

DK 666.1.031.21

## Besonderheiten der Konstruktion und Betriebsweise kleiner Wannen

### Allgemeiner Überblick

Von RUDOLF MEISTER, Frankfurt (Main)

(Vortrag auf dem HVG-Kolloquium „Konstruktion und Betrieb kleiner Glasschmelzwannen“ am 25. Oktober 1963 in Frankfurt (Main))

(Eingegangen am 28. Oktober 1963)

In der Praxis streut die spezifische Schmelzleistung kleiner Wannen verhältnismäßig stark. Dies ist zum Teil eine Folge unterschiedlicher Qualitätsanforderungen an die erschmolzenen Gläser oder vorhandener Unterschiede im Ausnutzungsgrad der Wannen. Außerdem haben auch konstruktive und betriebsbedingte Besonderheiten wesentlichen Einfluß. Es wird versucht, die Anpassung von Beheizungssystem und Gemengeeinlage an die konstruktiven Eigenheiten kleiner Wannen zu beurteilen und auf Besonderheiten ihrer Betriebsweise einzugehen.

### 1. Abmessungen, Betriebsverhalten

Als kleine Glasschmelzwannen werden Anlagen mit einer Schmelzwannenfläche bis 30 m<sup>2</sup> betrachtet. Oberhalb dieser Grenze liegen die mittleren und großen Wannen. Nach unten ist die Schmelzfläche kleiner Wannen, soweit es sich um kontinuierlich arbeitende Anlagen handelt, durch eine Größe von etwa 2 m<sup>2</sup> begrenzt. Es ist zweifellos schwierig, auf der Basis einer so kleinen Wanne das eingelegte Gemenge kontinuierlich abzuschmelzen und die Schmelze im Läuterbereich zu entgasen, um dann aus der Arbeitswanne das Glas mit der erforderlichen Qualität entnehmen zu können.

Kleine Wannen sind ganz allgemein den Störungen durch Unregelmäßigkeiten in der Beschickung und Beheizung um so stärker unterworfen, je mehr sie sich der unteren Grenze der Abmessung von Wannenbecken und Ofenraum nähern, die den richtigen Ablauf der Schmelzreaktionen und der Verbrennung erschwert. Hinzu kommt der wachsende Einfluß der Wärmeabgabe der Wandungen, der sich auf den Wärmehaushalt der Schmelze und den Brennstoffverbrauch der Anlage ungünstig auswirkt. In Bild 1 ist der Verlauf des Quotienten aus Wannenaußenfläche und Schmelzfläche  $F_A/F_S$  über der Schmelzfläche aufgetragen. Er läßt erkennen, daß die je m<sup>2</sup> Schmelzfläche notwendige Außenwandfläche von Wannenbecken und Ofenraum für kleine Wannen steil ansteigt und mit zunehmender Schmelzflächengröße langsam abfällt. Als Parameter ist das Längen/Breitenverhältnis  $L/B = 1,0, 1,5$  und  $6,0$  gewählt worden, um den Einfluß der Grundrißform des Wannenbeckens ebenfalls zum Ausdruck zu bringen.

Eine Begleiterscheinung des Schmelzens in kleinen Wannen ist also die schwierigere Beherrschung des Schmelzverlaufs. Daraus folgt eine Beschränkung der Schmelzleistung bei höherem spezifischem Wärmeverbrauch. Bild 2 läßt den Zusammenhang zwischen spezifischer Schmelzleistung und Schmelzfläche für Wannen bis zu einer Größe von 30 m<sup>2</sup> erkennen. Eingetragen sind die Daten von 69 Wannen für verschiedene

Glastypen, die besonders gekennzeichnet sind. Sieht man von den Spezialgläsern ab, dann ist ein Anstieg der spezi-

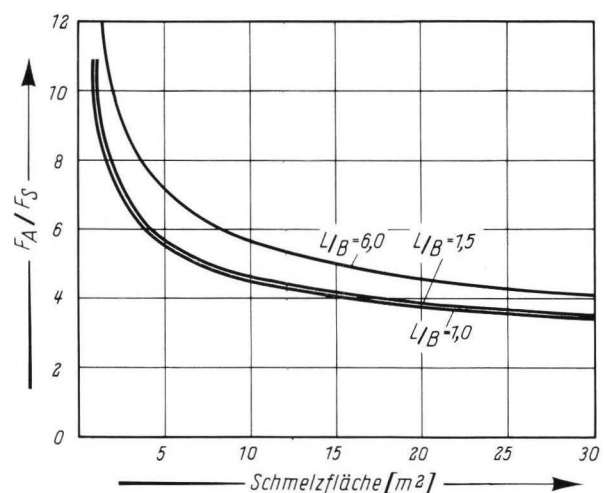


Bild 1. Verhältnis der Wannenaußenfläche  $F_A$  [m<sup>2</sup>] zur Schmelzfläche  $F_S$  [m<sup>2</sup>] für kleine Wannen.

$L/B$  = Längen/Breitenverhältnis.

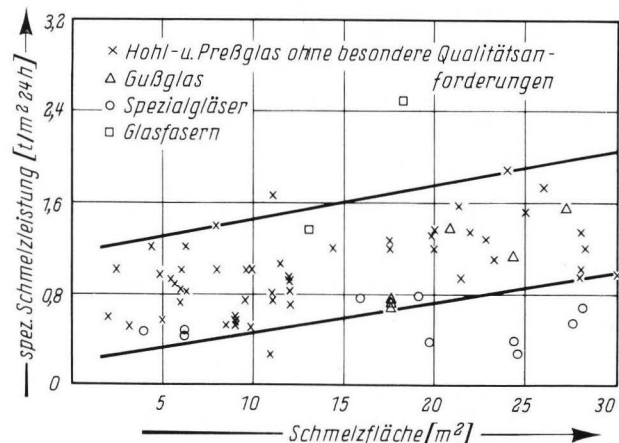


Bild 2. Spezifische Schmelzleistung, abhängig von der verfügbaren Schmelzfläche, für verschiedene Glastypen.

fischen Schmelzleistung mit größer werdender Badoberfläche festzustellen. Überraschend ist jedoch die Streuung der bei Wannen gleicher Größe erreichten spezifischen Schmelzleistung, die sich, z. B. für die Anlagen zur Erzeugung von Hohl- und Preßgläsern, ohne besondere Qualitätsanforderungen, im gesamten Bereich der Schmelzflächen bis 30 m<sup>2</sup> herauf zeigt. Man muß hier sicher berücksichtigen, daß zwischen diesen Anlagen evtl. Unterschiede im Ausnutzungsgrad, d. h. dem Verhältnis der maximal möglichen zur ausgenutzten Schmelzleistung bestehen. Sie können durch Maschinenbetrieb oder Entnahme von Hand, durch Zwei- oder Dreischichtenbetrieb, durch Unterschiede im Artikelgewicht oder in der Anzahl der unterzubringenden Werkstellen usw. verursacht sein. Die Untersuchung zahlreicher Wannen durch die HVG zeigte in den letzten Jahren jedoch, daß immer auch die konstruktiven Merkmale der einzelnen Ofenanlagen einen wesentlichen Einfluß auf die Leistung und den Brennstoffverbrauch ausüben. Es soll deshalb im folgenden ein Überblick über die Hauptmerkmale der Konstruktion und Betriebsweise kleiner Wannen gegeben werden, wobei versucht wird, Wannengrundriß, Gemengeeinlage und Beheizungssystem in ihrem Zusammenspiel zur Sicherstellung eines optimalen Betriebsergebnisses zu beurteilen.

**2. Konstruktive Merkmale kleiner Wannen**

**2.1. Wannengrundriß — Verhältnis der Länge zur Breite**

Kontinuierlich arbeitende Glasschmelzwannen können sich wesentlich in ihrer Grundrißform und der Art,

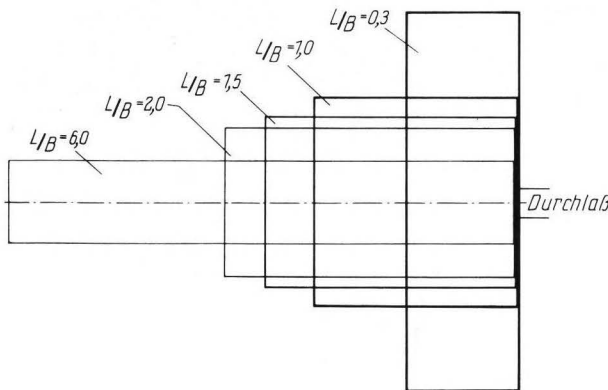


Bild 3. Grundrißformen von Glasschmelzwannen mit verschiedenem Längen/Breitenverhältnis bei gleicher Schmelzfläche.

wie sie beheizt werden, unterscheiden. Die Form der Schmelzwanne wird am besten so gewählt, daß sie mit optimalem Wirkungsgrad beheizt und das eingelegte Gemenge innerhalb des zur Schmelze verfügbaren Teils der Badoberfläche und ohne Einschränkung der Läuterfläche abgeschmolzen werden kann. Dadurch ist — abgesehen von weiteren Einflußgrößen, wie Badtiefe, Gestaltung und Eintauchtiefe des Durchlasses, Größe der Arbeitswanne, Art der Konvektionsströmungen und der zu ihrer Beeinflussung angewendeten Hilfsmittel — eine wichtige Voraussetzung für die wirtschaftliche Arbeitsweise der Wanne bei befriedigender Glasqualität erfüllt.

Der Grundriß der Schmelzwanne ist durch das Verhältnis ihrer Länge L zur Breite B festgelegt. Als Länge wird einheitlich der Abstand zwischen Stirnwand und Durchlaß in der Wannenachse angesehen. Bei gleicher Größe der Schmelzwannenfläche sind verschiedene Längen-Breitenverhältnisse möglich. Bild 3 zeigt verschiedene Grundrißformen von Schmelzwannen mit voneinander abweichendem Längen/Breitenverhältnis bei gleicher Schmelzfläche. Kleine Längen/Breitenverhältnisse von z. B. 0,3 entsprechen einer Wannenform, wie sie früher bei Gußglaswannen üblich war. Quadratische und rechteckige Wannen entsprechen mehr den bei U-Flammenbeheizung angewandten Grundformen, während mit steigendem Längen/Breitenverhältnis seitenbeheizte Wannen vorgezogen werden. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die für verschiedene Größen der Schmelzwannenfläche in Abhängigkeit vom

Tabelle 1. Abmessungen für verschiedene Wannengrundgrößen abhängig von L/B

Fläche der Schmelzwanne F [m <sup>2</sup> ]	Länge/Breite (L/B) —	Breite B $\sqrt{\frac{F}{L/B}}$ [m]	Länge L F/B [m]	Beheizungsart
30	0,3	10,00	3,00	Q
	0,6	7,08	4,23	Q
	1,0	5,475	5,475	Q und St
	1,5	4,47	6,7	Q und St
	2,0	3,875	7,75	Q und St
	4,0	2,75	11,0	S
20	0,3	8,15	2,45	Q
	0,6	5,76	3,47	Q
	1,0	4,47	4,47	Q und St
	1,5	3,65	5,46	St evtl. Q
	2,0	3,16	6,33	St und S
	6,0	1,83	11,0	S
10	0,3	5,75	1,74	Q
	0,6	4,07	2,45	Q
	1,0	3,16	3,16	St
	1,5	2,58	3,88	St
	2,0	2,24	4,47	St
	5,0	1,22	6,1	S

Q = querbeheizt; St = stirnbeheizt; S = seitenbeheizt.

Längen/Breitenverhältnis errechneten Abmessungen des Wannenbeckens.

Die in der letzten Spalte angegebene Beheizungsart soll auf die — abhängig von den Wannenabmessungen — günstigste Art der Beheizung hinweisen. Dabei ist unter einer querbeheizten Anlage eine Wanne zu verstehen, deren Brenner in den Seitenwänden liegen und deren Flammen bzw. Verbrennungsgase quer zur Längsachse über das Bad geführt werden. Die seitenbeheizte Wanne unterscheidet sich von ihr durch die Führung der Flammen bzw. der Verbrennungsgase längs der Wanne, z. B. in Richtung zur Stirnwand oder zum Durchlaß hin.

Die Tabelle zeigt, daß für Wannen zwischen 30 und 20 m<sup>2</sup> fast alle angeführten Längen/Breitenverhältnisse annehmbare Abmessungen ergeben, die sich entweder für die Beheizung von der Seitenwand oder der Stirnwand her, gut eignen. Mit kleiner werdender Schmelzfläche bedarf es jedoch sorgfältiger Überlegung, um die Wannenform auszuwählen, die im Hinblick auf die Produktion ein optimales Betriebsergebnis verspricht.

## 2.2. Anpassung des Beheizungssystems und der Gemengeeinlage an die Wannenform

Der Wirkungsgrad des Beheizungssystems muß nach verschiedenen, aber eng miteinander verknüpften Gesichtspunkten beurteilt werden. Die Schmelzleistung einer Wanne mit gegebener Schmelzfläche ist um so größer, je mehr Wärme pro Flächeneinheit an das Glasbad übertragen werden kann. Die Wärmeübertragung wird von verschiedenen Größen bestimmt, die z. T. auf den Brennstoffeigenschaften beruhen, wie Flammentemperatur und Schwärzegrad der Flamme. Unter anderem wird sie aber auch durch die Brenneranordnung beeinflusst. Als Kenngröße läßt sich das Verhältnis der von der Flamme bedeckten Badoberfläche zur gesamten Schmelzfläche angeben.

Neben der erreichbaren Schmelzleistung spielt auch der Wärmeverbrauch der Anlagen eine wichtige Rolle. Er hängt davon ab, welcher Anteil der mit dem Brennstoff zugeführten Wärmemenge im Ofenraum an Schmelze und Wandungen abgegeben werden kann. Man spricht in diesem Zusammenhang vom feuerungstechnischen Wirkungsgrad, der um so günstiger ist, je höher die Vorwärmung der Verbrennungsluft und je kleiner der Wärmehalt der Verbrennungsgase am Austritt aus dem Ofenraum wird. Hier macht sich ebenso wie bei der Wärmeübertragung der Einfluß der konstruktiven Ausbildung des Unterofens über die erreichbare Flammentemperatur bemerkbar. Die Wärmeabgabe der Flammen und Verbrennungsgase im Ofenraum wird begünstigt, wenn der Flammenweg groß ist, wie z. B. bei den U-Flammenwannen, oder die Aufenthaltszeit der Verbrennungsgase durch andere Maßnahmen, z. B. die Bemessung des Strömungsquerschnitts, vergrößert wird.

Die Wärmeabgabe im Ofenraum wird durch Abstrahlung in die Brenneröffnungen in unerwünschter Weise vergrößert. Anstelle des feuerungstechnischen Wirkungsgrades wurde z. B. von J. GAILHBAUD [1] ein Ausnutzungsfaktor vorgeschlagen, der nur die als Nutz- und Wandungswärme im Ofenraum abgegebene Wärmemenge berücksichtigt. Zur Beurteilung des Beheizungssystems in Verbindung mit der Wannenform sind also als wichtigste Faktoren das durch die Brenneranordnung verwirklichte Verhältnis der flammenbedeckten zur gesamten Schmelzfläche und der Flammenweg bzw. die Aufenthaltszeit der Verbrennungsgase positiv, die größere Anzahl der Brenneröffnungen dagegen negativ zu werten.

Die Lage des Einlegevorbaus zum mechanischen Einlegen des Gemenges muß im Zusammenhang mit der Brenneranordnung betrachtet werden, da sich beide in ihrem Anschluß an den Ofenraum bzw. das Wannenbecken in den verfügbaren Platz teilen müssen. Die Anordnung des Einlegevorbaus wird danach beurteilt, wie der zur Gemengesmelze verfügbare Teil der Badoberfläche ausgenutzt, d. h. wie gleichmäßig das Gemenge in diesem Bereich verteilt wird. Bei stirnbeheizten Wannen kann sich die einseitige Anordnung des Einlegevorbaus als störende Unsymmetrie im Beheizungssystem auswirken. Die genannten Einflußgrößen werden als Beurteilungsmaßstab verwendet. Die Abstimmung von Beheizungssystem und Gemengeeinlage nach diesen Gesichtspunkten soll nun für Wannen verschiedenen Längen/Breitenverhältnisses  $L/B$  diskutiert werden.

### 2.2.1 Wannen mit kleinem Längen/Breitenverhältnis

Zur Beurteilung der Wannen, abhängig vom Längen/Breitenverhältnis, wird die in Tabelle 1 gewählte Unterteilung benutzt. Im Bild 4a ist der Grundriß für eine regenerativ beheizte Wanne mit  $L/B = 0,3$  dargestellt. Auch hier wird der Abstand zwischen Durchlaß und Stirnwand als Länge betrachtet, entgegen dem Sprachgebrauch, der die Ofenseite mit der größten Abmessung als Länge bezeichnet. Durch die Anordnung eines Brennerpaares in den Seitenwänden wird ein sehr

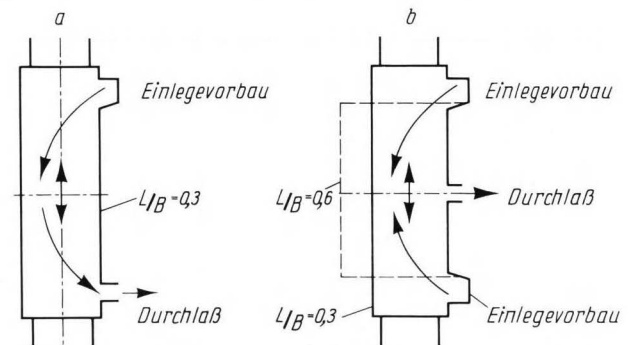


Bild 4. Anordnung von Brennern und Einlegevorbauten für Wannen mit  $L/B = 0,3$  und  $L/B = 0,6$ .

günstiges Verhältnis der flammenbedeckten zur Gesamtoberfläche des Glasbades (82%) erreicht. Der Flammenweg beträgt für Wannengrößen von 30, 20 und 10 m<sup>2</sup> 10, 8,15 und 5,75 m und sichert somit ein hohes Maß an Wärmeabgabe im Ofenraum. Da nur ein Brennerpaar vorhanden ist, bleiben die Wärmeverluste durch Abstrahlung in die Brenneröffnungen gering. Die gewählte Brenneranordnung läßt also für Wannen mit ähnlichem Verhältnis von  $L/B$  ein hohes Maß an Wärmeübertragung bei günstigem Brennstoffverbrauch erwarten.

Der mit der Wannenbreite gegebene große Abstand läßt die Anordnung von Einlegevorbau und Durchlaß in Nähe der Brenner zweckmäßig erscheinen (Bild 4a). Dadurch wird der Weg des Gemenges zum Schmelzen und der Schmelze zum Läutern soweit als möglich verlängert. Der Einlegevorbau ist nicht, wie vielfach üblich, in die dem Durchlaß gegenüber liegende Seite verlegt, da so eine günstigere Gemengelage und bessere Glasqualität erreicht werden kann.

In Bild 4b sind zwei Einlegevorbauten in Nachbarschaft der Brenner angeordnet mit dem Durchlaß in der Mitte zwischen beiden Brennern. Man erhält damit, vom Durchlaß aus gesehen, eine symmetrische Gemengeverteilung und kann stabilere Strömungsverhältnisse in der Wanne erwarten. Diese Anordnung wird bei Wasserglaswannen bevorzugt, die praktisch keine Arbeitswanne besitzen.

Im gleichen Bild 4b ist außerdem der Grundriß einer Wanne für ein Längen/Breitenverhältnis  $L/B = 0,6$  eingetragen. Bei Anwendung eines Brennerpaares muß der Brenner sehr breit gehalten werden, bei zwei Brennerpaaren würde sich das Verhältnis der flammenbedeckten zur Gesamtfläche von 0,86 auf 0,57 vermindern. Da auch der Flammenweg nur noch 70% des vorherigen beträgt, bringt der Übergang auf  $L/B = 0,6$  keinen Vorteil. Nachteilig ist weiterhin, daß Einlegevorbau und Arbeitswanne

schwerer auf der gleichen Seite untergebracht werden können, obwohl dies wichtiger erscheint als bei dem kleinen Verhältnis  $L/B = 0,3$ .

### 2.2.2. Quadratische und rechteckige Wannen mit $L/B = 1,0$ bis $2,0$

Wannen mit quadratischem Grundriß haben den Vorteil der kleinsten Außenwandfläche, bezogen auf die Schmelzfläche, d. h. der kleinsten Wandverluste. Bis zu einer Größe von 20 bis 30 m<sup>2</sup> lassen sie sich noch gut als Querbrennerwannen ausbilden, aber auch U-Flammenwannen dieser Größe sind vielfach üblich. Mit kleinerer Schmelzfläche wird zweckmäßig über Stirnbrenner beheizt. Bild 5 zeigt die drei Möglichkeiten für die Anordnung der Brenner und des Einlegevorbaus an quadratischen Wannen. Bei Verwendung von zwei Brennerpaaren werden etwa 56% der Badoberfläche von der

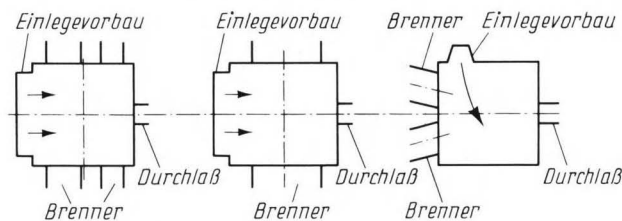


Bild 5. Quadratische Wannen  $L/B = 1,0$ .

Flamme bestrichen, bei nur einem Brennerpaar 67%. Der Flammenweg beträgt jedoch für eine Schmelzflächen­größe von 20 m<sup>2</sup> nur noch  $\sim 4,5$  m, bei noch kleinerer Schmelzfläche wird die Wärmeausnutzung im Ofenraum im Vergleich zur U-Flamme zu ungünstig. Für die Gemengeeinlage steht bei querbeheizten Wannen die volle Breite der Stirnwand zur Verfügung, womit ein Gemengeteppich erzeugt werden kann, der die vorhandene Schmelzfläche sehr gut ausnutzt. In diesem Punkt ist die Stirnbrennerwanne mit in der Seitenwand liegendem Vorbau eindeutig im Nachteil. Es ist bisher nicht versucht worden, Wannen mit Längen/Breitenverhältnissen bis 1,0 rekuperativ statt regenerativ zu beheizen, da sich das Regenerativsystem für die gezeigte Brenneranordnung bewährt hat.

Mit zunehmend größerem Verhältnis  $L/B = 1,5$  bis  $2,0$  begünstigt der wachsende Abstand zwischen Stirnwand und Durchlaß die Beheizung über in den Wannen-Seitenwänden liegende Brenner. Da bei gleicher Schmelzfläche die Wannenbreite — d. h. Flammenweg und Wärmeabgabe — abnimmt, ist die Querbeheizung auf Wannen oberhalb 20 m<sup>2</sup> beschränkt. Nur in Sonderfällen, z. B. bei Spezialgläsern, wird der Vorteil der besseren Beherrschung der Schmelze den Nachteil des höheren Wärmeverbrauchs aufwiegen. Wannen unter 20 m<sup>2</sup> mit einem Verhältnis  $L/B = 1,5$  bis  $2,0$  werden bevorzugt von der Stirnwand aus beheizt. Sie sind seit vielen Jahren hauptsächlich als regenerativ beheizte U-Flammenwannen gebaut worden, vor allem, weil bei kleineren Wannen die Betonung weniger auf der höheren Schmelzleistung als auf dem günstigeren Wärmeverbrauch liegt.

Im Vergleich zu den quadratischen Wannen steht weniger Platz in der Stirnwand zur Verfügung, doch werden mit zunehmendem Abstand zum Durchlaß Flammenweg und der Weg für das eingelegte Gemenge bis zum Austritt des Glases in die Arbeitswanne größer. Die dadurch erzielte bessere Abgrenzung des Bereiches der Schmelze vom Läuterbereich ist für die weite Verbreitung rechteckiger U-Flammenwannen ausschlaggebend.

Die mit U-Flamme beheizte Wanne ist jedoch durch die mit der Feuerstellung wechselnde Wärmeübertragung an das Glasbad im Nachteil. Im Vergleich damit ist die rekuperativ beheizte Stirnbrennerwanne überlegen, weil dabei die gesamte Breite der Stirnwand für die Brenner zur Verfügung steht und so das Verhältnis der flammenbedeckten zur Gesamtoberfläche des Glasbades größer wird als bei der Beheizung mit der U-Flamme. Auch an diesen Wannen werden für die Zufuhr hochvorgewärmter Verbrennungsluft gemauerte Brenner benutzt. Die beiden bekanntesten Wannentypen dieser Art sind die Doppeldeckenwanne nach AMSLER MORTON und die Uniflow-Wanne nach TEISEN. Bild 6 zeigt eine moderne Doppeldeckenwanne mit stehendem Rekuperator, eingerichtet für Ölbeheizung. In der Stirnwand sind zwei Brennermündungen vorgesehen. Jeder Brenner ist mit zwei Ölzerstäubern, die durch eine Stufe in der Brennerbank zerstäuben, ausgerüstet. Gegenüber einer mit einem Stirnbrennerpaar regenerativ beheizten U-Flammenwanne ist durch die Verdoppelung des Verhältnisses der flammenbedeckten zur Gesamtschmelzfläche eine Erhöhung der Schmelzleistung zu erwarten.

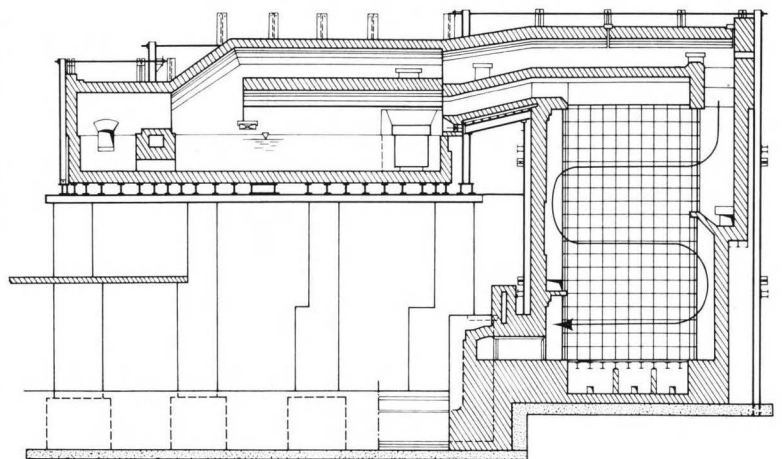


Bild 6. Längsschnitt durch eine rekuperativ beheizte Doppeldeckenwanne.

Bild 7 zeigt den Aufbau der rekuperativ beheizten Uniflow-Wanne von TEISEN. Der Grundriß der Wanne läßt den Weg der Flammen bzw. Verbrennungsgase bis in die an den beiden Wannenseiten in Durchlaßnähe angeordneten Abzüge erkennen. Der liegend durchströmte Rekuperator befindet sich unter der Wanne. Damit werden Abgas- und Luftschächte zwischen Rekuperator und Ofen verhältnismäßig lang und müssen gegen Wärmeverluste gut isoliert werden.

Rekuperativ beheizte Stirnbrennerwannen können ebenso wie die U-Flammenwannen bis herab zu den kleinsten Abmessungen der Schmelzfläche gebaut werden. Wegen der seitlich in Nähe der Stirnwand angeordneten Einlegevorbauten muß hinsichtlich der Aus-

nutzung der Schmelzfläche mit den gleichen Schwierigkeiten gerechnet werden wie bei U-Flammenwannen.

2.2.3. Wannen mit  $L/B = 2,0$  bis  $6,0$

Für lange Wannen geringer Breite (Unit Melter), wie sie Anfang der fünfziger Jahre in den USA ent-

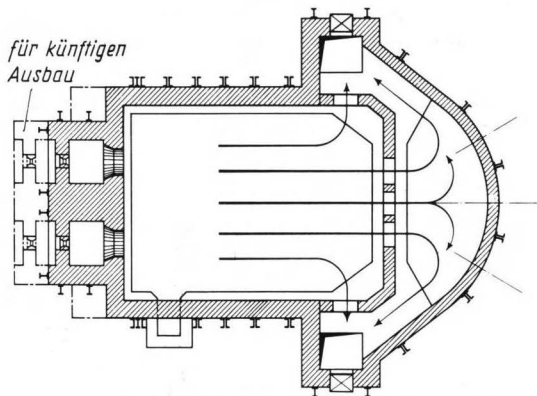
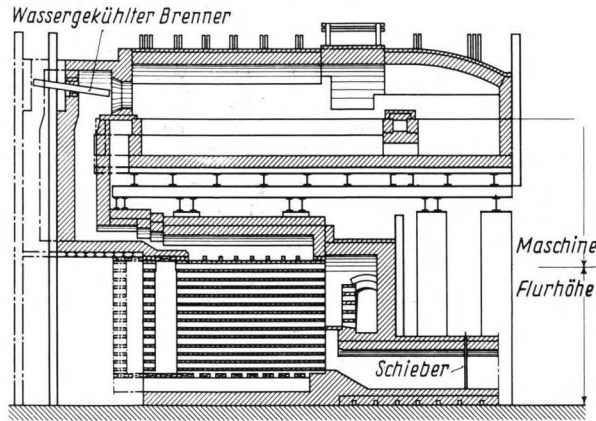


Bild 7. Uniflow-Wanne nach TEISEN.

wickelt wurden, werden die Brenner in den Seitenwänden untergebracht und die Verbrennungsgase über die ganze Länge der Wanne zum Abzug geführt. Dabei treten je nach Schmelzfläche (siehe Tabelle 1) Längen-Breitenverhältnisse von 4,0 bis 6,0 auf. Wegen der geringen Wannenbreite werden für derartige seitenbeheizte Wannen scharf mischende, kurzflämmige Brenner benutzt. Bild 8 zeigt einen Schnitt durch den Unit Melter. An die Stelle der üblichen gemauerten Brenner treten Metallbrenner, da weder Abgase abgeführt noch hoch vorgewärmte Verbrennungsluft durch sie zugeführt werden muß. Sie sind in zwei Gruppen, zu je acht Brennern, in den Seitenwänden gegenüberliegend angeordnet. Die in Wannenmitte aufeinander treffenden Flammen brennen durch die starke Verwirbelung schnell aus. Die Verbrennungsgase geben ihre Wärme auf dem langen Weg zum Abzug an das im Gegenstrom in Richtung zum Durchlaß geführte Gemenge ab, so daß in diesen seitenbeheizten Wannen ein günstiges Verhältnis der flammenbedeckten zur gesamten Badoberfläche und eine hohe Wärmeausnutzung der Abgase verwirklicht wird.

Die gute Wärmeabgabe der Verbrennungsgase im Ofenraum erlaubte zunächst einen Verzicht auf die Wärmerückgewinnung. Mit der Verwendung geeigneter Stahlrekuperatoren konnte jedoch die Wirtschaftlich-

keit der Unit Melter soweit verbessert werden, daß sie mit modernen Wannen ähnlicher Leistung in Wettbewerb treten können. Eine andere Form der Abhitzeverwertung besteht in der Verwendung von Abhitze-kesseln zur Dampferzeugung und ergibt wegen des hohen Wirkungsgrades der Kessel eine noch bessere Ausnutzung der Abgaswärme.

Für die Gemengeeinlage steht die Stirnwand zur Verfügung. Die vorhandene Schmelzfläche kann daher auf voller Wannenbreite sehr gleichmäßig ausgenutzt werden. Neben dem Unit Melter sind noch einige weitere seitenbeheizte Wannen ähnlichen Längen/Breitenverhältnisses entwickelt worden, die mit Doppeldecke und keramischen Rekuperatoren, d. h. auch mit gemauerten Brennern, ausgerüstet sind. Über zwei Rekupera-

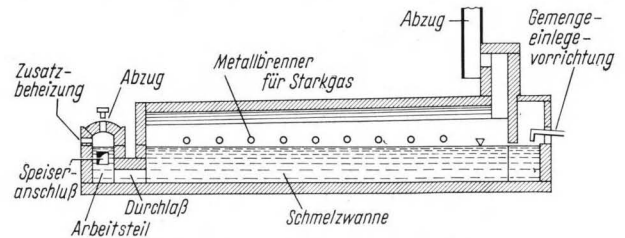


Bild 8. Schnitt durch einen Unit Melter.

tivwannen mit Seitenbeheizung wurde von LIEHN [2] und ENGELS [3] im Rahmen dieses Kolloquiums berichtet.

3. Besonderheiten der Betriebsweise

3.1. Flammenweg und Flammenlage

Quer- und seitenbeheizte Wannen besitzen eine sehr gut beherrschbare Flammenführung. Durch den periodischen Wechsel der Feuerstellung bei querbeheizten Regenerativwannen werden Unterschiede in der Wärmeübertragung an das Glasbad schnell ausgeglichen, und eine ungünstige Beeinflussung der Glasströmungen vermieden, wenn kurze Beheizungsperioden von etwa 15 Minuten zwischen dem Wechsel der Feuerstellung eingehalten werden.

Die seitenbeheizten Rekuperativwannen lassen sich verhältnismäßig leicht so einstellen, daß eine sehr gleichmäßige Temperaturverteilung über die Wannenbreite erreicht wird. Größere Schwierigkeiten bereiten in dieser Beziehung die stirnbeheizten Wannen. Den Besonderheiten der Betriebsweise von U-Flammenwannen ist ebenfalls ein spezieller Beitrag gewidmet [4], da die Beherrschung der Flammenausbildung und Flammenlage bei U-Flammenwannen weitgehend für die Sicherstellung eines einwandfreien Schmelzergbnisses verantwortlich ist.

Rekuperativ beheizte Stirnbrennerwannen bereiten hinsichtlich ihrer Flammenlage keine Schwierigkeiten; doch ist die Temperaturverteilung längs der Wanne, abhängig von der Wannenbelastung, weniger einfach zu beherrschen. Bei Verwendung von mehreren Zerstäubern in einer rekuperativ beheizten Stirnbrennerwanne können die Flammen z. B. bei Verminderung der Schmelzleistung zu kurz werden, um noch eine ausreichende Wärmezufuhr im Läuterbereich sicherzustellen. Ein Vorteil der Ölbeheizung in solchen Fällen besteht darin, daß die reduzierte Brennstoffmenge auf eine verminderte Zahl von Zerstäuberdüsen ohne Kürzung der erforderlichen Flammenlänge verteilt werden kann.

An dieser Stelle sei eine Bemerkung zur Bedeutung der Doppeldecke in stirnbeheizten Rekuperativwannen eingefügt. Sie ist ein zusätzliches Konstruktionselement, das früher beim Tempern nicht leicht zu beherrschen war. Von AMSLER MORTON wurde sie in der Absicht verwendet, den Abgasweg zwischen Wanne und Rekuperator zu verlängern, um die Abgase auf ein — für das damals verfügbares Feuerfest-Material — tragbares Maß abzukühlen. Durch die Länge der Doppeldecke ist der kürzeste Abstand des Flammenumkehrpunktes zur Stirnwand fixiert. Sind größere Schwankungen in der Wannenbelastung nicht zu erwarten, dann wird man die Doppeldecke zweckmäßig bis in den Bereich vorziehen, in dem das Temperaturmaximum liegen soll. Durch die Flammenumkehr wird hier ein ähnlich intensiver Ausbrand erzeugt, wie im Umkehrpunkt der U-Flamme. Wegen der über die ganze Wannenbreite gehenden Eintrittsöffnung ist die Wärmeentwicklung jedoch gleichmäßiger über die Wannenbreite zu verteilen, so daß die thermische Sperre nicht nur — wie z. B. bei der U-Flamme — in Wannenmitte wirksam wird. Wenn mit wechselnder Belastung der Wanne gerechnet werden muß, wird man immer gut daran tun, die Doppeldecke nicht zu weit gegen den Durchlaß zu ziehen, um mit den bei Verminderung des Brennstoffverbrauches kürzeren Flammen noch eine ähnlich intensive thermische Sperre zu schaffen. Die Doppeldecke selbst wird auf der Rückseite durch die Abgase wirksam beheizt, so daß sie wie ein sehr gut isoliertes Gewölbe als Hilfsheizfläche wirkt, deren über das Spektrum kontinuierlich wirkende Festkörperstrahlung die Wärmeübertragung an das Glasbad verbessert.

### 3.2. Verteilung des eingelegten Gemenges, Ausnutzung der Schmelzfläche

Wenn die Stirnwand zur Gemengeeinlage benutzt werden kann, läßt sich die Schmelzfläche durch Einlegen eines breiten, dünnen Gemengeteppichs mit dem besten Wirkungsgrad ausnutzen. Dabei kann die Lage des Gemenges durch die Einlegemaschinen gut beherrscht werden. Einzelne Gemengeinseln, die durch die Strömung weggetragen werden, entstehen nicht. Vielfach wird jedoch auch beim Einlegen von der Wannenstirnwand her in einzelnen Streifen eingelegt. Die Verfechter dieses Verfahrens weisen darauf hin, daß durch die damit verbundene Auflockerung neben den einzelnen Gemengestreifen Wärme aus dem Ofenraum in das Glasbad übertragen werden kann und dadurch die Gemengesmelze entscheidend gefördert wird. Dies trifft sicher nur in geringem Umfang zu, da der Schaum in Nachbarschaft des Gemenges das Eindringen der Wärmestrahlung in das Glasbad hemmt. Der Nachteil des Verfahrens besteht darin, daß man die Lage des Gemenges im Schmelzbereich nicht in ähnlicher Weise beherrschen kann, wie bei der Erzeugung eines zusammenhängenden Teppichs. Bei steigender Belastung ist ein Vordringen des Gemenges in den Läuterbereich oder ein Abtreiben an die Seitenwände möglich. Von hier aus können die Glasströmungen ungeläutertes Glas oder ungeschmolzenes Gemenge in die Arbeitswanne bzw. zur Entnahmestelle transportieren. Ungeachtet dieser Schwierigkeiten ist jedoch die Gemengeverteilung angenähert symmetrisch.

Besondere Maßnahmen verlangt das Einlegen im Unit Melter mit seinem verhältnismäßig geringen Glasstand und der schwachen Beheizung im Einlegebereich,

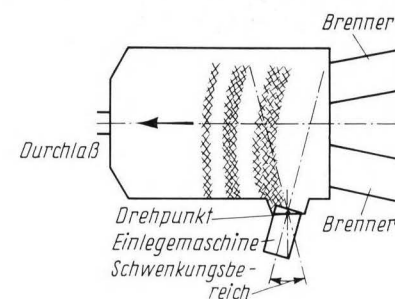
um das Einfrieren des Glasbades zu verhindern. Die in Wannen größerer Badtiefe auftretenden Konvektionsströme fehlen im Unit Melter nahezu ganz, so daß durch die Arbeitsweise der Einlegemaschine mit dem Einfalten des Gemenges und in Einlegepausen durch das Wegschieben des Oberflächenglases für ein Nachströmen des heißen Glases aus der Wanne gesorgt werden muß.

In den über die Stirnwand beheizten Wannen muß von der Wannenseitenwand her eingelegt werden. Die Gemengeverteilung ist dabei nicht so vollkommen zu beherrschen wie bei quer- oder seitenbeheizten Wannen. Vor allem fehlt die Möglichkeit, die Lage des Gemenges durch den Arbeitstakt der Einlegemaschine bis zum Abschmelzen unter Kontrolle zu halten.

Die Maschine sollte den Einlegevorgang unterbrechen, bevor die Gemengebahn die gegenüberliegende Wannenseite erreicht hat. Der weitere Transport wird nun von der Oberflächenströmung gesteuert. Da die Glasströmungen stark von der Wärmeübertragung an

das Glasbad beeinflusst werden, ist die Gemengelage in U-Flammenwannen besonders labil. Sehr ungünstig wirkt sich das an kleinen stirnbeheizten Wannen oft geübte kontinuierliche Einlegen in Form eines zusammenhängenden Stranges aus. Da-

Bild 9. Gemengeverteilung durch Schwenken der Einlegemaschine.



bei wird das Gemenge mit zunehmender Wannenbelastung auf der dem Einlegevorbau gegenüberliegenden Seite zu weit gegen den Durchlaß geschoben und die Schmelzleistung dadurch begrenzt.

Um eine bessere Ausnutzung der Schmelzfläche auch in stirnbeheizten Wannen zu erreichen, müßte die Einlegemaschine aus dem in der Seitenwand befindlichen Vorbau einen Gemengestrang hinter den anderen legen.

Hierzu ist folgende Arbeitsweise möglich:

Nimmt man zunächst an, daß der Glasstandregler nicht eingreift, dann muß die Einlegezeit der Maschine so begrenzt werden, daß sie die Einlage unterbricht, wenn der Gemengestrang in die Nähe der gegenüberliegenden Wannenseite kommt. Um beim Einlegen des zweiten Stranges wieder auf die freie Badoberfläche vor dem Einlegevorbau einlegen zu können und nicht das zuvor eingelegte Gemenge weiter zu verschieben, wird die Einlegemaschine während des Einlegens am besten geschwenkt. Im Bild 9 ist die Arbeitsweise und die dadurch erstrebte Gemengelage angedeutet. Die Maschine beginnt mit der Einlage in der Ausgangsstellung links und schwenkt in dem Zeitraum, der zum Verschieben des Gemenges bis kurz vor die gegenüberliegende Seite des Wannenbeckens benötigt wird, in die Endstellung rechts. Nach Erreichen der Endstellung schwenkt sie sofort nach links und beginnt erneut mit dem Einlegen. Wird mit Glasstandregler gearbeitet, so wird nur das Kommando zum Einlegen aufgeschaltet und die Tätigkeit der Maschine auf Einlege- oder Stillsetzungsimpuls hin geregelt. Man könnte durch diese

Art des Einlegens die Ausnutzung der Schmelzfläche auch in stirnbeheizten Wannen so weit verbessern, daß sie den Verhältnissen in quer- oder seitenbeheizten Wannen näher kommen als dies bis jetzt der Fall ist.

Es erscheint abschließend wichtig, gerade im Zusammenhang mit der Verbesserung der Gemengelage auf die zur Verfügung stehenden Hilfsmittel zur Stabilisierung der Strömungen hinzuweisen. Sie bestehen im Einblasen von Gasen durch den Wannenboden oder in der Anwendung der elektrischen Zusatzheizung. Letztere ist wegen des hohen Energiepreises jedoch erst dann angebracht, wenn alle anderen Möglichkeiten zur Verbesserung der Betriebsbedingungen ausgeschöpft worden sind.

#### 4. Zusammenfassung

Kleine Wannen sind den Störungen durch ungleichmäßige Beschickung und Beheizung in stärkerem Maß unterworfen, da sie mit abnehmendem Schmelzwanninhalt geringere Produktionsreserven besitzen, und der Einfluß der Wandungen sich stärker bemerkbar macht. In der Praxis ist ein Anstieg der spezifischen Schmelzleistung mit der Größe der Schmelzfläche für Gläser gleicher Zusammensetzung und Verarbeitung zu erkennen. Die für die gleiche Schmelzfläche beobachtete große Streuung der spezifischen Schmelzleistung hängt unter anderem davon ab, wie vollkommen sich Wannen Grundriß, Beheizungssystem und Gemengeeinlage aufeinander abstimmen lassen, um ein optimales Betriebsergebnis zu erreichen.

Der Grundriß einer Schmelzwanne ist durch das Verhältnis ihrer Länge  $L$  zur Breite  $B$  festgelegt; für verschiedene Größen der Schmelzfläche von 30, 20 und 10 m<sup>2</sup> ergeben sich also abhängig von  $L/B$  verschiedene Abmessungen, die eine Beurteilung darüber erlauben, wie sich Brenner und Einlegevorbau so anordnen lassen, daß die erwünschte Schmelzleistung bei günstigem Wärmeverbrauch erreicht wird.

Die Schmelzleistung ist von der Wärmeabgabe an das Bad abhängig und wird vom Verhältnis der flammenbedeckten zur gesamten Schmelzfläche wesentlich beeinflusst. Der Wärmeverbrauch wird um so günstiger, je größer die Aufenthaltszeit der Verbrennungsgase im

Ofenraum ist; Flammenweg, Flammengeschwindigkeit und Strömungsquerschnitt sind maßgebende Größen.

Die Anordnung des Einlegevorbaus muß im Zusammenhang mit der Brenneranordnung betrachtet werden. Beide müssen sich in den verfügbaren Platz teilen. Die Lage des Einlegevorbaus wird danach beurteilt, wie der zur Gemengesmelze verfügbare Teil der Badoberfläche ausgenutzt wird (Schmelzleistung) und ob Störungen im Läuterbereich durch vordringendes Gemenge zu befürchten sind (Glasqualität).

Diese Beurteilung wird für Wannen verschiedener Grundrißform mit  $L/B = 0,3$  bis 6,0 durchgeführt, wobei unabhängig von der Abmessung der Abstand zwischen Durchlaß und gegenüberliegender Wand als Länge betrachtet wird. Mit abnehmender Schmelzflächengröße tritt die Querbeheizung zurück. Kleine Wannen werden bevorzugt von der Stirnwand oder rekuperativ über die Seitenwand beheizt. Die Seitenbeheizung unterscheidet sich von der Querbeheizung dadurch, daß die Verbrennungsgase in Richtung der Wannenlängsachse zum Abzug geführt werden.

Als regenerativ beheizte Stirnbrennerwanne ist die U-Flammenwanne weit verbreitet. Neuerdings machen ihr jedoch die rekuperativ beheizten Stirnbrennerwannen den Platz streitig. Als bekannteste Wannentypen sind die Doppeldeckenwanne und die Uniflow-Wanne zu erwähnen. Im Vergleich zur U-Flamme sind bemerkenswerte Vorteile das günstigere Verhältnis der flammenbedeckten zur gesamten Schmelzfläche und die über die Wannenbreite gleichmäßigere Temperaturverteilung.

Lange Wannen geringer Breite mit  $L/B = 2,0$  bis 6,0 werden über in den Seitenwänden liegende Brenner beheizt. Wegen des geringen Abstandes der Seitenwände werden die Verbrennungsgase in Richtung zum Einlegevorbau oder zum Durchlaß hin abgeführt. Beispiele sind der Unit Melter und Wannen, die als zusätzliches Konstruktionselement mit Doppeldecke ausgerüstet sind.

Die Besonderheiten der Betriebsweise lassen sich durch die Beherrschung der Flammenführung und der Gemengeverteilung abhängig von der Anordnung der Brenner und Abzüge sowie des Einlegevorbaues beschreiben.

#### 5. Schrifttum

- [1] GAILHBAUD, J.: Bilan thermique d'un four de verrerie et développements récents. Glastechn. Ber. **32 K** (1959) II/49—II/53.  
 [2] LIEHN, W.: Konstruktive Gesichtspunkte beim Bau kleiner seitenbeheizter Rekuperativwannen. Glastechn. Ber. **37** (1964) H. 6, S. 301—305.

- [3] ENGELS, G.: Erfahrungen mit einer kleinen rekuperativ beheizten Wanne für technische Gläser. Glastechn. Ber. **37** (1964) H. 6, S. 306—310.  
 [4] STEIN, A.: Aufbau und Betriebsverhalten regenerativ beheizter Stirnbrennerwannen. (U-Flammenwannen.) Glastechn. Ber. **37** (1964) H. 6, S. 296—301. (39474)

DK 666.1.031.21:666.1.031.24:662.957

### Aufbau und Betrieb kleiner, regenerativ beheizter Querbrennerwannen

Von HUGO KNOBLAUCH, Bad Harzburg

(Vortrag auf dem HVG-Kolloquium „Konstruktion und Betrieb kleiner Glasschmelzwannen“ am 25. Oktober 1963 in Frankfurt (Main))

(Eingegangen am 8. November 1963)

Die Gesichtspunkte, die für die Anordnung der Brenner des Einlegevorbaues und des Durchlasses sowie für die Ausbildung des Unterofens ausschlaggebend sind, werden am Beispiel verschiedener Kleinwannen diskutiert. Die Entwicklung einer kleinen querbeheizten Wanne mit drei Querbrennerpaaren wird als Aneinanderreihung kleiner Wanneneinheiten mit je einem Brennerpaar aufgefaßt. Eine querbeheizte Kleinwanne wird beschrieben, in deren gegenüberliegenden Wandungen je eine Arbeitswanne angeschlossen ist.

Die Aufgabe, kleinste Regenerativwannen für spezielle Zwecke zu schaffen, stellt den Ofenkonstrukteur

vor einige Probleme. Es soll ein Glas erschmolzen werden, das zumindest denselben Qualitätsansprüchen