

DK 666.1.031.226:666.1.031.29-71:666.76.022.846:666.76-183.4-71:620.193.43

Konstruktive Maßnahmen zur Verbesserung der Kühlwirkung und Verminderung des Glasangriffs an schmelzgegossenen Wannensteinen

VON WALTHER LIEHN, Grünenplan

(Vortrag auf dem HVG-Kolloquium über Kühlung und Isolierung von Glasschmelzwannen am 9. November 1971 in Frankfurt (Main))

(Mitteilung aus der Deutschen Spiegelglas AG, Grünenplan)

(Eingegangen am 13. Januar 1972)

An Hand von praktischen Versuchsergebnissen an einer querbeheizten, schnellgetemperten Wanne werden die konstruktiven Maßnahmen erläutert, mit deren Hilfe es möglich ist, bestimmte Ofenbereiche vor der Einwirkung sehr hoher Temperaturen zu schützen oder bestimmte Steine vor zu starker Abkühlung abzuschirmen.

Dazu gehört einmal das Zurückziehen der Durchlässe aus der Rückwand des Wannensbeckens, durch die sie in einen Bereich gelangen, in dem die Glasktemperatur um etwa 60 °C niedriger liegt. Zum anderen wird bei Seitensteinen außer der bisherigen Abschrägung noch eine zweite Abflachung im Bereich der Spiegellinie ausgeführt. Diese Ge-

staltung bietet offenbar nicht nur der Zerstörung durch Lochfraß weniger Ansatzpunkte, sondern bringt auch die Grenzschicht Glas/Stein in Bereiche herabgesetzter Temperaturen.

Erwähnt werden noch Beobachtungen an Steinen in der Stirnwand des Einlegevorbaus und an der Stelle der Luft-einführung für die Blasdüsen im Wannensboden.

Die Verhältnisse sind sowohl für Wannen mit weißem Brillenrohglas — also durchweg hohen Badtemperaturen — als auch für Farbglasswannen, bei denen ein hoher Temperaturgradient im Glasbad besteht, geschildert.

Design parameters for improvement of cooling and decrease in corrosion of fusion-cast tank blocks

By using experimental results obtained from a rapidly preheated cross-fired tank the design parameters that help one to protect certain regions of the furnace from the effects of very high temperatures or protect certain blocks from more cooling are discussed.

This immediately involves the return flow through the throat in a region where the glass temperature is about 60 °C lower. Also involved is a second slope on the sidewall blocks near the flux-line in addition to the usual slant. This arrangement not only gives fewer sites for upward drilling

but also lowers the temperature of the glass-refractory boundary layer.

Observations on the blocks in the backwall of the dog-house and for bubbling nozzles in the bottom of the tank are also reported.

Results are given for tanks making white glass for spectacle lenses, thus high bath temperatures, as well as for coloured glass having steep temperature gradients in the melt.

Techniques de construction destinées à améliorer l'effet du refroidissement et à réduire l'attaque par le verre des blocs de cuve électrofondus

En se basant sur des résultats d'essais pratiques réalisés sur un four à bassin à brûleurs transversaux et attente rapide, on décrit les méthodes de construction qui permettent de protéger certaines zones du four de l'action des très hautes températures ou, à l'inverse, d'éviter que certains blocs ne soient soumis à un refroidissement trop brutal.

Une de ces techniques consiste à écarter la gorge de la paroi aval de la cuve, ce qui la situe alors dans une zone où la température du verre est inférieure de quelque 60 °C. D'autre part, les briques intérieures de goulotte sont, en plus de leur conformation actuelle en biseau aplaties une nouvelle fois au niveau de la ligne de flottaison. Cette confor-

mation, outre qu'elle réduit le nombre de points d'attaque possible par érosion remontante, diminue également les températures dans la couche limite verre-réfractaires.

On mentionne également quelques observations effectuées sur des briques de la paroi amont de la niche d'enfournement et à l'endroit où l'air est introduit dans les tuyères de soufflage situées dans la sole du four.

Les conditions qui règnent dans des fours fondant du verre brut blanc pour lunettes — où la température du bain est donc partout élevée — et dans des fours à verre coloré, où existe un gradient de température plus important dans le bain de verre, sont décrites.

Der auch bei schmelzgegossenen Steinen feststellbare Angriff des Glasbades in Wannenöfen wirft nach wie vor die Frage auf, ob Wannenelemente aus den heute verwendeten Steinqualitäten gekühlt oder isoliert werden sollen. Dabei steht außer Zweifel, daß bei herabgesetzten Temperaturen an der Grenzfläche Glasbad-feuerfestes Material die Zerstörung der Steine weniger schnell vor sich geht. BUSBY [1], dessen Untersuchungen auf diesem Gebiet, darunter besonders die Modellversuche zum Lochfraß, bekannt sind, weist schon 1962 darauf hin, daß seinen Ergebnissen nach die Korrosion mit der Temperatur exponential und mit der Zeit nur linear zunimmt. Auch DAUDANS [2] weist darauf hin, daß der Index für die Korrosionsgeschwindigkeit ab 1400 °C besonders steil ansteigt.

Es wäre also erwünscht, besonders an den sogenannten Schwachstellen der Öfen zu tieferen Temperaturen

zu kommen, ohne die Schmelztemperatur, die für die Ofenleistung ausschlaggebend ist, senken zu müssen und ohne den spezifischen Wärmeverbrauch zu erhöhen. An einigen Stellen des Wannensbeckens gelingt dies durch entsprechende Gestaltung oder Anordnung der Steine, also durch konstruktive Maßnahmen. Auch die gegenteilige Forderung tritt manchmal an den Konstrukteur heran, nämlich bestimmte Steine vor zu starker Abkühlung schützen zu müssen. Schließlich scheint die Steinform bis zu einem gewissen Grade den Angriff durch Lochfraß auszuschalten oder wenigstens zu verringern. In diesem Zusammenhang ist schon des öfteren über abgeschrägte Flächen an Wannensteinen gesprochen worden [3]. Eng damit in Verbindung steht das Abschleifen der manchmal sehr porigen Oberflächenschale der Steine, wobei jedoch darauf zu achten ist, daß die entfernte Schicht nicht mehr als höchstens 2 mm

betragen soll. Die eigentliche, dichte Oberfläche der Steine muß erhalten bleiben. In Gesprächen mit den Steinherstellern gaben sie ihre Zustimmung zu diesen Maßnahmen.

Die vorliegende Arbeit wird nicht auf die Theorie der verschiedenen Erscheinungsformen der Korrosion — Schwappkante, Lochfraß usw. — eingehen. Hierüber liegen umfangreiche Literaturangaben vor [4]. Vielmehr sollen an Hand von Bildern, die neuere Ergebnisse aus der Praxis zeigen, konstruktive Lösungen vorgeschlagen werden. Sicherlich ist die eine oder andere Maßnahme bekannt, sicherlich sind die Ausführungen nicht erschöpfend. Die dargelegten Fälle könnten aber zu einer allgemeinen Diskussion über die Konstruktion dieser Teile der Wannenbecken führen. Geschildert wird der Angriff auf verschiedene Stellen des Bassins querbeheizter Wannenöfen, die alle in etwa 126 h schnellgetempert worden sind. Zerstörungen der beschriebenen Ofenteile führen zu einer Qualitätsminderung des erschmolzenen Glases oder zum Stillstand der Schmelzöfen.

Im einzelnen handelt es sich um:

1. den aus der Rückwand der Schmelzwanne herausgezogenen Durchlaß bei Durchlaßwannen;
2. die Seitenwände mit einfach oder zweifach abgeschrägten Steinen;
3. die isolierte und abgeschrägte Stirnwand des Einlegevorbaus und
4. die mit Bohrungen zum Einführen der für das Bubbling erforderlichen Preßluft versehenen Bodensteine.

Die Verhältnisse werden an einer Wanne für farbloses Brillenrohglas und an zwei Farbglaswannen betrachtet. Alle Wannen haben eine Schmelzfläche von etwa 20 m². Die Schmelztemperatur beim Brillenrohglas beträgt etwa 1530 °C, bei den Farbglaswannen etwa 1570 °C (jeweils im Gewölbe gemessen). Die Badtiefe ist bei der Wanne für Brillenrohglas im Schmelzbecken 1000 mm, bei den Farbglaswannen wesentlich geringer. Um einen Anhaltspunkt für die Strömungsgeschwindigkeiten in den Durchlässen zu haben, ist wieder — wie schon bei früheren Untersuchungen [5] — nur mit der Entnahmestromung und deshalb auch nur mit dem halben Durchlaßquerschnitt gerechnet worden. Bei diesen Annahmen liegen die Werte für die Geschwindigkeit um etwa 5 cm/min.

1. Durchlaß

Bei gezogenem Brillenrohglas oder gezogenem farbigem Sonnenschutzglas ergibt die Blasenzahl je kg Glas eine sehr gute Beurteilungsmöglichkeit der Glasqualität. Erfasst werden dabei Blasen bis zu einem Durchmesser von etwa 0,05 mm. Es wurde bereits gezeigt [5], daß nachweisbar der Angriff des Durchlasses zu einer Zunahme der Blasen führt (Bild 1). Steigt die Blasenzahl über das bei diesen hochwertigen Gläsern zulässige Maß, so ist die einzige Hilfe der Austausch des Durchlaßabdecksteins. Dabei fällt auf, daß unmittelbar nach der Reparatur in der Vergangenheit die Blasenzahl zuerst noch hoch liegt und erst nach einer gewissen Zeit von einem Qualitätsglas gesprochen werden kann. Diese erste Anlaufzeit mit höherer Blasenzahl ist durch die im folgenden zu schildernden Maßnahmen bei der letzten Reparatur restlos ausgeschaltet worden. Das Glas war gleich von

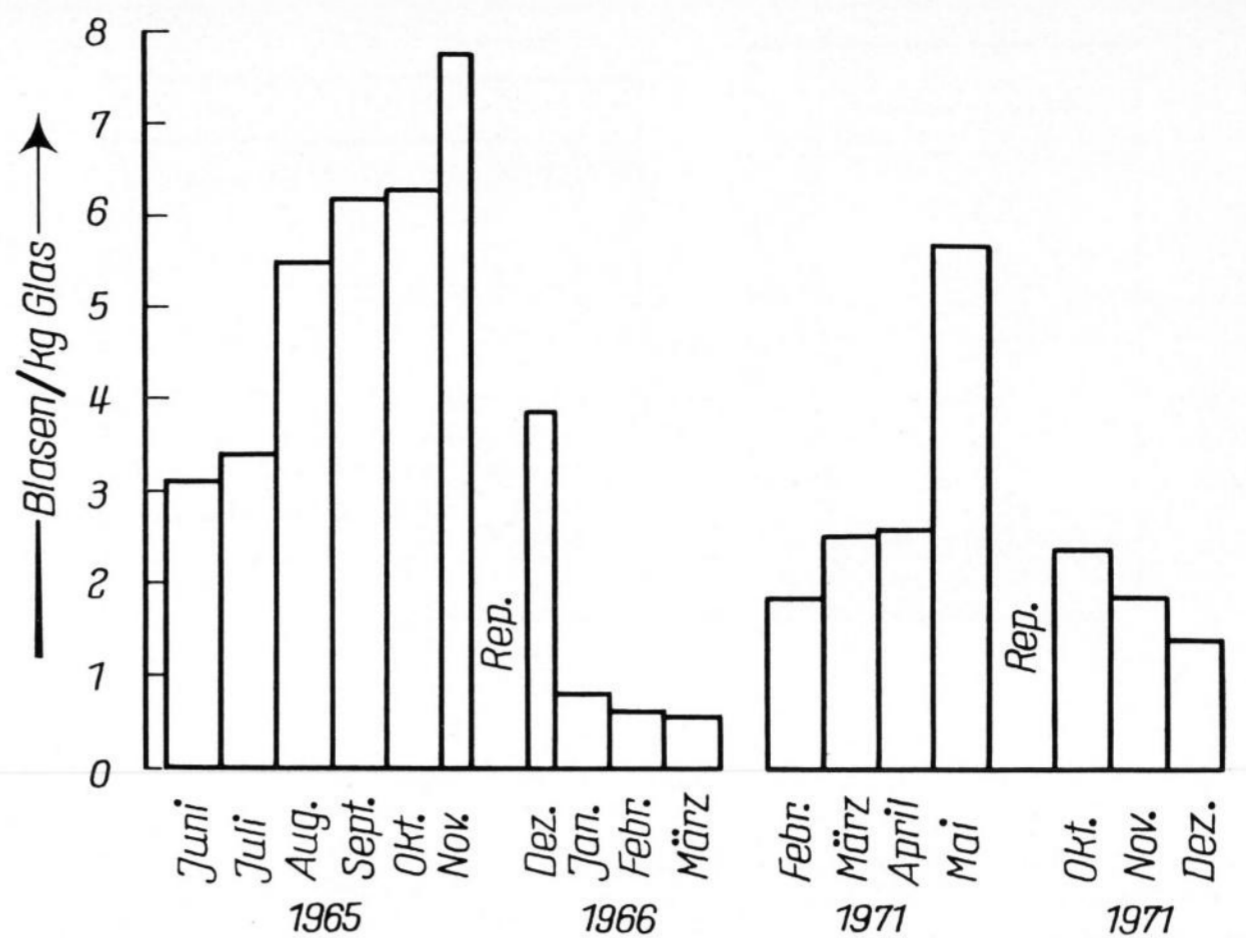


Bild 1. Blasenzahl (monatl. Durchschnitt) vor und nach Durchlaß-Reparaturen.

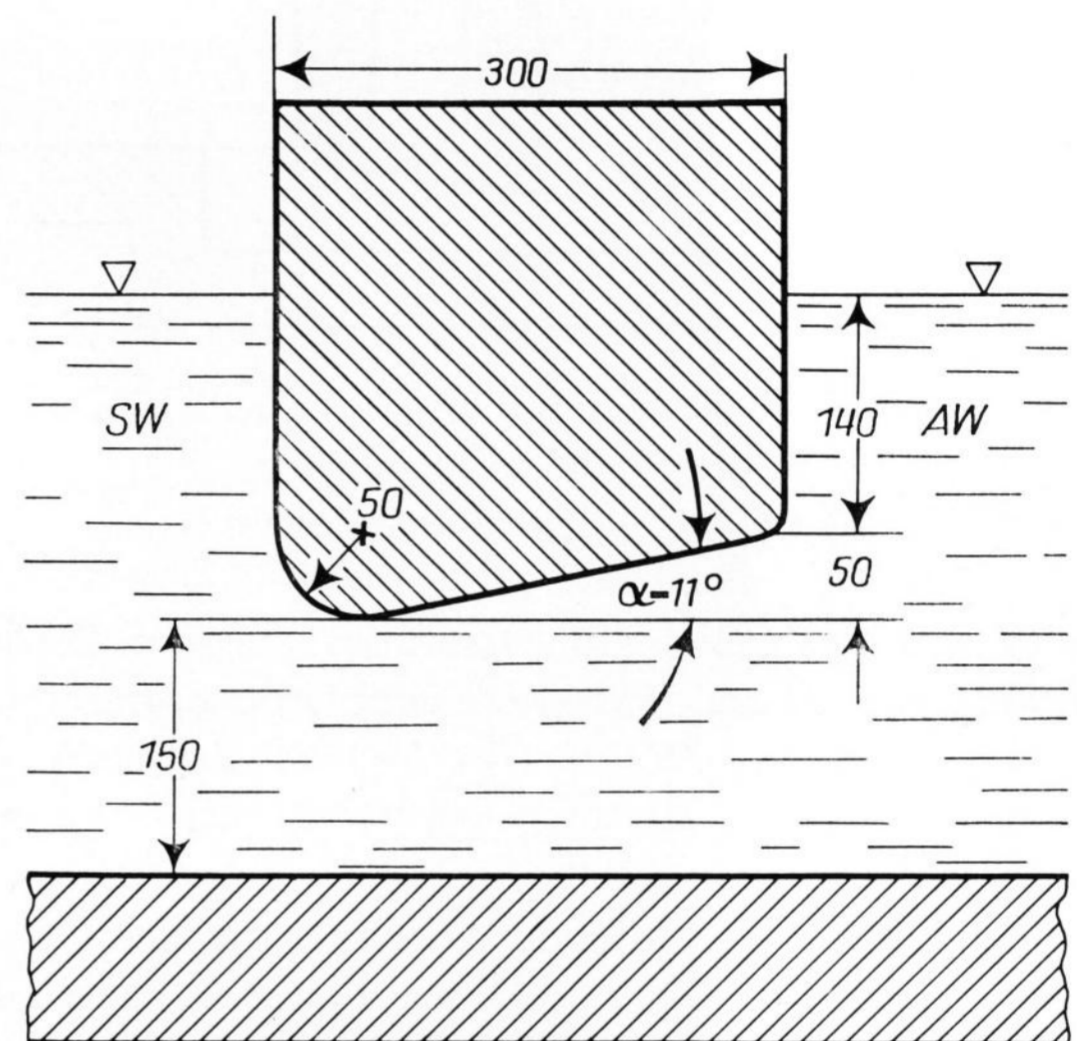


Bild 2. Erste Ausbildung eines Durchlasses mit schrägem Abdeckstein.

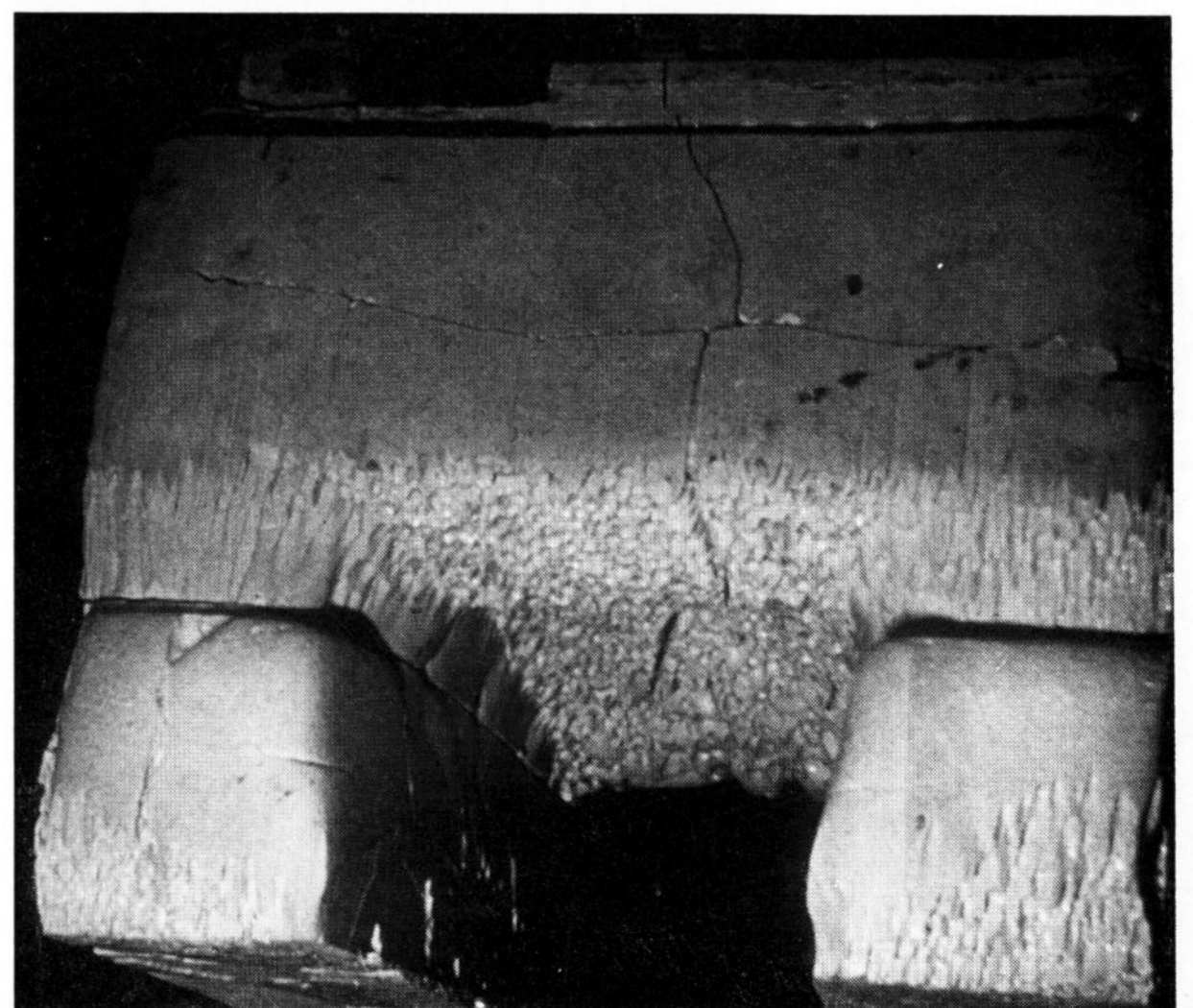
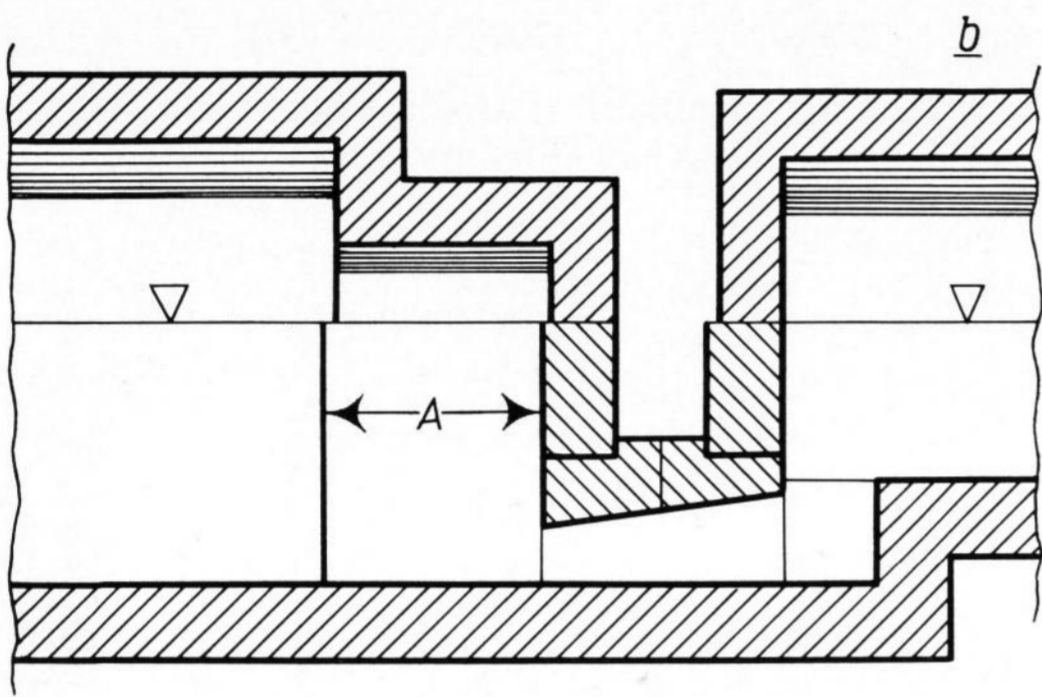
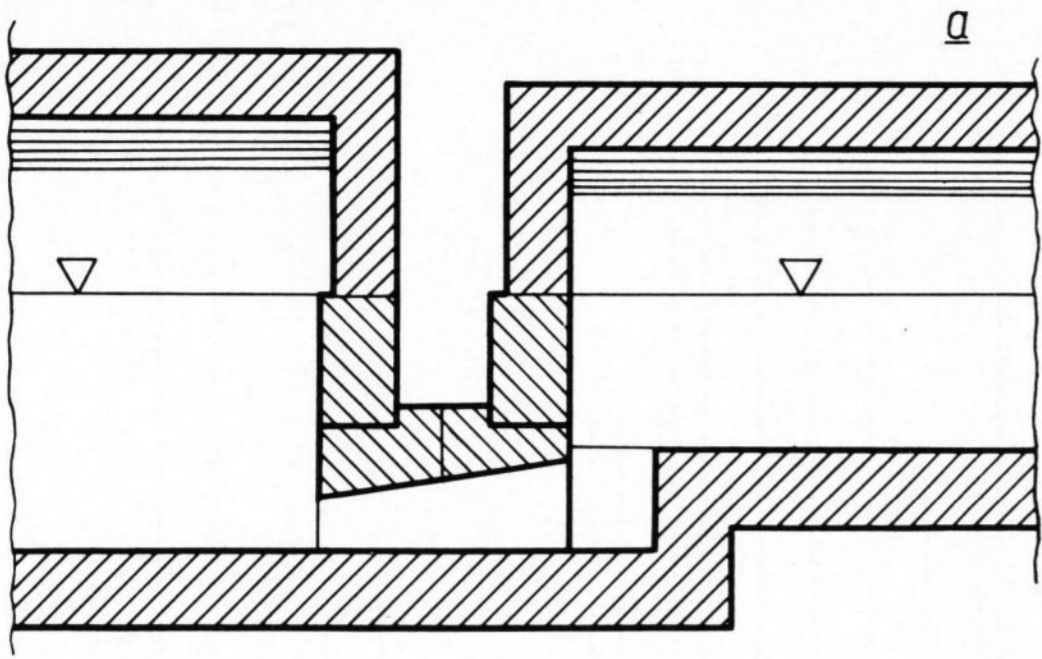


Bild 3. Lochfraß an dem Durchlaßabdeckstein.



Bilder 4a und b. Anordnung von Durchlässen;
a) in der Rückwand eingebaut,
b) von der Rückwand abgesetzt.

Anfang an im Hinblick auf Blasen gut. Es ist außerdem gelungen, die Zeiten zwischen den Erneuerungen des Durchlasses in der Wanne für weißes Brillenrohglas von anfangs etwa 7 Monaten auf jetzt rund 24 Monate zu verlängern.

Die seinerzeit empfohlene Abschrägung des Durchlasses, dessen dem Glas zugekehrte Flächen später auch sehr glatt geschliffen waren (Bild 2), führte allein noch nicht zu einem vollen Erfolg. Offensichtlich begünstigten die am Durchlaß im farblosen Glas noch hohen Temperaturen eine schnelle Zerstörung des Abdecksteins. So zeigte ein Durchlaß bereits nach 7 Monaten Wannenreise sehr starken Lochfraß. In Bild 3 ist der stark angegriffene, von Löchern durchsetzte Abdeckstein zu erkennen.

Verschiedene Gründe, die eigentlich mit Homogenisierungsfragen zusammenhingen, führten dazu, an der Rückseite des Schmelzbeckens einen kurzen Kanal anzuordnen, an dessen hinteres Ende der Durchlaß gesetzt wurde (Bilder 4a und b). Die Temperaturen des Glasbades am Durchlaß verminderten sich dadurch auf $1360\text{ }^{\circ}\text{C}$ gegenüber vorher $1420\text{ }^{\circ}\text{C}$. Eine Senkung der Innentemperaturen an Wannensteinen um $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ist aber bei konventioneller Kühlung durch Luft oder Wasser am Anfang der Ofenreise nicht zu erreichen. Nach den Feststellungen von BRÜNING [6] und DAUDANS [2] macht sich der Einfluß der Kühlung überhaupt erst bemerkbar, wenn die Dicke der Wand bis auf etwa 11 cm abgenommen hat.

Erste Erfolge zeigten sich bei Farbglaswannen. Dabei ist zu bedenken, daß in diesen die Durchlässe nicht gekühlt werden können, weil sonst bei den stark wärme-

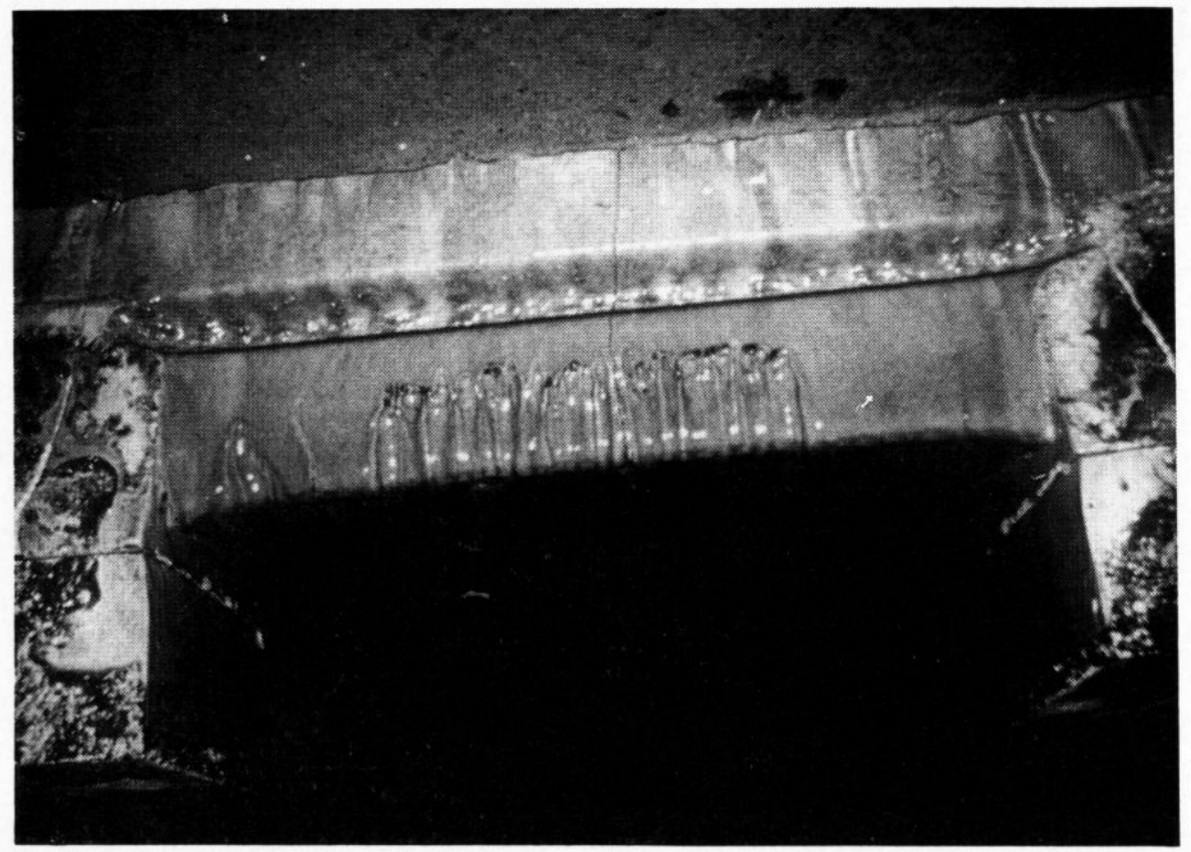


Bild 5. Zurückgesetzter Durchlaß einer Farbglaswanne von der Schmelzwanne her gesehen.

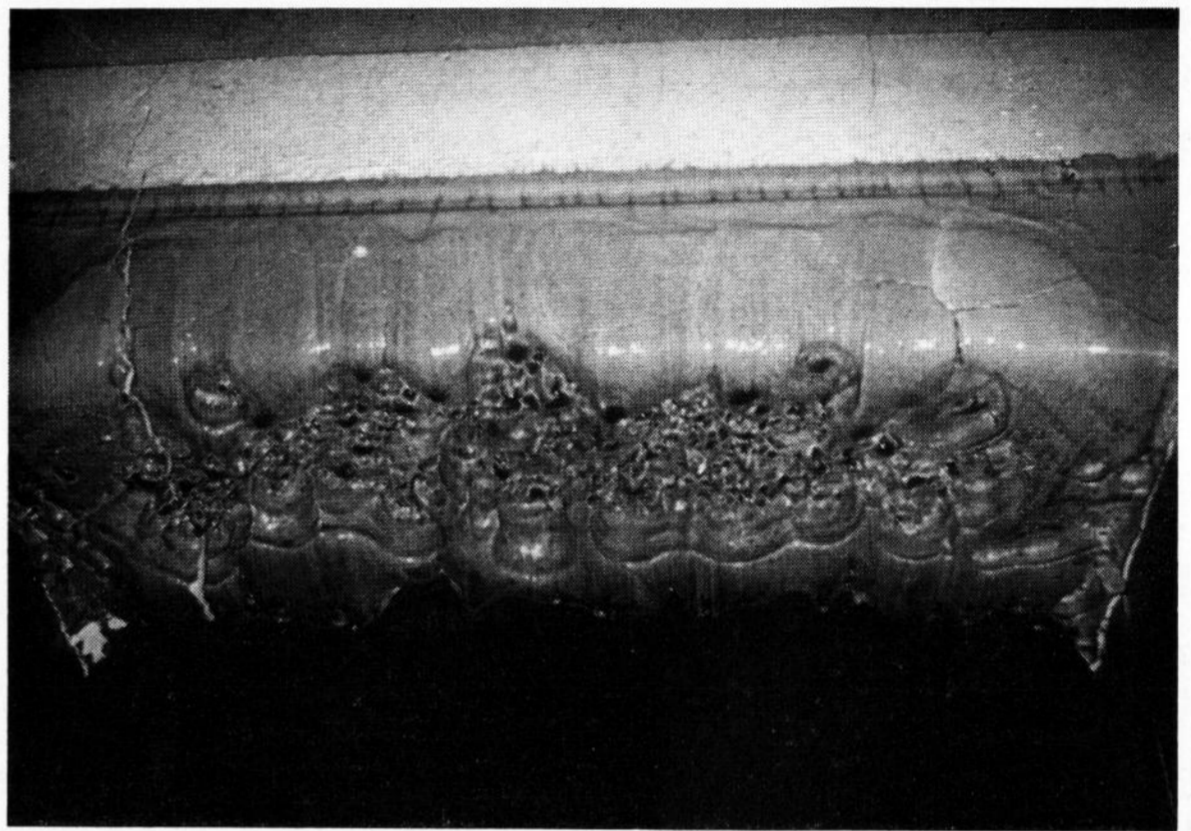


Bild 6. Abdeckstein des zurückgesetzten Durchlasses einer Farbglaswanne nach 19 Monaten Betriebszeit.



Bild 7. Zurückgesetzter Durchlaß einer Wanne für weißes Brillenrohglas nach 33 Monaten.

absorbierenden Gläsern die Gefahr des Einfrierens besteht. Andererseits ist der Angriff der sehr eisenoxidhaltigen Schmelzen auf schmelzgegossene Steine besonders groß. Die Ende 1967 gelöschte Wanne zeigte einen Durchlaß, der nach einer Laufzeit von 24 Monaten noch in recht ansprechendem Zustand war (Bild 5).

Nähere Einzelheiten bei einem Durchlaß einer Farbglaswanne, der 19 Monate in Betrieb war, zeigt Bild 6. Es läßt erkennen, daß der Lochfraß gegenüber Bild 4 deutlich geringer geworden ist. Bei einem weiteren

Durchlaß in einer Farbglaswanne, die aus Kapazitätsgründen nur 1 Jahr in Betrieb war, konnte man von einem noch vollkommen glatten Abdeckstein sprechen. Schließlich wird in Bild 7 der Durchlaß nach der letzten Stilllegung der Wanne für weißes Brillenrohglas gezeigt, der 33 Monate in Betrieb war. Erst in der allerletzten Zeit begannen beim Glas aus dieser Wanne die Blasen wieder zuzunehmen; die Zerstörung durch Lochfraß ist also hinausgezögert worden und hielt sich auch zum Schluß in Grenzen.

2. Seitenwände mit abgeschrägten Steinen

Auch die Frage schräger Seitensteine ist in einer früheren Arbeit [5] behandelt worden. Darin wurde vorgeschlagen, nicht nur eine, sondern zwei schräge Flächen auf der dem Glas zugewandten Seite des Steines vorzusehen (Bild 8). Die Steine mit einfacher Abschrägung weisen die bekannte, stark ausgebildete Schwappkante auf. Der von Anfang an im oberen Teil nur 20 cm dicke Palisadenstein zeigt zwar eine glatte Fläche, aber eine nach 33 Monaten stark eingeschnittene Schwappkante. Die Temperatur im Schmelzbecken lag bei etwa 1530 °C. Zu beachten ist, daß die Zerstörung bis zu etwa 10 cm Restdicke geht. Offenbar hat sich dann die äußere Kühlung (der Stein war isoliert und nur an der Schwappkante gekühlt) bemerkbar gemacht. In der Bassinwand sieht das dann so aus, wie es im folgenden Bild 9 festgehalten ist. Zum Vergleich ist die Spülkante eines senkrechten Steines, bei dem der Angriff bis zum Lunker durchgegangen ist, in Bild 10 gezeigt.

Die zweite Abschrägung des Steines an der Schwappkante führt zu einer ganz anderen Ausbildung der Angriffsstelle am Stein. Eine echte Schwappkante mit oben weit überstehendem Rest des Wannensteines bildet sich nicht aus (Bild 11). Zur Erklärung hierfür könnte eine der beiden folgenden Überlegungen herangezogen werden:

1. Schon LÖFFLER [4] stellt als Bedingung für das Entstehen der Spülkante die Ausbildung eines positiven Meniskus heraus. Dieser kann aber bei der Gestaltung des Seitensteines sich in Höhe des Glasspiegels nicht entwickeln.
2. Die Angriffslinie Glas-feuerfester Stein, an der noch die Gasphase des Ofens hinzutritt, ist aus dem Bereich der hohen Schmelzwannentemperaturen in den Schatten des Oberbaus gerückt. Das kommt einer Kühlung der Schwappkante gleich.

Man kann wohl daraus schließen, daß die zweite Abschrägung des Steines zu einer deutlichen Verminderung des Angriffs geführt hat. Besonders der oben weit überstehende und abtropfende Steinteil kann sich nicht ausbilden. Genauere Aussagen hierzu können erst gemacht werden, wenn weitere Ergebnisse vorliegen. Ein gewisses Problem ergibt sich allerdings beim Festsetzen der Einschubsteine.

3. Stirnwall des Einlegevorbaus

Während die beiden bisher betrachteten Angriffsstellen durch die getroffenen Maßnahmen in niedrigere Temperaturbereiche gebracht werden sollten, ist das bei der Stirnwall der Einlegevorbauten gerade umgekehrt. Auch wenn die Außenflächen der Steine an dieser Stelle gut isoliert sind, ist die nach oben liegende Seite immer

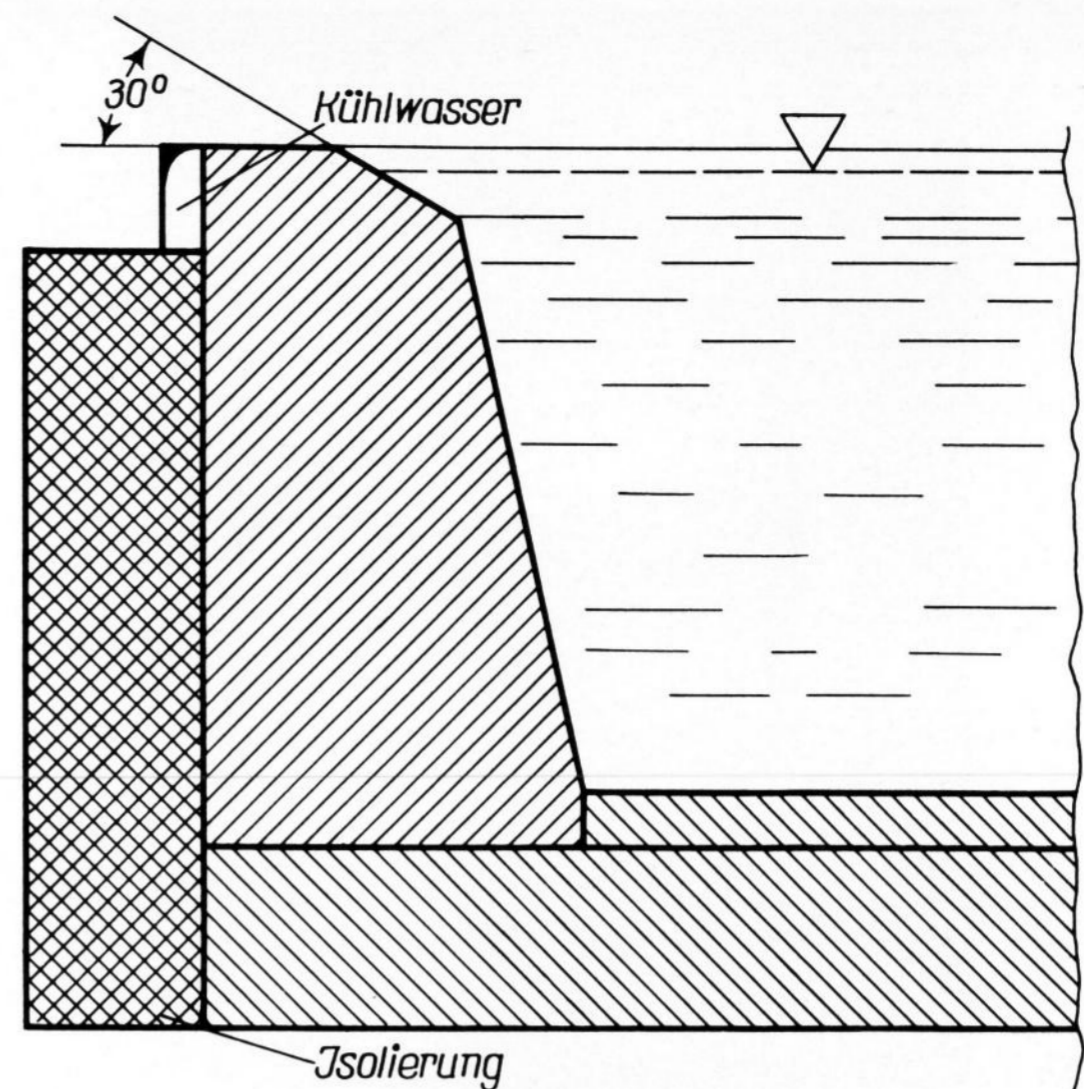


Bild 8. Zweifach abgeschrägter Wannenseitenstein.

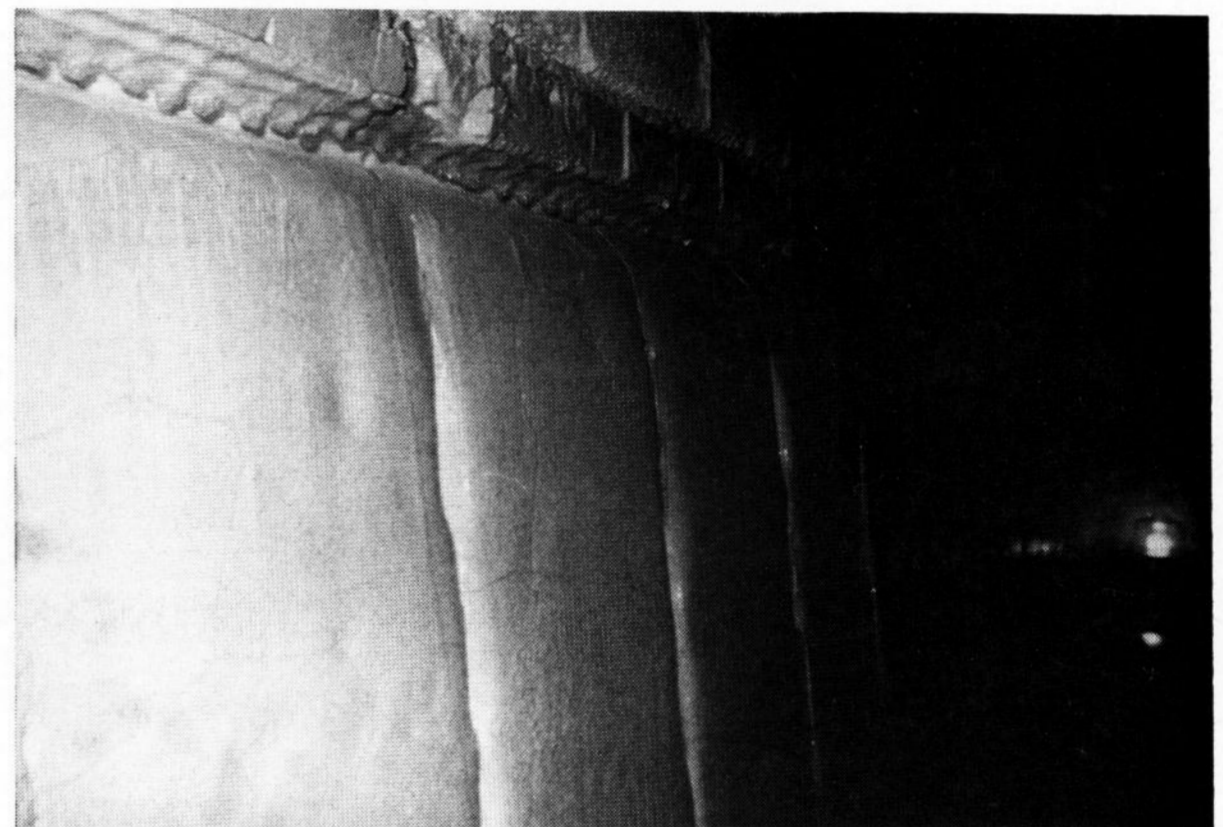


Bild 9. Seitenwandpartie mit Spülfuge nach 33 Monaten.

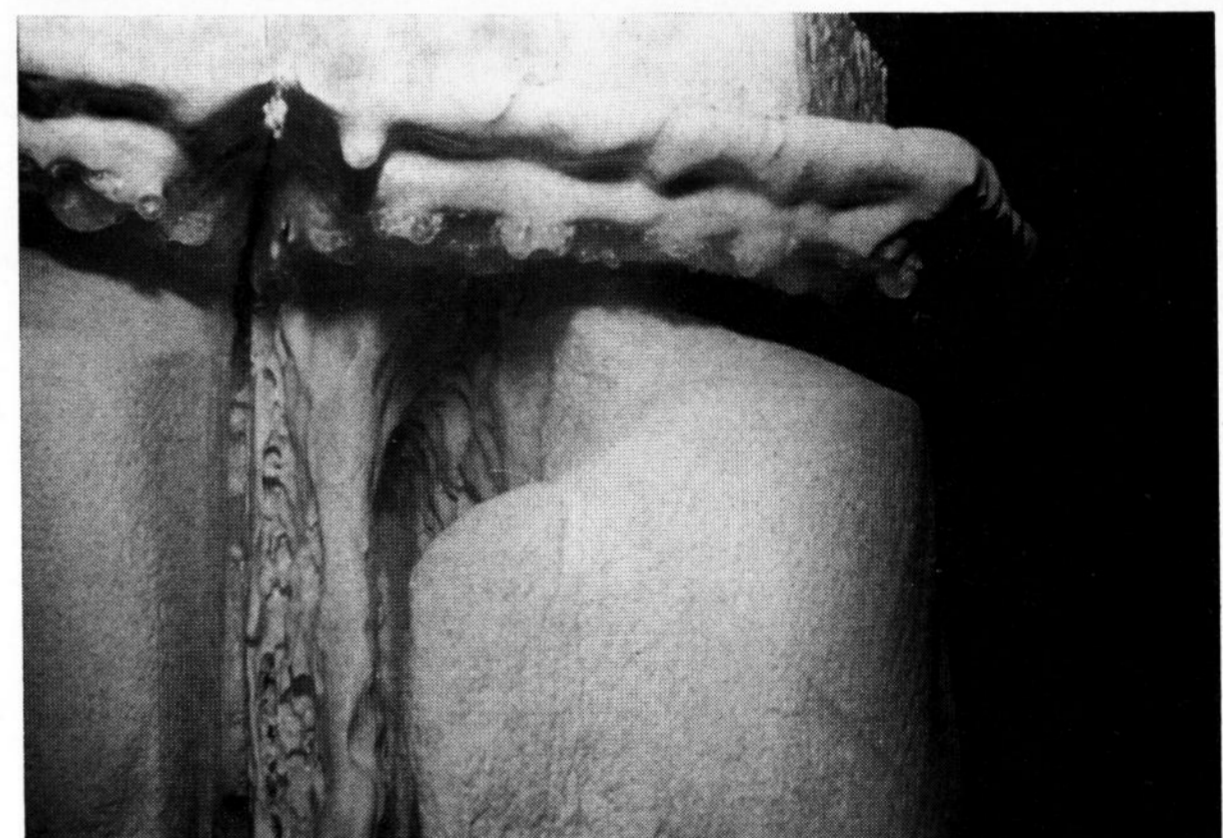


Bild 10. Seitenstein (Wannenecke) ohne Abschrägung. Die Spülfuge hat den Lunker im Steininnern erreicht.

wieder einer starken Abschreckung durch Kaltluft, darauf rieselndes kaltes Gemenge und die wassergekühlten Einlegeschaufeln ausgesetzt. Das führt zu einer zerrissenen, zerklüfteten Oberfläche, und schließlich fallen ganze Stücke des Steines in die Wanne.

Abhilfe schafft hier das Auflegen von Isolierplatten. Diese Lösung ist aber nicht immer ideal. Oft ist kein

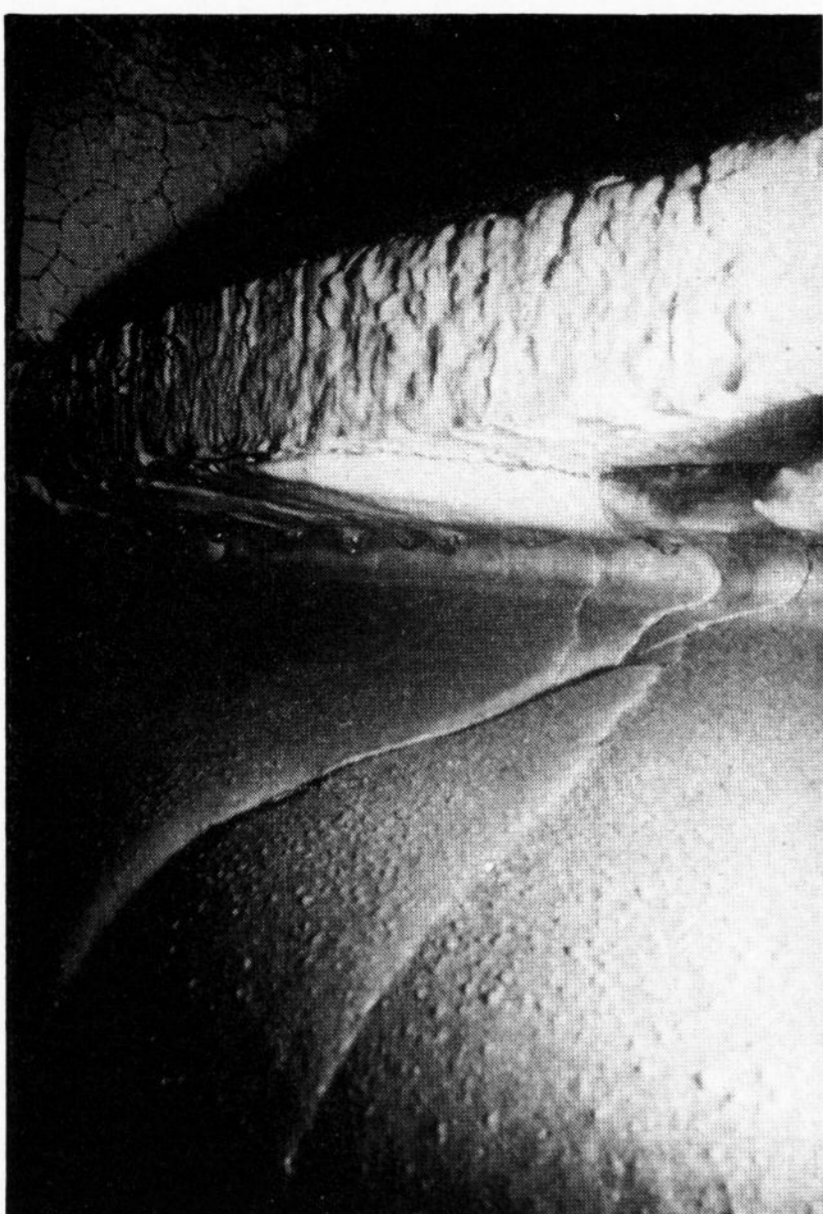


Bild 11. Seitenwandpartie mit doppelt abgeschrägten Steinen nach 19 Monaten.



Bild 13. Steine in der Stirnwand eines Einlegevorbaus nach 12 Monaten.

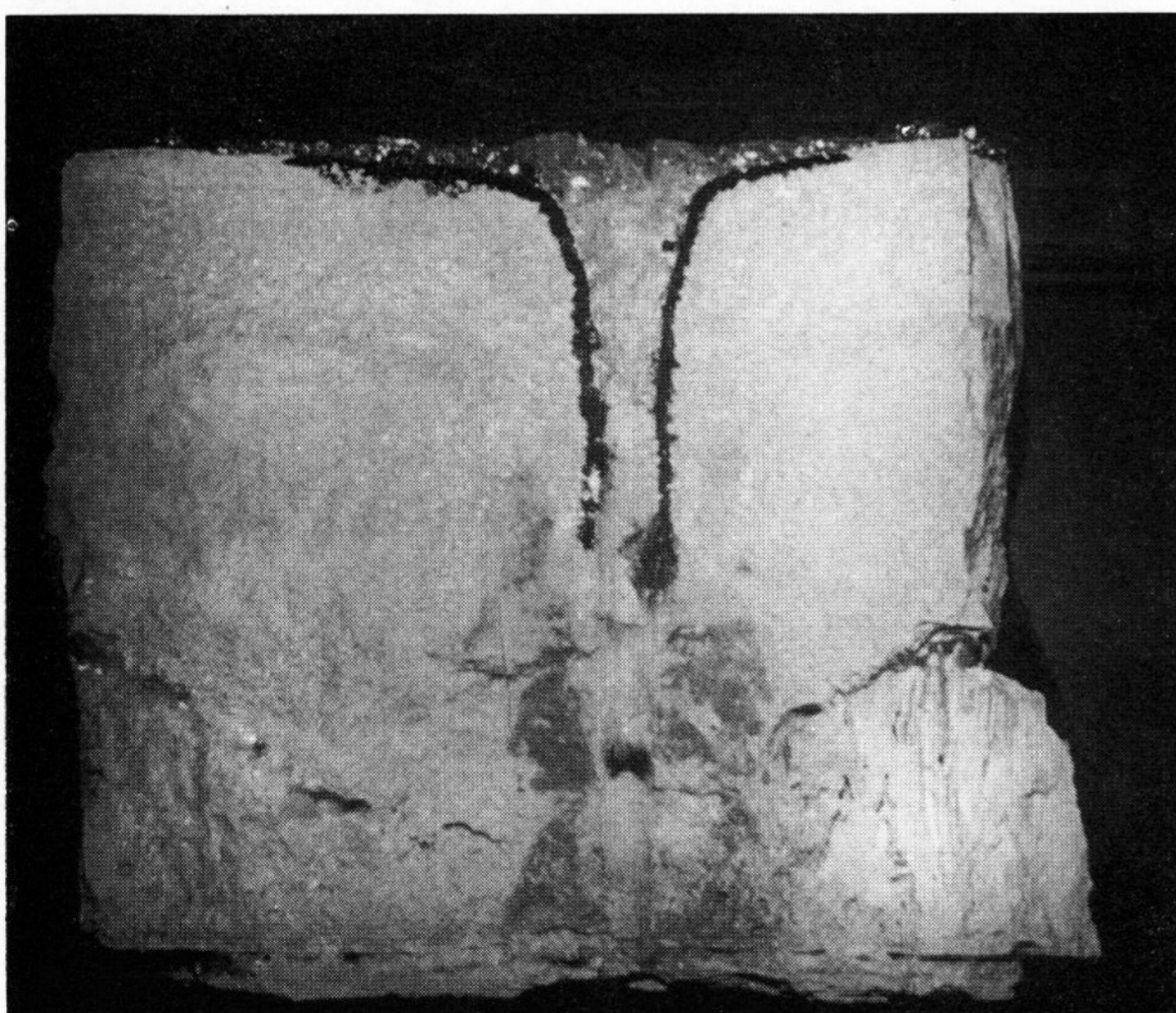


Bild 16. Auswaschung des Bodensteines aus Corhart-Zac 1711 (lunkerfrei) bei Verwendung eines ungekühlten Keramikrohres für das Bubbling. Die Grenzlinie Bodenstein-weißes Glas ist schwarz markiert.

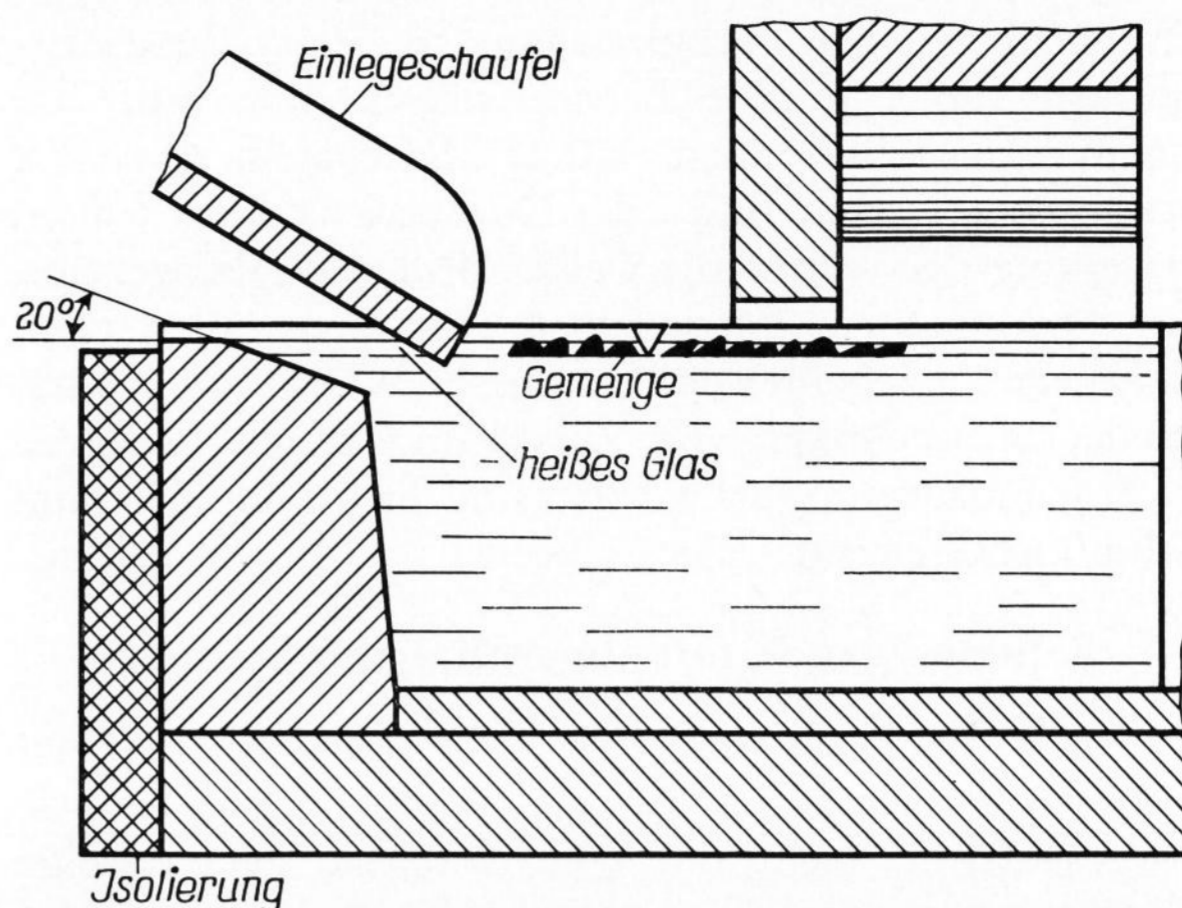


Bild 12. Einlegevorbau mit doppelt abgeschrägtem Stein an der Stirnwand.

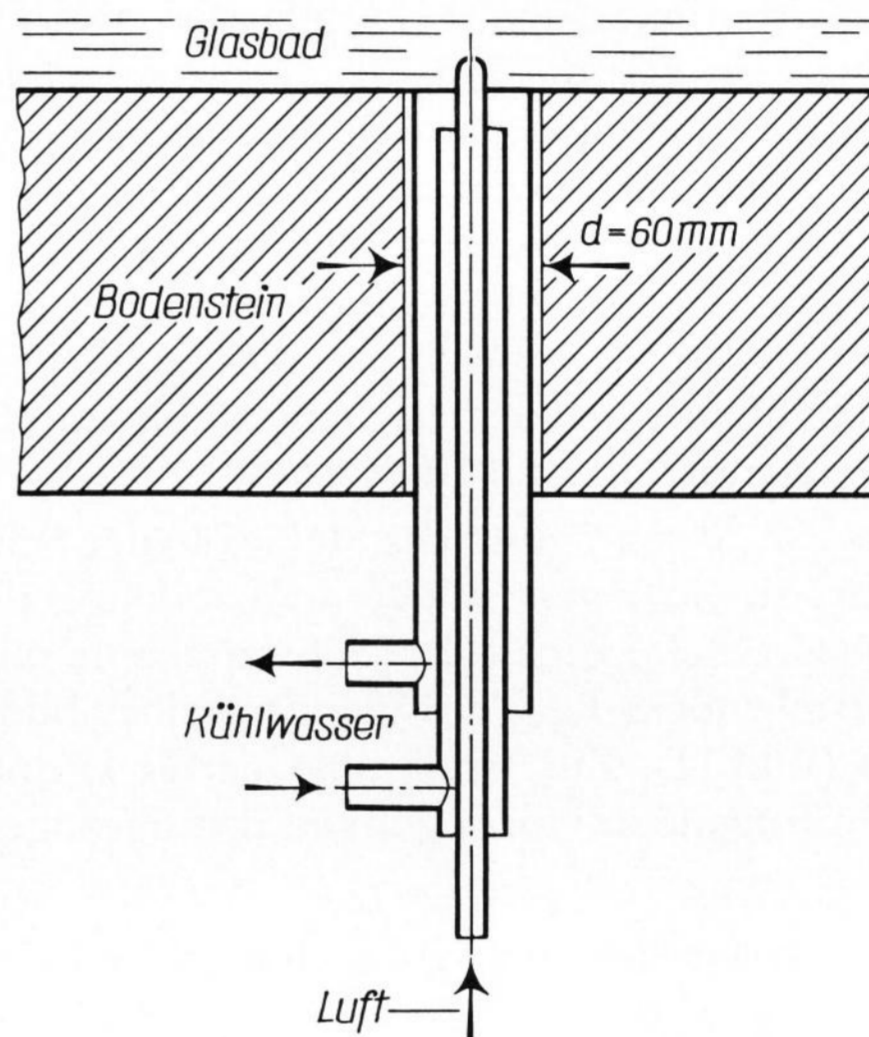


Bild 14. Wassergekühlte Düse mit Platinkappe für die Preßluft beim Bubbling.

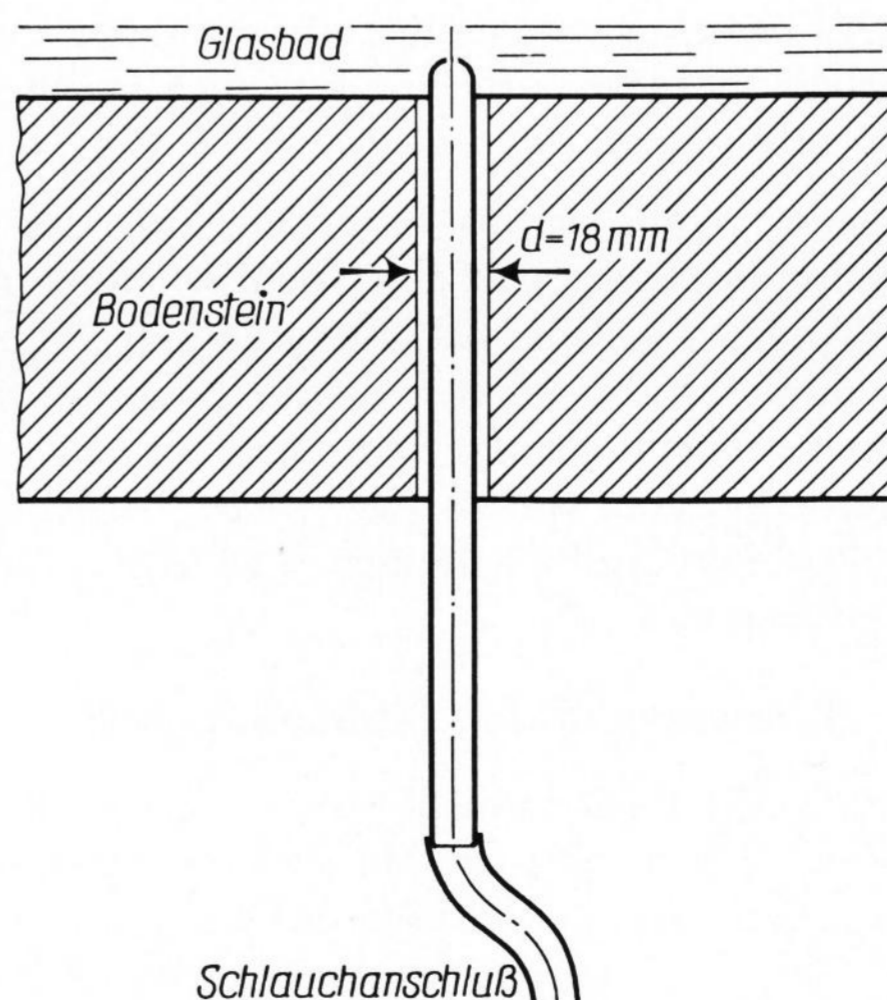


Bild 15. Einfaches Keramikrohr für das Bubbling.

Platz dafür vorhanden. Eine hinreichende Abschirmung der Steinoberfläche gegen Abschreckung kann erreicht werden, wenn auch hier zwei Abschrägungen, wie sie Bild 12 zeigt, vorgesehen werden. Das heiße Glas liegt dann auch unter den Einlegeschaufeln noch über dem Stein. Die seitlichen Wände des Einlegevorbaus sind wie üblich durch aufgelegte Isolierplatten geschützt. Bei dunkleren Farbgläsern kann dabei das lästige Festkleben des Gemenges an den Steinen, das den Einlegevorgang unter Umständen zum Erliegen bringt, vermieden werden. Tatsächlich befinden sich Steine eines so ausgebildeten Einlegevorbaus nach einer Laufzeit von 40 Monaten noch in einwandfreiem Zustand (Bild 13).

4. Bodensteine für das Bubbling

Schließlich sei noch auf die Möglichkeiten der Einführung der Preßluft für das Bubbling in das Glasbad hingewiesen. Die erste Versuchsanordnung sah eine wassergekühlte Eintrittsdüse mit Platinkappe vor (Bild 14). Diese Anordnung hat sich jedoch nicht bewährt. Dagegen brachte die Verwendung eines einfachen, ungekühlten keramischen Rohres die besten Erfolge (Bild 15). Störungen waren ausgeschaltet, und der Angriff auf den Stein blieb in Grenzen, wie es in Bild 16 zu erkennen ist. Dabei herrschten an dieser Stelle bei dem sehr strahlungsdurchlässigen Brillenrohrglas Temperaturen von 1420 °C, und die Wannenreise betrug 33 Monate. Interessant sind auch wieder die sich am Bubbling ausbildenden Strömungslinien, die durch Erosionswirkung an den Seitensteinen entstanden sind (Bild 17).

5. Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, daß konstruktive Maßnahmen — nämlich die Gestaltung der schmelzgegossenen Steine und ihre Anordnung im Wannenbecken — eine Verminderung des Angriffs durch die Glasschmelze

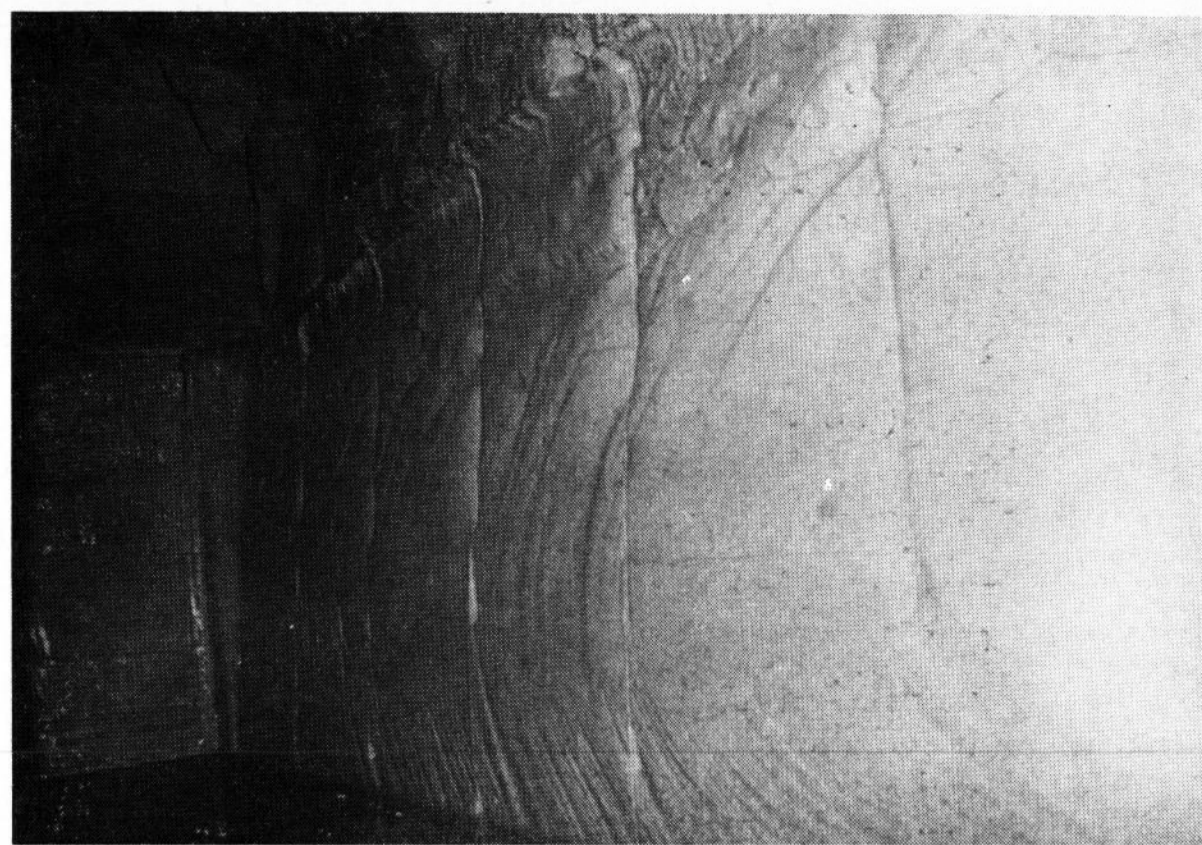


Bild 17. Strömungslinien an der Seitenwand im Bereich des Bubblings.

zur Folge haben. Beim Durchlaß scheint die Abschrägung das Ausmaß des Lochfraßes herabzusetzen, und die Anordnung am Ende eines kurzen Kanals führt zu tieferen Temperaturen besonders bei der Abdeckplatte. Durch diese Maßnahmen verlängerte sich die Standzeit des Durchlasses, wobei die ganze Zeit über die geforderte hohe Glasqualität erbracht wurde.

Die schon früher vorgenommene Abschrägung der Seitensteine wird durch eine zweite in Höhe der Schwappkante ergänzt. Lochfraß und das tiefe Auswaschen des Steines werden dabei verringert. Auch beim Einlegevorbau wird die Oberfläche der Stirnseite abgeschrägt. Die darüber liegende Glasgemengesicht schirmt hier die Steine vor Kaltluft ab und erhöht ihre Haltbarkeit. Schließlich werden Anordnungsmöglichkeiten für die Einführung der Preßluft beim Bubbling gezeigt.

Der Autor dankt seinem Mitarbeiter, Herrn MOMBERG, auch an dieser Stelle für seine Hilfe beim Zustandekommen dieser Arbeit.

6. Literatur

- [1] BUSBY, T. S.: Flux-line corrosion. *Glass* **39** (1962) S. 182 bis 186, 189. [Ref. *Glastechn. Ber.* **36** (1963) S. 29.]
- [2] DAUDANS, J.: Einfluß der Kühlung schmelzgegossener Steine auf Steininnentemperatur und Steinhaltbarkeit. *Glastechn. Ber.* **45** (1972) Nr. 10, S. 433 – 438.
- [3] LIEHN, W.: Konstruktive Gesichtspunkte beim Bau kleiner, seitenbeheizter Rekuperativwannen. *Glastechn. Ber.* **37** (1964) S. 301 – 305.
- [4] LÖFFLER, J.: Physikalische und chemische Reaktionen, die in Glaswannen zur Ausbildung von Spülfugen oder zum Lochfraß führen. *Glastechn. Ber.* **38** (1965) S. 398 bis 405.
- [5] LIEHN, W.: Erfahrungen mit der strömungsgerechten Ausbildung von Durchlässen und mit der Abschrägung der Palisaden im Wannenbecken. *Fachauschlußvortrag*. [Ref. *Glastechn. Ber.* **39** (1966) S. 315 – 316.]
- [6] BRÜNING, R.: Überlegungen zur Haltbarkeit von Durchlaßdecksteinen bei verschiedenen Kühlverfahren. *Glastechn. Ber.* **45** (1972) Nr. 10, S. 439 – 443.