der größte Anteil der Wannen wurde mit 8370 bis 18833 kJ/kg Glas (= 2000 bis 4500 kcal/kg) betrieben, der Spitzenwert betrug 50220 kJ/kg Glas (= 12000 kcal/kg).

Der mittlere spezifische Energieverbrauch aller erfaßten Wannen lag 1993 bei 4905 kJ/kg Glas (= 1172 kcal/kg = 1,36 kWh/kg). Betrachtet man nur die Hohl- bzw. Behälterglasproduktion, so ergibt sich als mittlerer spezifischer Energieverbrauch ein Wert von 4788 kJ/kg Glas (= 1144 kcal/kg = 1,33 kWh/kg), während bei der Flachglasproduktion der benötigte mittlere spezifische Energieverbrauch bei 5717 kJ/kg Glas (= 1366 kcal/kg = 1,59 kWh/kg) liegt. 1993 wurden auch Betriebsdaten vollelektrischer Wannen zusammengetragen [16]; ohne Berücksichtigung der Glasart, der Wannengröße und der geforderten Glasqualität betrug der mittlere Energieverbrauch 1,18 kWh/kg Glas [17]. Betrachtet man das Baujahr bzw. das Jahr der letzten Zwischenreparatur der Wanne und den spezifischen Energieverbrauch, so fällt auf, daß der Energieverbrauch der neueren Wannen günstiger ist. Diese Minderung des Energieverbrauchs ist deutlich höher als die natürliche

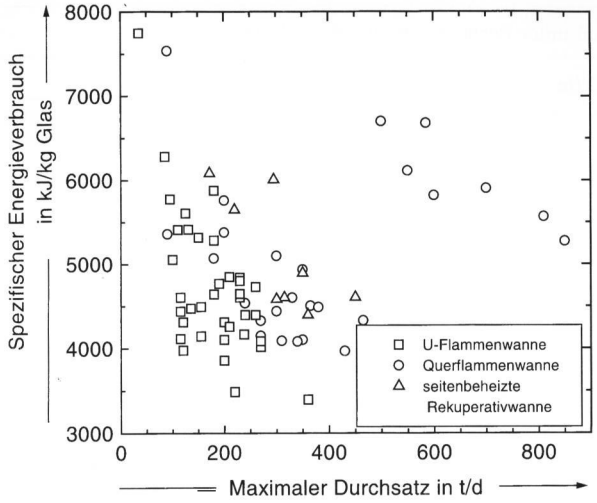

Bild 3. Spezifischer Energieverbrauch als Funktion des maximalen Tagesdurchsatzes unter Berücksichtigung der Wannenart.

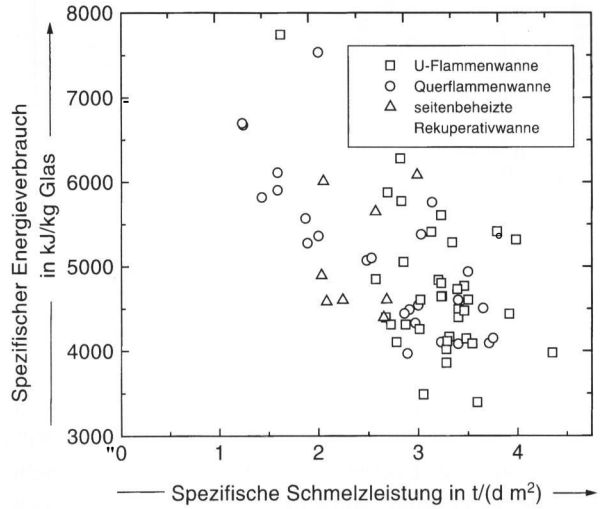

Bild 4. Spezifischer Energieverbrauch als Funktion der spezifischen Schmelzleistung unter Berücksichtigung der Wannenart.

Alterung der Wannen und der damit verbundene erhöhte Energieverbrauch. Dies zeigt auch, daß die feuerungstechnischen und energiemindernden sowie teilweise auch die emissionsmindernden primären Maßnahmen der letzten Jahre zu einem erniedrigten Energieverbrauch beitragen.

Bild 3 gibt den Zusammenhang zwischen dem spezifischen Energieverbrauch und dem maximalen Tagesdurchsatz wieder. Es fällt auf, daß die bei der Umfrage erfaßten Floatwannen rechts oben eine eigene Gruppe bilden. Bei den Floatwannen wie bei den restlichen Schmelzanlagen zeigt sich jedoch, daß bei erhöhtem Tagesdurchsatz der Energieverbrauch sinkt, da der Anteil der Energieverluste im Verhältnis zum Energieaufwand geringer wird [3].

Bild 4 bezieht den spezifischen Energieverbrauch auf die spezifische Schmelzleistung der Wanne. Auch hier bekommt man den optischen Eindruck, daß mit erhöhter spezifischer Schmelzleistung eine Erniedrigung des Energieverbrauchs einhergeht. Allerdings wird in der Praxis beobachtet, daß ab einer spezifischen Schmelzleistung von etwa 3,3 t/(m² d) der spezifische Energieverbrauch einer Wanne wieder ansteigt [18]. Bild 5 zeigt die entsprechenden Betriebsdaten einer Umfrage aus dem Jahre 1962 [2].

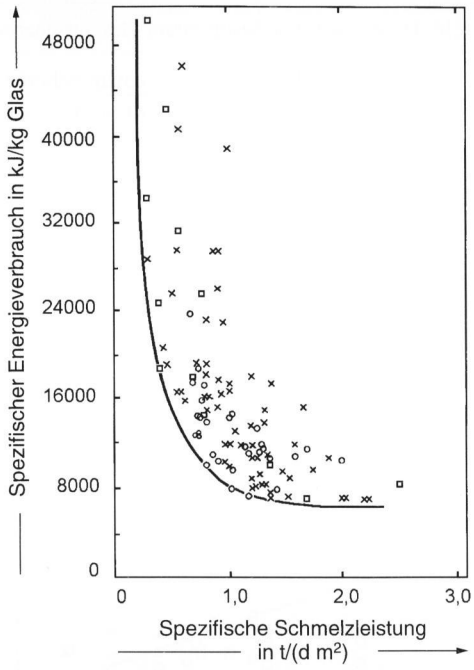

Bild 5. Spezifischer Energieverbrauch als Funktion der spezifischen Schmelzleistung unter Berücksichtigung der Glasart von 1962 [2]. ×: Hohl- und Preßglas, ○: Flachglas, □: Spezialglas.

5.2 Scherbeneinsatz

Der Einsatz von Scherben verringert den Energieverbrauch der Glasschmelze bei der Zugabe von 1 % Scherben theoretisch um etwa 8 kJ/kg Glas [19]. In der Literatur [20 und 21] werden Werte aus der Praxis zwischen 1 und 5 % Energieersparnis pro 10 Gew.-% Scherbenanteil genannt. Neuere Veröffentlichungen [22 und 23] sprechen von 2,2 bis 4 % Energieersparnis pro 10 Gew.-% Scherben. Neueste thermodynamische Berechnungen [13] ergaben 3,3 % Energieeinsparung pro 10 Gew.-% Scherben, die dem theoretischen Wert von etwa 8 kJ/kg Glas bei 1 % Scherben entsprechen.

Tabelle 9 zeigt, wie hoch der Gesamtscherbenanteil unter Berücksichtigung der Farbe des erschmolzenen Glases zur Zeit ist. Dabei beträgt der maximale Gesamtscherbenanteil bei Grünhohlglas 100, bei Braun- und Weißhohlglas 80, bei feuille-morte-farbenem Glas fast 70 und bei halbweißem Glas 60 %. Bei den sonstigen Farben betrug der maximale Scherbenanteil 1993 bis 40 %. Die Scherbengehalte bei Grünglas von 20 bis 40 % werden an Flachglaswannen gefahren. Dies gilt auch für einen Teil der geringen Scherbengehalte bei weißem und halbweißem Glas.

Tabelle 9. Anzahl der Wannen mit bestimmtem Gesamtscherbenanteil unter Berücksichtigung der Glasfarbe

Glasfarbe	Anzahl der Wannen mit einem Scherbenanteil (in %) von								
	10 bis 19	20 bis 29	30 bis 39	40 bis 49	50 bis 59	60 bis 69	70 bis 79	80 bis 89	90 bis 100
weiß	1	7	1	5	13	6	6	–	–
halbweiß	–	3	2	–	1	–	–	–	–
grün	–	1	2	–	–	1	2	13	3
braun	–	–	2	1	1	4	4	–	–
feuille morte	–	–	1	–	–	1	–	–	–
sonstige	–	1	1	–	–	–	–	–	–

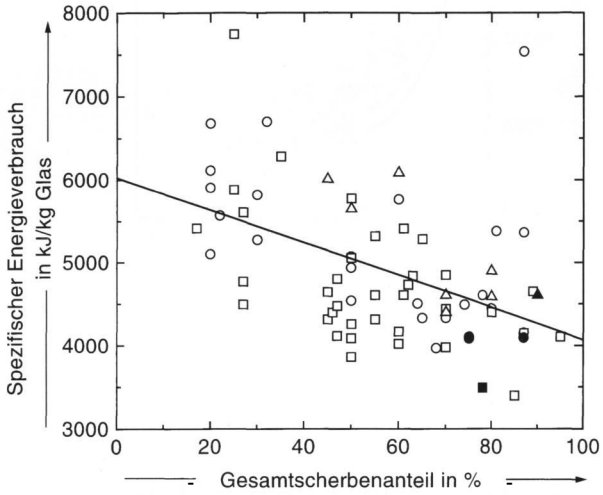

Bild 6. Spezifischer Energieverbrauch als Funktion des Gesamtscherbenanteils unter Berücksichtigung der Wannenart (——: Trendverlauf aller Wannen, ○: Querbrennerwanne, ●: Querbrennerwanne mit Vorwärmer, □: U-Flammenwanne, ■: U-Flammenwanne mit Vorwärmer, △: seitenbeheizte Rekuperativwanne, ▲: seitenbeheizte Rekuperativwanne mit Vorwärmer).

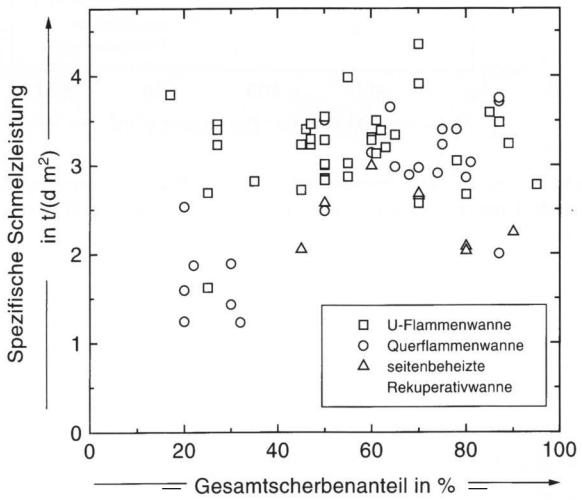

Bild 7. Einfluß des Gesamtscherbenanteils auf die maximale spezifische Schmelzleistung unter Berücksichtigung der Wannenart.

Aus Bild 6 kann man die Energieersparnis beim Scherbeneinsatz durch die Erstellung einer Ausgleichsgeraden ermitteln. Es ergibt sich dabei eine Senkung des spezifischen Energieverbrauchs von 3,3% für je 10% Scherben. Es stellt sich allerdings die Frage, inwieweit die gleichzeitige Erhöhung des Scherbengehaltes und der spezifischen Schmelzleistung an einer Wanne einander beeinflussen bzw. verstärken, was die Erniedrigung des Energieverbrauches betrifft (siehe Bild 4). Bild 7 zeigt, daß ein Einfluß der Gesamtscherbenmenge auf die erreichte maximale spezifische Schmelzleistung bis etwa 80% Scherben zu sehen ist. Mit steigendem Scherbenanteil zeigt sich bis zu etwa 80% Gesamtscherbenanteil eine steigende Tendenz für die maximale spezifische Schmelzleistung.

5.3 Rohstoffvorwärmung

Nur vier von 71 erfaßten Wannen wurden mit einer Scherben- und/oder Gemengevorwärmung betrieben. Die Energieersparnis durch die Scherbenvorwärmung auf etwa 250 bis 300 °C liegt nach [24] bei 12% für eine reine Scherbenschmelze. In [25] wird über praktische Erfahrungen berichtet, bei denen durch die Zuschaltung einer Rohstoffvorwärmung der Tagesdurchsatz erhöht und gleichzeitig der spezifische Energieverbrauch erniedrigt wurde. Bei einem Scherbengehalt von rund 55% wurde so eine Energieeinsparung von 20% erreicht. Energieeinsparungen von 8 bis 12% bei einem Scherbengehalt von 50% oder mehr sowie einer Vorwärmtemperatur von ungefähr 500 °C werden bei der Vorstellung eines Scherbenvorwärmers [26] angekündigt.

Bei den vier Wannen mit Vorwärmung ist nur an einer Wanne ein verminderter Energieverbrauch (3500 kJ/kg Glas) im Vergleich mit anderen entsprechenden Wannen festzustellen, während die restlichen drei Wannen zwar unter dem mittleren spezifischen Energieverbrauch (zwischen 4000 und 4900 kJ/kg Glas) liegen, aber keine deutlicheren Effekte zeigen (Bild 6).

6. Zusammenfassung von Teil 1 und 2

Für die Massenglasherstellung in der Behälter- und Flachglasindustrie werden vor allem drei Ofentypen im deutschsprachigen Raum eingesetzt: regenerativ beheizte Querbrenner- sowie U-Flammenwannen und seitenbeheizte Rekuperativwannen. Außerdem wurden Ende 1993 ein LoNOX®-Melter und zwei Flex®-Melter genutzt, um Glasbehälter zu erzeugen. 56% der Wannen werden mit Erdgas beheizt und 44% mit Schweröl befeuert. Über 50% der erschmolzenen Kalk-Natronsili-

Tabelle 10. Beurteilung der Bedeutung von emissionsmindernden bzw. energieeinsparenden Maßnahmen im Ofenbau

Maßnahme	Anzahl der Glashersteller und ihre Gewichtung der Maßnahme von 1 bis 6					
	unbedeutend			⟶		sehr wichtig
	1	2	3	4	5	6
Sauerstoffwanne	3	4	5	0	6	3
emissionsarme Wanne	2	2	5	4	5	3
vollelektrische Wanne	10	2	0	3	5	1
Rohstoffvorwärmung	4	3	5	3	1	5

catgläser sind weiß, etwa 25 % grün. Die größte Hohlglaswanne, die von der Umfrage erfaßt wurde, hat eine Schmelzfläche von fast 200 m^2, während die größte Flachglaswanne fast 480 m^2 erreicht. Die Badtiefe der Glasschmelzwannen liegt bei der Mehrzahl der Wannen zwischen 116 und 135 cm. Etwa einmal pro Tag wird der Inhalt der Glaswanne umgesetzt. Die Durchsätze erreichen im Behälterglasbereich über 400 und bei Floatglas über 800 t/d. Die maximale spezifische Schmelzleistung der Glasschmelzwannen betrug bei der Mehrzahl der Wannen 2,76 bis 3,75 und erreichte im Maximum fast 4,5 t/(m^2 d).

Nur 13 von 71 Wannen besitzen keine Strömungshilfen, um die Glasqualität bzw. -homogenität zu verbessern. In 52 Wannen ist ein Wall eingebaut, in 31 Wannen sind Bubbler vorhanden, und 27 besitzen einen vertieften Läuterteil. An 52 Wannen ist eine elektrische Zusatzheizung installiert. Von den 13 Wannen ohne Strömungshilfe besitzen sechs auch keine elektrische Zusatzheizung.

Der spezifische Energieverbrauch der bei der Umfrage erfaßten Wannen lag im Mittel bei 4905 kJ/kg Glas. Der maximale Gesamtscherbenanteil, mit dem heute grünes Hohlglas erschmolzen wird, beträgt 100 %. Bei braunem und weißem Behälterglas liegt der maximale Gesamtscherbenanteil bei 80, bei feuille-morte-farbenem bei fast 70 und bei halbweißem bei fast 60 %.

Im Vergleich mit einer Umfrage aus dem Jahr 1962 ist der Fortschritt bei der Verminderung des Energieverbrauchs und der Erhöhung der spezifischen Schmelzleistung gut zu erkennen. Der Anteil der einzelnen Glasfarben hat sich verändert, und die Schmelzaggregate selbst sind einheitlicher aufgebaut und vor allem größer geworden.

7. Ausblick

Der immer wirtschaftlicher werdende Einsatz von Sauerstoff und die Auflagen im Bereich des Umweltschutzes führen momentan zu einer Neuentwicklung im Ofenbau. Die sauerstoffbeheizten Wannen, die in den USA zuerst in der Spezialglasherstellung eingesetzt wurden, haben dort und in Europa inzwischen den Bereich der Hohlglasfertigung erobert. Ende 1996 wurden in den Niederlanden und auch in Deutschland Hohlglaswannen mit Sauerstoff-Brennstoff (Oxy-Fuel)-Beheizung betrieben sowie Glasschmelzaggregate zur Erzeugung von Bildschirmen und Faserprodukten. Die Abwärmenutzung wird bei diesem Wannentyp neue Wege beschreiten bzw. schon genutzte Techniken ergänzen müssen. Auch die Wahl des feuerfesten Materials muß neu überdacht und den geänderten Bedingungen (Abgaszusammensetzung, Temperatur) angepaßt werden. Wannen mit verminderter Schadstoffemission, wie z.B. der LoNOX®-Melter, könnten durch verstärkte Umweltauflagen in Zukunft auch eine stärkere Rolle spielen, vor allem wenn sie mit der Sauerstoff-Brennstoff-Technologie kombiniert werden.

Bei einer Umfrage des DIFK – Deutsches Institut für Feuerfest und Keramik, Bonn, im Jahr 1995 war bei der Frage nach der Wichtigkeit von emissionsmindernden bzw. energieeinsparenden Maßnahmen die in Tabelle 10 dargestellte Wichtung für die zukünftige Bedeutung von Sauerstoffwannen, emissionsarmen Wannen, vollelektrischen Wannen und Rohstoffvorwärmung abgegeben worden.

Seit dem Zeitpunkt der Umfrage sind mehrere sauerstoff-brennstoffbeheizte Wannen in Deutschland in Betrieb gegangen, so daß sich die Beurteilung zu diesem Thema durchaus geändert haben kann. Auffallend ist auch, daß nicht nur Betreiber von vollelektrischen Wannen der vollelektrischen Schmelze die hohe Wertung 5 gaben, sondern auch Hersteller sogenannter Massengläser über die Alternative vollelektrische Schmelze nachdenken. Die bei der Wannenumfrage der HVG ermittelte geringe Anzahl von Aggregaten, an denen eine Rohstoffvorwärmung installiert ist, erklärt auch die teilweise sehr hohe Wichtung, die dieses Thema in naher Zukunft bei einigen Glasherstellern einnehmen wird.

*

Der Autor dankt allen beteiligten Hütten für ihre Mitarbeit; denn ohne die hohe Akzeptanz, intensive Mitarbeit und angeregte Diskussion von seiten der Glasindustrie wäre eine Auswertung der Umfrage in dieser Form nicht möglich gewesen.

8. Literatur

[1] Fleischmann, B.: Konventionell beheizte Hohl- und Flachglaswannen im deutschsprachigen Raum. T. 1. Beheizung, bauliche Merkmale, Schmelzleistung. Glastech. Ber. Glass Sci. Technol. **70** (1997) Nr. 2, S. N11–N16.

[2] Vergleich der Betriebsdaten verschiedener Glasschmelzwannen (Auswertung einer Umfrage zur Sammlung wärmetechnischer Unterlagen. Nov. 1962). T. 1 u. 2. Interne Mitt. Frankfurt/M.: HVG, 1962.

[3] Trier, W.: Glasschmelzöfen. Konstruktion und Betriebsverhalten. Berlin (u.a.): Springer, 1984.

[4] HVG-Fortbildungskurs: Bauweise von Glasschmelzwannen. Frankfurt/M.: HVG, 1960.

[5] Pieper, H.: Konzeption einer Regenerativwanne mit vertikalem Läuterteil. HVG-Mitt. Nr. 1378. 1978.

[6] Illig, H.-J.: ABC Glas. Leipzig: Dtsch. Verl. Grundstoffind., 1991.

[7] Pincus, A. G.; Diken, G. M.: Electric melting in the glass industry. New York: Books for Industry and Glass Ind. Mag., 1976.

[8] Lehmann, R. L.: Electric melting in the glass industry. 2nd ed. New York: Ashlee, 1993.

[9] Weber, J.: Beheizen von Glasschmelzen mittels Elektroden (Joulescher Wärme). In: HVG-Fortbildungskurs: Elektroschmelzen von Glas. Frankfurt/M.: HVG, 1990. S. 45–66.

[10] Bericht über das Glasschmelzwannenöfen-Kolloquim der HVG im Oktober 1958. HVG-Mitt. Nr. 792. 1958.

[11] Hufen, W.; Dämmer, H.; Liehn, W.: Überlegungen zur Wahl der Glasbadtiefen in Hohl-, Flach- und Spezialglaswannen. HVG-Mitt. Nr. 1305. 1975.

[12] Heide, K.; Reisch, R.; Reusche, P. u.a.: Meßmethodische Probleme bei der Analyse des Glasschmelzprozesses. Silikattechnik **36** (1985) Nr. 3, S. 70–72.

[13] Madivate, C.; Müller, F.; Wilsmann, W.: Thermochemistry of the glass melting process – Energy requirement in melting soda–lime–silica glasses from cullet-containing batches. Glastech. Ber. Glass Sci. Technol. **69** (1996) Nr. 6, S. 167–178.

[14] Kröger, C.: Theoretischer Wärmebedarf der Glasschmelzprozesse. Glastech. Ber. **26** (1953) Nr. 7, S. 202–214.

[15] Bonetti, G.: Thermodynamische Berechnung zur Abschätzung des Energieverbrauchs während der Glasschmelze. (Orig. Ital.) Riv. Stn. Sperim. Vetro **16** (1986) Nr. 1, S. 11–22.

[16] Fleischmann, B.: Öfen zur vollelektrischen Schmelze von Glas in Deutschland. Glastech. Ber. Glass Sci. Technol. **67** (1994) Nr. 12, S. N157–N161.

[17] Unveröff. Ergebnisse der HVG. 1996.

[18] Pieper, H.: Pers. Mitt. 1996.

[19] Trier, W.; Lauter, J.; Schumacher, L.: Einsatz von Altglasscherben zur Glasschmelze. Fachausschußber. Nr. 71. Frankfurt/M.: Dtsch. Glastech. Ges., 1978.

[20] Stewart, G. M.: How foreign cullet usage affects container production. Glass Ind. **66** (1985) Nr. 13, S. 14–23.

[21] Lubisch, G.; Trier, W.: Energiebedarf bei der Herstellung von Behälterglas in Abhängigkeit vom Scherbenanteil. Glastech. Ber. **52** (1979) Nr. 6, S. 141–142.

[22] Clasen, G. A.: Recycling development and technology update. Glass **66** (1989) Nr. 6, S. 217, 220.

[23] Turton, G.; Argent, R. D.: How to use energy efficiently in container glass furnaces. Glass Ind. **69** (1988) Nr. 8, S. 20–23.

[24] Zippe, B.-H.: Reliable cullet preheater for glass furnaces. (In Ital. u. Engl.) Vetro-Inf. (1991) Nr. 61, S. 22–30.

[25] Enninga, G.; Dytrych, K.; Barklage-Hilgefort, H.: Practical experience with raw-material preheating on glass melting furnaces. Glastech. Ber. **65** (1992) Nr. 7, S. 186–191.

[26] Herzog, J.; Settimo, R. J.: An energy-saving cullet preheater. Glass Ind. **73** (1992) Nr. 10, S. 36–39.

0397T010

Anschrift des Verfassers:
B. Fleischmann
Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie (HVG)
Mendelssohnstraße 75–77, D-60325 Frankfurt/M.