

Betriebserfahrungen mit Elektrowannen bei der Herstellung von C-Glas

Von Jürgen Woltz, Wertheim

(Vortrag auf der 55. Glastechnischen Tagung am 20. Mai 1981 in Travemünde)¹⁾
(Mitteilung aus der Glaswerk Schuller GmbH, Wertheim)

(Eingegangen am 13. August 1981)

Die besonderen Merkmale des zu erschmelzenden Glases brachten für Ofenbauer und Betreiber zweier vollelektrisch beheizter Schachtofen des Typs VSM (= Vertikal-Super-Melter) Probleme. Sie traten bereits im Zusammenhang mit der Auswahl des am besten geeigneten feuerfesten Materials auf und erstreckten sich weiter auf die beim Aufbau zuzulassenden Maßtoleranzen, das geeignetste Temper- und Vollschmelzverfahren und schließlich auf die Wannenbetriebsweise. Es wird über die Erfahrungen

berichtet, die mit der Wannenkonstruktion, dem eingesetzten feuerfesten Material und dem Verfahren der Inbetriebnahme gemacht worden sind, und auf die daraus abgeleiteten Maßnahmen hingewiesen. Sie haben bewirkt, daß sich nach einem in der Anfangsphase erschwerten Betrieb inzwischen Ergebnisse erzielen lassen, die mit den früheren konventionellen Anlagen nicht erreichbar waren.

Operating experience with electrically heated tanks for the production of C-glass

The particular features of the glass to be melted caused problems for the furnace builders and operators of two VSM (= Vertical Super Melter) shaft furnaces. These arise in choosing the most suitable refractories and extend to the tolerances permissible in construction, the most suitable preheating and melting schedules and also tank operating procedures. Experience concerning tank

design, refractories employed and method of starting up is reported and the precautions found necessary are mentioned. It has been found that, after an initial period of difficult operation, results can be achieved which are not possible with older conventional furnaces.

Expérience acquise dans l'exploitation des bassins de fusion électrique lors de la fabrication du verre C

Les caractéristiques particulières du verre à fondre posent des problèmes aux constructeurs de fours et aux exploitants de deux fours puits de type VSM (= Vertikal-Super-Melter) chauffés entièrement à l'électricité. Cela commence déjà avec le choix des réfractaires les plus appropriés, pour s'étendre ensuite aux tolérances dimensionnelles optimales, au procédé d'attrempage et au processus complet de fusion les mieux adaptés, et enfin à la

conduite des bassins. On rend compte de l'expérience acquise dans la construction des bassins, dans l'emploi des réfractaires et dans la mise en service des fours, et on mentionne les mesures prises. Elles ont permis entretemps, après une mise en service difficile au début, d'obtenir des résultats jamais atteints antérieurement avec les installations traditionnelles.

1. Einleitung

Im Glaswerk Schuller werden sogenannte Pellets, das sind einzelne Glasstücke mit definierter Größe und Masse, hergestellt und in einem zweiten Produktionsschritt zu Fasern verarbeitet. Dieses Rohglas ähnelt einem C-Glas und weist folgende Zusammensetzung (Massengehalt in %) auf: > 6 B₂O₃; > 5 Al₂O₃; > 10 Erdalkalien; > 16 Alkalien und etwa 1 F⁻. Ein solches Glas schäumt sehr stark bei der Schmelze.

Es ist hinreichend bekannt, daß bei Temperaturen > 1300 °C Natrium, Bor und Fluor aus der Schmelze verdampfen, wobei die zugelassenen Emissionswerte am Kaminaustritt um ein Vielfaches überschritten werden. Die Schmelze und die Verdampfungsprodukte aus der Schmelze greifen über-

aus aggressiv jedes feuerfeste Material an. Konventionell konnte in der Vergangenheit ein solches Glas nur in gegenüber U-Flammenwannen relativ unwirtschaftlich arbeitenden Unit-Meltern erschmolzen werden, die immer Schwachstellen an den eingesetzten Rekuperatoren hatten und die heute mit umfangreichen Elektrofilteranlagen ausgerüstet sein müssen.

Der Aufwand und die mit diesen Wannen gemachten Erfahrungen führten zu wertanalytischen Überlegungen, ob Elektrowannen für ein solches Glas und speziell für die benötigte Produktionsleistung von etwa 100 t Glas/d eine Alternative darstellen. Die Kostenrechnung ergab unter Berücksichtigung der Produktionsparameter, die die Hersteller der in die engere Wahl gezogenen Wannen garantierten, einen leichten, aber nicht für eine Entscheidung bestimmenden Kostenvorteil. Hinzu kamen aber einige wesentliche Aspekte, die in der Planungsvorbereitung festgestellt wurden und die

¹⁾ Ein gleichlautendes Referat wurde vor dem Fachausschuß II der DGG am 8. Oktober 1981 in Frankfurt (Main) gehalten.

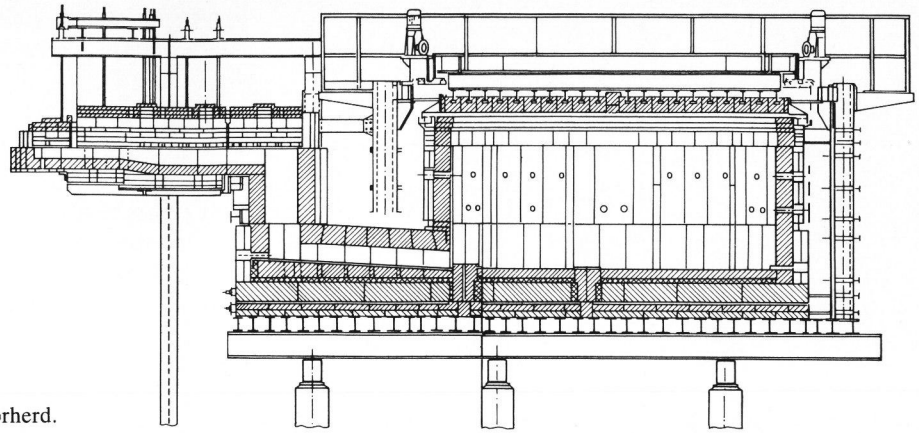


Bild 1. Schnitt durch Wanne und Vorherd.

eine Entscheidung zugunsten der Elektroschmelze herbeiführten:

- a) 50 % des Platzbedarfs konventioneller Anlagen.
- b) Um $\frac{1}{3}$ verkürzte Planungs- und Installationszeiten.
- c) Unbedeutende Nebeneinrichtungen im Vergleich zu konventionellen Wannen; dadurch auch theoretisch eine höhere Verfügbarkeit der Anlage, da die Wahrscheinlichkeit von Störungen bei weniger Anlagenteilen niedriger sein muß.
- d) Die Bedienung der Elektrowanne stellt in bezug auf den Glasschmelzprozeß geringe spezifische Anforderungen. Damit ist auch für den voll kontinuierlichen Betrieb in Glashütten das Personalproblem leichter zu lösen.
- e) Auf Dauer wird der Elektroenergie eine bessere Verfügbarkeit vorausgesagt. Dadurch werden für den Gesamtbetrieb fossile Brennstoffmengen, insbesondere Gas, für solche Produktionsanlagen frei, die zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht auf Elektroenergie umstellbar scheinen.

Nach eingehender Prüfung kam man zu der Auffassung, daß die aus der Vielzahl der angebotenen Wannentypen ausgewählte Anlage durch das eingesetzte Einlege- und Abluftsystem die sicherste Voraussetzung für einen sogenannten „Cold Top“- und damit emissionsarmen Betrieb darstellte.

Zum besseren Verständnis soll ein kurzer Überblick über die Anlage mit dem Sorg VSM (= Vertikal-Super-Melter) gegeben werden.

2. Konstruktiver Aufbau der Wanne

Bild 1 zeigt einen Schnitt durch Wanne und Vorherd. Der äußere Umfang ähnelt einem regelmäßigen Zwölfeck mit einem mittleren Durchmesser von etwa 5 m. Die Bassinhöhe beträgt 2,30 m. Die Wanne ist aus mindestens zwei übereinanderliegenden Ringlagen aufgebaut. Ein aufgehängtes Gewölbe deckt den Raum über der Badoberfläche ab und läßt eine Oberofenhöhe von etwa 400 m frei. Die Schmelzfläche der Wanne beträgt etwa 20 m².

Typisch für die Wannenkonstruktion ist der lange Durchlaß mit dem sich anschließenden aufsteigenden Schacht. Die Wannenverankerung ist aufgebaut als festverbundenes Gerüst mit je einem Anker an den Eckpunkten. Jede Ringlage wird zweimal über Druckbolzen von U-Schienen gehalten.

Die Wanne stellte auch für den Ofenbauer eine vollständige Neukonstruktion dar. Es gab keine Erfahrungswerte darüber,

- a) welches feuerfeste Material sich eignet,
- b) welche Fertigungsspezifikationen für das Material erforderlich sind,
- c) welche Maßtoleranzen beim Aufbau zugelassen werden können,
- d) welche Aufemper- und Vollschmelzverfahren eine problemlose Inbetriebnahme garantieren und
- e) welche Betriebsweise erforderlich ist.

In den nachfolgenden Abschnitten wird über Erfahrungen berichtet, die mit der Wannenkonstruktion, dem eingesetzten feuerfesten Material und dem Inbetriebnahmeverfahren gemacht wurden. Außerdem werden einige neu entwickelte Maßnahmen aufgezeigt, die bewirkt haben, daß sich aus einem in der Anfangsphase nicht akzeptablen Betrieb inzwischen Ergebnisse erzielen lassen, die mit konventionellen Anlagen nicht erreichbar sind.

3. Erfahrungen beim Tempern

Bei der ersten Wannenausführung ging man davon aus, daß sich das Wannen-Vieleck über seine Längsseiten ausdehnt und daß die Ausdehnung über die Endpunkte der Längsseiten kontrolliert werden muß (Bild 2). Dabei stellten die zwölf verankerten Ecksteine die Fixpunkte für die Wanne dar. Die Palisaden wurden lose mit einer der theoretischen Ausdehnung nach dem Tempern entsprechenden Fuge zwischen die Eckpunkte gesetzt und sollten diese in tangentialer Richtung schließen. Die nach dem Tempern noch offenen Fugen wurden durch Schieben der Ecksteine nach innen geschlossen. Der Durchlaß konnte über eine im Steigschacht vorgesehene Schnittfuge nach außen schieben.

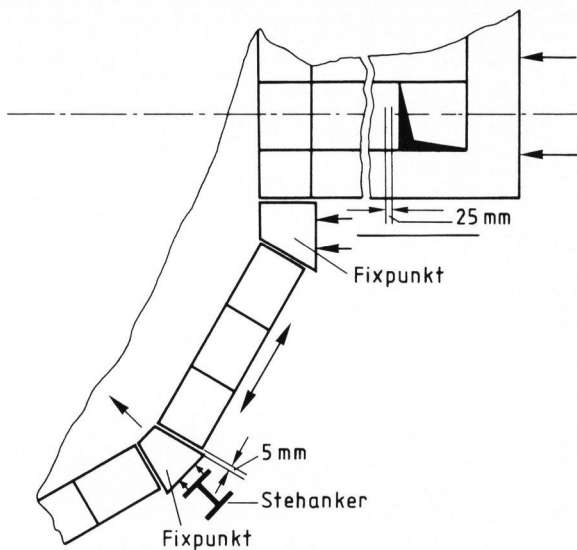


Bild 2. Verankerungsschema. Die Fixpunkte werden erst nach dem Tempern zum Schließen von offenen Fugen an den Ecksteinen nachgeschaltet.

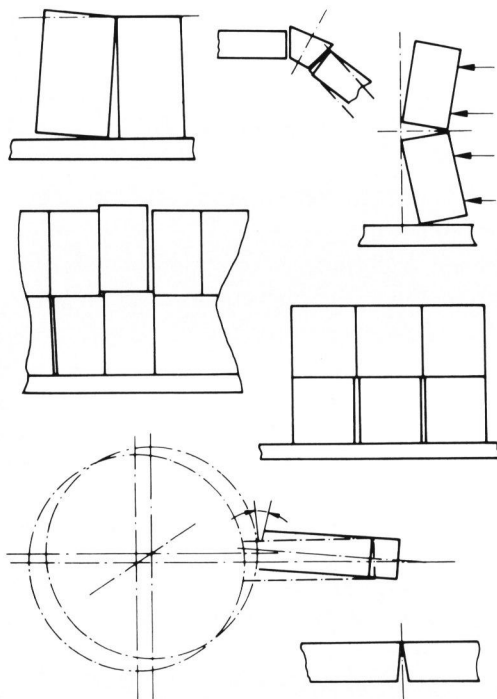


Bild 3. Nach dem Tempern der Wanne aufgetretene Fehler.

Nach dem Tempern der Wanne wurden, wie in Bild 3 skizziert, folgende Veränderungen festgestellt:

- eine unterschiedlich starke Dehnung der oberen und unteren Ringlage;
- daß sich die Ringlagen gegeneinander verdreht hatten;
- eine Mittelpunkts- und Achsenverschiebung, bedingt durch die Ausdehnung;

- Verzahnungen auf Grund einer unterschiedlichen Ausdehnung in horizontaler und vertikaler Richtung, die offene Fugen hervorriefen, und
- ein Kippen der Ringlagensteine nach außen, bedingt durch die Dehnung der Bodensteine.

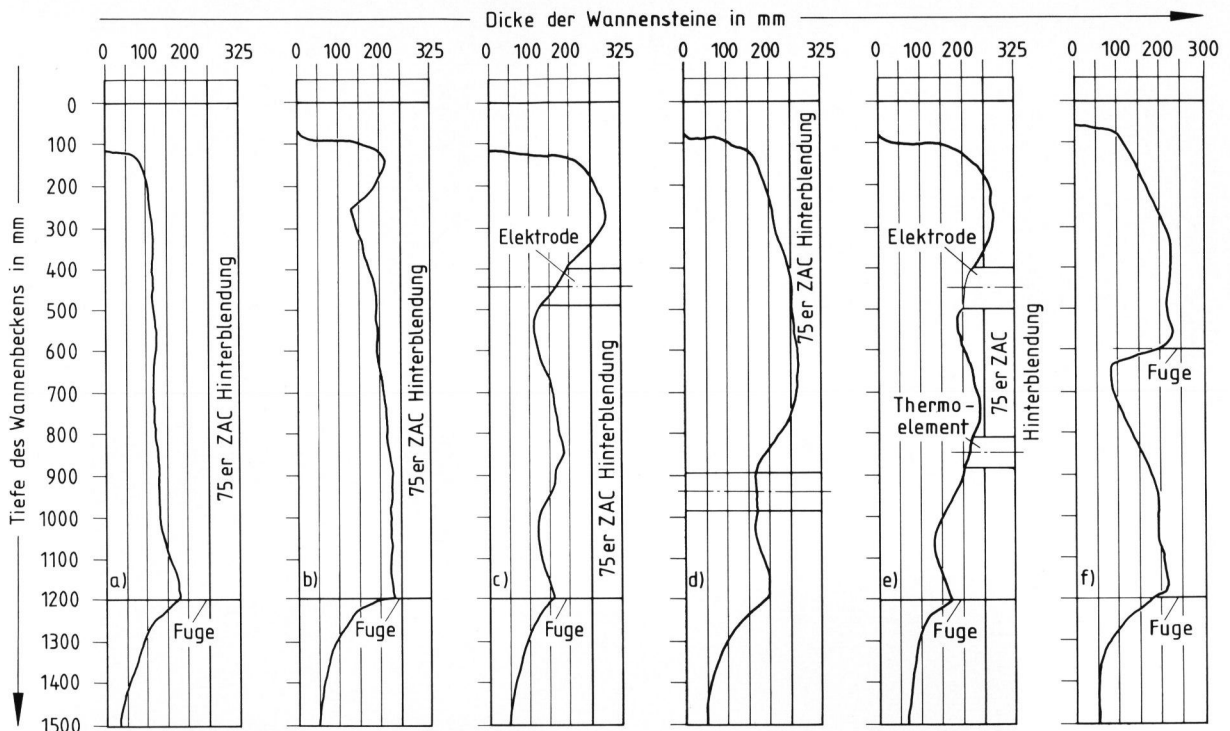
Als Ursache für die beobachteten Erscheinungen wird zum einen vermutet, daß sich das Vieleck nicht so eindeutig über die Längsseiten ausdehnt, sondern sich auch wie ein geschlossener Ring wegen seiner Beziehung zum runden Boden bei der Ausdehnung verhält. Zum anderen wurde festgestellt, daß sich beim Tempern dieses recht hohen „Topfes“ Temperaturunterschiede zwischen Boden und Decke von mehr als 200 K einstellten, die mit den eingesetzten Temperbrennern nicht vermieden werden konnten und zwangsläufig erhebliche Unterschiede in der Ausdehnung nach sich zogen.

4. Erfahrungen der ersten Wanneneise

Im Vergleich zu Ergebnissen an Rechteckwannen schien der Wannenzustand nach dem Tempern nicht wesentlich schlechter zu sein. Während des Betriebes mußte man jedoch beobachten, daß das Glas aus fast allen Fugen trat. Horizontalfugen öffneten sich zusätzlich, und nach außen gelaufenes Glas drang zwischen die Isolierung. Ohne vorher feststellbare Störungen beim Wannebetrieb traten Risse an den Elektrodensteinen um die Elektroden, aber auch an Steinen ohne Elektroden auf. Dies geschah nicht nach und nach, sondern zu bestimmten Zeitpunkten.

Der Glasaustritt aus den Fugen machte es erforderlich, die Wannenisolierung abzubauen. Damit konnte ein ausreichend großer Temperaturgradient im Stein erreicht werden, der den Glasaustritt unterband. Neben dem Absinken der Glasktemperatur im Wandbereich um Größenordnungen von 30 bis 50 K konnte festgestellt werden, daß der Energiebedarf für die Wanne um etwa 2 bis 4 % geringer wurde. Dies erscheint auf den ersten Blick unrealistisch. Vielleicht wurden aber vorher in den Wandpartien des Bassins Energiemengen umgesetzt, die zur Schmelze der Glasmasse nicht beigetragen haben, auf Grund der Leitfähigkeit der flüssigen Glasphase im Feuerfestmaterial aber dort verbraucht wurden. Damit ergaben sich eventuell stärkere Konvektionsströmungen im Wannbereich, die aber zur Schmelzleistung der Anlage nicht erforderlich waren. Es soll hier bewußt, aus verschiedenen Gründen, nicht auf das so oft diskutierte Problem der Wärmeverluste durch Steinaufheizung eingegangen werden.

Nach rund 16 Monaten Betrieb mußten die Wannengelöscht werden. Ihr Zustand wird an Hand der Bilder 4a bis f und 5 bis 8 verdeutlicht. Bild 4a zeigt ein normales Verschleißprofil eines Ringlagensteines ohne Elektrode und Thermolement. Bild 4b enthält Verschleißprofilaufnahmen eines Ringlagensteines ohne Elektrode mit schlechtem Fugen-



Bilder 4a bis f. Verschiedene Verschleißprofile: a) Ringlagenstein normal; b) verstärkter Angriff an der Horizontalfuge; c) verstärkter Angriff oberhalb der Elektrodenbohrung bei Elektrodenanordnung oben; d) verstärkter Angriff unterhalb der Elektrodenbohrung bei Elektrodenanordnung unten; e) durch Elektrode und Thermoelement; f) eines Ecksteins.

schluß der Horizontalfuge (Übereinanderschoben). In Bild 4c sind das Verschleißprofil einer Palisade mit Elektrode oben und in Bild 4d das Verschleißprofil einer Palisade mit Elektrode unten dargestellt. Bild 4e zeigt das Verschleißprofil einer Palisade mit Elektrode und Thermoelement und Bild 4f das Verschleißprofil eines Ecksteines. Aus den Bildern 5 bis 8 ist der typische Verschleiß, verursacht durch Ribbildung und nicht geschlossene Horizontalfugen, mit dem danach einsetzenden Angriff durch Blasenbohren und Auskolkung oberhalb der Elektroden nach der ersten Wannenreise zu erkennen.

5. Erfahrungen der zweiten Wannenreise

Bei der Reparatur dieser Wanne wurde von Anfang an auf Isolierung verzichtet, die Fugen mit Zac-Riegeln überdeckt, die Temperzeit wurde um 48 h verlängert, das Vollschmelzverfahren wurde verändert.

Beim Löschen der Wanne nach 20 Monaten konnten verbesserte Resultate festgestellt werden. Es zeigte sich aber, daß die generellen Schwachpunkte erhalten geblieben waren. Immerhin ist die zuvor beobachtete starke Ribbildung mit ihrer die Zerstörung durch Blasenbohren begünstigenden Wirkung deutlich zurückgegangen (Bild 9).

Bei der Beurteilung der Verschleißbilder wurde als Kriterium für die Länge einer Wannenreise der Verschleiß des feuerfesten Materials oberhalb der

Elektroden und Thermoelemente angesehen und das Fugenproblem als konstruktiv lösbar vorausgesetzt. Beim Verschleiß oberhalb der Elektroden wird allgemein angenommen, daß durch hohe Energiedichten im Elektrodenbereich, durch örtliche Überhitzung an den Elektroden und durch andere für E-Wannen typische Verschleißphänomene die vorilende Korrosion im Bereich oberhalb der Elektrode eintritt. Dies dürfte aber beim Thermoelement, das gleiche Verschleißphänomene aufzeigt, nicht der Fall sein, da hier höchstens Kriechströme über eine schlechte Isolierung des Elements nach außen auftreten können. Damit stellt sich die Frage, ob im Bereich der Elektroden eigentlich eine hohe Energiedichte für den Verschleiß verantwortlich sein kann.

Der Halter kühlt den Stein um die Elektrodenbohrung und setzt die Glastemperatur und damit die elektrische Leitfähigkeit von Glas und Stein herab. Aus Modellversuchen ist bekannt, daß über den Elektroden eine aufwärts gerichtete Strömung an der Wand vorliegt. Auch der Elektrodenverschleiß selbst weist darauf hin, daß mehr Stromfluß an der Elektroden spitze als in Nähe der Wand vorhanden ist. Auf Grund der ovalen Abnutzung der Elektroden kann man außerdem annehmen, daß höhere Strombelastung in horizontaler als in vertikaler Richtung vorliegt. Läßt man den Gemegeteppich abschmelzen, sieht man deutlich höhere Energiedichten am vorderen Teil der Elektrode und nicht am Stein.

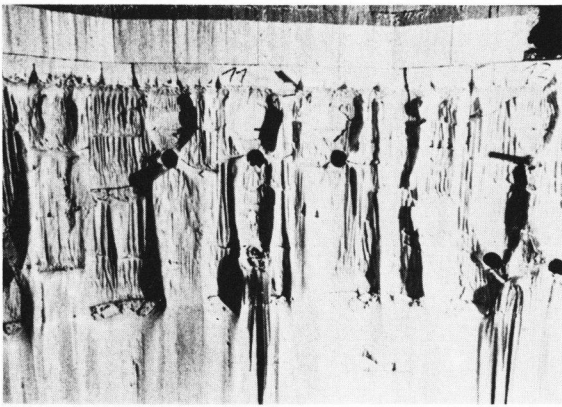


Bild 5. Typischer Verschleiß durch Blasenbohren und Auskolkungen.

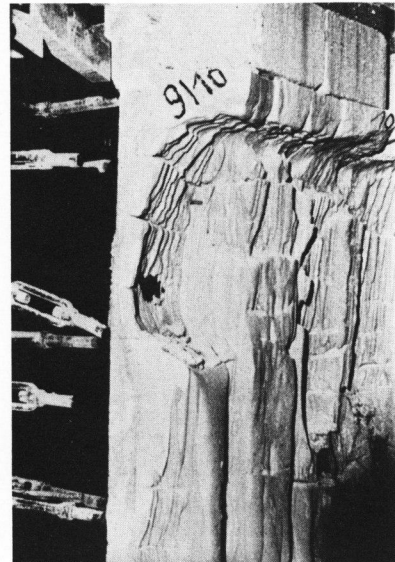


Bild 8. Angriff im Elektrodenbereich.



Bild 6. Verschleiß im Elektrodenbereich.

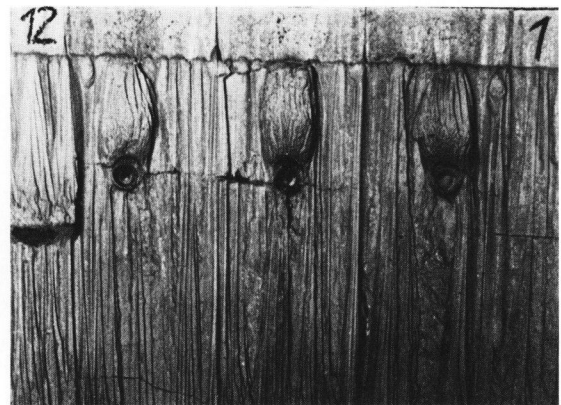


Bild 9. Verschleißbild der oberen Ringlage nach 20 Monaten.

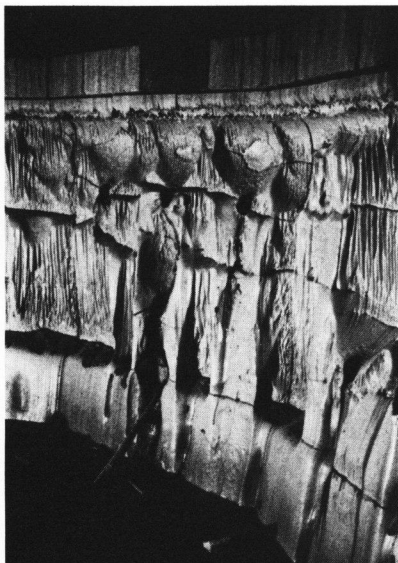


Bild 7. Lochfraß an Horizontalfugen und Auskolkungen über den Elektroden.

Das Verschleißbild oberhalb der Elektroden sieht ähnlich aus wie das an den Fugen. Hier geht man davon aus, daß Lochfraß die Ursache für den vorliegenden Verschleiß ist.

Der Elektrodenhalter ist in die Steinbohrung zurückgesetzt eingebaut. Die Bohrung geht glatt durch. Dadurch entsteht ein großer Ringspalt als Angriffspunkt für das eindringende Glas. Dieser Ringspalt ist von Beginn der Wannendreise an vorhanden. Lochfraß könnte also hier sofort zu wirken beginnen und damit für den voreilenden Verschleiß verantwortlich sein.

Auch die Form des sich nach oben verjüngenden Verschleißprofils ist sehr ähnlich dem Lochfraß an der Fuge. Typisch sind auch die vielen schmalen flachen Rillen, die auf dem Weg nach oben sich immer mehr sammeln, sich einschnüren und z. T. tiefer eingraben.

Warum wirkt aber der Lochfraß in Elektrowannen erheblich stärker als in konventionellen Wan-

nen? Die Glastemperaturen an den Wänden betragen (bei den untersuchten Wannen) maximal 1450, meistens jedoch unter 1400 °C und liegen damit unter den Temperaturen, die bei hochbelasteten konventionellen Wannen auftreten.

Es wird angenommen, daß es hierfür unter anderem zwei Gründe gibt. Beim Eindringen von Glas in eine Fuge verschiebt sich das Gleichgewicht von Abkühlgeschwindigkeit zu Eindringtiefe bei elektrisch aufgeheiztem Glas anders als bei konventionell geschmolzenem Glas. Elektrisch beheiztes Glas bezieht durch seine Leitfähigkeit auch dann noch Energie, wenn es in den Strahlungsschatten der Fuge eintritt. Es erfährt dadurch eine geringere Abkühlung und kann tiefer eindringen und über größere Angriffsflächen Lochfraß hervorrufen. Elektrisch geschmolzene Gläser der in Abschnitt 1. genannten Zusammensetzung neigen außerdem wegen der frühen Primärschmelzenbildung zum Schäumen. Damit ist die Schmelze im direkten Bereich der Elektroden sehr blasenreich.

Der Molybdänverschleiß der Elektroden findet schon am Eintritt der Elektroden in die Glasmasse statt und nicht nur an der Spitze. Molybdänoxidblasen entwickeln sich ständig und verursachen Lochfraß. So ist z. B. der Lochfraß durch eine abgebrochene Elektrode im sonst völlig unverbrauchten Stein der untersten Ringlage in Bild 7 deutlich zu erkennen.

Nach den in der Praxis gemachten Beobachtungen, die möglicherweise etwas zu einfach interpretiert werden, kommt als wesentliche Ursache für den überaus schnellen Verschleiß der oberen Ringlagen fast ausschließlich der Lochfraß in Frage. Er macht es erforderlich, daß dieser Gesichtspunkt gezielt in alle Überlegungen beim Bau von Elektrowannen mit Seitenelektroden einbezogen werden muß. Darum wurden bei den hier untersuchten Anlagen folgende Maßnahmen getroffen:

- a) Verbesserungen an der Wannenverankerung, um ein vorher beschriebenes Verschieben mit den dadurch hervorgerufenen offenen Fugen oder überhängenden Verzahnungen zu vermeiden.
- b) Erhöhte Anforderungen an Maßhaltigkeit und Bearbeitungsqualität des verwendeten Materials sowie die komplette fugenfreie Vormontage des Materials mit genauester Baumaßaufnahme. Die Anforderungen an Schleifgenauigkeit und Maßhaltigkeit, wie sie bisher üblich waren, genügen augenscheinlich nicht.
- c) Neue Temper- und Vollschmelzvorrichtungen müssen bewirken, daß eine fugendicht aufgebaute Wanne sich auch fugendicht in Betrieb nehmen läßt.
- d) Der Einsatz von feuerfesten Materialien, die einen besseren Korrosionswiderstand gegen Lochfraß aufweisen, muß forciert werden.

6. Verbesserungen gegenüber der ersten Wannenreise

In bezug auf feuerfestes Material konnte auf jahrelange Erfahrungen mit Chrom-Korundsteinen in Durchlässen und Palisaden in Unit-Meltern zurückgegriffen werden, die ungekühlt und vollisoliert Wannenreisen von länger als sieben Jahren überstanden hatten. An diesem Material wurde kein besonderer Lochfraßeffect festgestellt. Diese Tatsache veranlaßte dazu, Versuche mit dem Material auch in Elektrowannen durchzuführen, und zwar zuerst im Durchlaßbereich, dann in einzelnen Feldern.

Außerdem wurde die Wanne nicht länger als Vieleck mit einzelnen Seitenwänden, sondern vielmehr das gesamte System als ein geschlossener Ring betrachtet. Daher ging man beim Tempern folgendermaßen vor:

- a) Den Durchlaß legte man als Fixpunkt der Wanne mit in den Boden eingelassenen Seitensteinen und eingezahnten Abdecksteinen fest.
- b) Das Bassin wurde fugendicht zusammengebaut und schon kalt eingespannt.
- c) Die obere Ringlage der Wanne wurde in der größtmöglichen Steinlänge gefertigt (1200 mm), um die problematische Horizontalfuge soweit wie möglich in den kälteren Wannenbereich zu bringen.
- d) Als Feuerfestmaterial setzte man Chrom-Korundmaterial ein und testete hierbei verschiedene Qualitäten. Eine kurze dritte obere Ringlage wurde eingebaut aus Material, das gut temperaturwechselbeständig ist. Aus den Verschleißbildern war zu erkennen, daß die oberen 20 cm des Steinmaterials im Gemengebereich des Bassins nicht oder kaum angegriffen wurden. Es erschien also auch nicht sinnvoll, chromhaltiges Material dem Temperaturwechsel im Gemengebereich auszusetzen.
- e) Es wurde eine Vormontage des Ofens durchgeführt. Fugenflächenbearbeitung und Fugendichtheit wurden beurteilt und genau qualitativ und dimensionsmäßig in den Fertigungszeichnungen festgehalten. Diese Aufzeichnungen sollen bei der späteren Beurteilung und Diskussion des Verschleißbildes zu einer Fertigungsspezifikation führen.
- f) Ein genaues Bauaufmaß sowie der Anriß von Bauhilfslinien am Material ermöglichten den reproduzierbaren Nachbau der Wanne.
- g) Das Auftempern erfolgte mit einem Heißluftbrenner, der in der Luftmenge und der Verbrennungsgasführung dem Ofen angepaßt war.
- h) Die Temperzeit betrug 7 d (7 K/h), damit ausreichend Zeit zur Überwachung der Verankerung zur Verfügung stand.
- i) Auf eine Wärmeisolierung der Wanne wurde verzichtet. Eine Vorplattierung mit 75 mm dicken KZ-Platten wurde vorgenommen. Die Vorplattie-

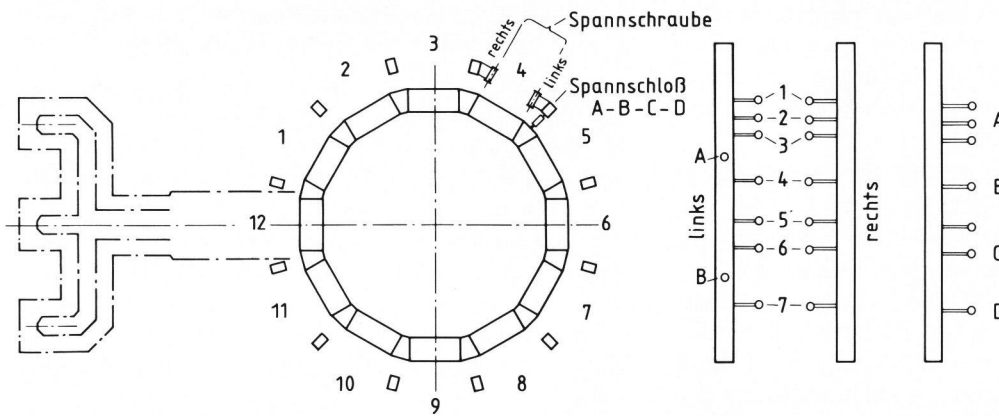


Bild 10. Verankerungsschema der verbesserten Wannenkonstruktion.

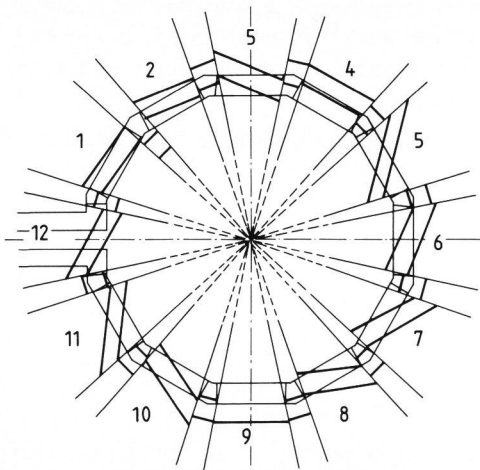


Bild 11. Wandverschiebungen nach dem Tempern.

rung deckte die Fugen ab und verhinderte Glasaustritt. Zusätzlich wurde der Temperaturgradient im Stein erniedrigt, damit Spannungen im Stein abgebaut und verhindert, daß ein Aufkeilen der Fugen von der kalten Außenfläche zur heißen Innenfläche hin eintrat.

j) Die Wanne beschickte man beim Vollschmelzen mit flüssigem Glas, damit kein Temperaturschock auftrat, der das gegenüber Temperaturwechseln empfindliche Chrom-Korundmaterial zerstören kann.

k) Die Elektrodenhalter zog man nur auf einen Abstand von 4 cm von der Innenkante der Elektrodensteine zurück. Die Elektrodeneinschublänge wurde, um den Angriff durch Überhitzung in der Elektrodensteinbohrung so gering wie möglich zu halten, auf 800 mm festgelegt.

l) Die oberen Ringlagensteine wurden an einer Wanne in der Mitte der Stoßflächen mit einer etwa 3 cm tiefen runden Nut versehen. Nach dem Zusammenbau stampfte man diese Nuten mit chromhaltigem, keramisch abbindendem Mörtel aus. Dieser Mörtel wird erst nach dem Tempern fest. Er macht also alle Bewegungen des Steinverbandes elastisch mit, brennt dann ein und gibt dem Steinverband zusätzlich mit der Verankerung Halt.

m) Beim Tempern wurden nach einem entsprechend der Steinausdehnung festgelegten Zeitplan um den Umfang herum immer gegenüberliegende Verankerungsteile jeweils von unten und oben zur Steinmitte hin gelöst.

Dieses Konzept des Aufbaus, Temperns und Vollschmelzens stellte sich als erhebliche Verbesserung heraus. Es wurden keine Fugen festgestellt, und das Vollschmelzen der Anlage nach den neuen Überlegungen konnte wie vorgesehen durchgeführt werden. Das Nachlassen der Verankerung während des Temperns konnte nicht, wie zunächst geplant, nach vorgegebenen Sollgrößen durchgeführt werden. Über die festgestellte Spannung an den Verankerungsbolzen konnte nachgewiesen werden, daß sich die Steindehnung im Zusammenhang mit der Ofenkonstruktion nicht vorausbestimmbar und damit gezielt regulierbar verhält. Die Ankerbolzen mußten individuell nachgestellt werden, weil sich entweder Fugen öffneten oder weil sich Träger und Bolzen verbogen. In Bild 10 ist das Verankerungsschema dargestellt, während Bild 11 skizzenhaft und stark überzeichnet die Verschiebung der Zwischenwände an Hand der Ankerachstellung im getemperten Zustand erkennen läßt. Das Wannenmaterial war Chrom-Korund-Zirkon.

Die angedeuteten Verschiebungen liegen in der Größenordnung bis ± 20 mm. Die angegebenen Werte hängen natürlich auch ab von der Verformung des Verankerungsgerüsts, diese wurde nicht durch Schreiberdiagramme nachkontrolliert. Die Verschiebungen durch die Steinausdehnung fanden in den ersten Tempertagen statt, also im Bereich bis 400 °C. Diese temperaturbedingten Veränderungen waren so unbedeutend, daß man erst am dritten Tempertag mit der Nachregulierung der Ankerschrauben begann.

Nach heutiger Einschätzung, d. h. nach einer Laufzeit von 26 Monaten und nach Wanddickenmessungen, wird bei dieser Wanne mit einer Laufzeit von mindestens 40 Monaten gerechnet, was eine Verdoppelung der anfangs erreichten Laufzeiten bedeutet. Die Schmelzleistung der Wanne beträgt 55 t Glas/d, das entspricht 2,75 t Glas/(m² d).

An einer vorher gelöschten Wanne wurde eine Zwischenlösung ausprobiert. Es wurden die gleichen bereits besprochenen Maßnahmen durchgeführt mit der Ausnahme, daß nur ein Feld aus chrom-korundhaltigem Material zugestellt wurde. Diese Wanne wurde nach 22 Monaten gelöscht. Die Schmelzleistung betrug 49 t Glas/d.

7. **Schlußbemerkung**

An Hand der neueren Erfahrungen kann man sagen, daß bei Verwendung von Chrom-Korundmaterial mit hohem Korrosionswiderstand gegen Loch-

fraß das bisher für E-Wannen typische Verschleißbild nicht auftritt. Alle Maßnahmen zur Verbesserung seiner Qualität, die z. B. beim normalen KZ-Material für notwendig gehalten werden, scheinen auf den ersten Blick bei diesem Material nicht in dem vorher angesprochenen Maß erforderlich. Man muß aber beachten, daß Maßnahmen getroffen werden müssen, den temperaturwechselempfindlichen Stein zumindest im Gemengebereich so zu schützen, daß die deutlich erkennbare Rißbildung des Steins infolge der kalten Gemengedecke nicht zu Schäden führt, die bisher noch nicht überblickbar sind.

82R1000