

behindert wird. Dabei entstehen auf beiden Seiten des Strahls große Rückstromwirbel. Die Totwassergebiete im Zentrum dieser Rückstromwirbel werden mit abnehmendem Impuls größer, ebenso die Kurzschlußströmungen.

Die Untersuchungsergebnisse in Bild 9 zeigen, daß die Stabilität der Strömung bei Verwendung der geneigten Brenner wesentlich vermindert wurde, da man nur bei einem Brennerabstand von 400 mm bei allen Impulsverhältnissen eine stabile Umkehrströmung erreicht. Bei den übrigen Brennerabständen, vor allem bei einem solchen von 280 mm, tritt bei kleinem Primärimpuls ein starkes Pendeln des Brennerstrahls auf. Vergleicht man diese Ergebnisse mit denen bei parallelen Brennern, so zeigt es sich, daß einmal zur Erreichung eines stabilen Strömungszustandes ein größerer Brennerabstand erforderlich und andererseits der stabilisierende Einfluß des Strahlimpulses geringer ist.

4. Zusammenfassung

Zunächst wurde der Strömungsverlauf bei Umkehrflammen, über den bisher nur unklare Vorstellungen bestanden, eindeutig beschrieben. Die Untersuchungen ergaben, daß Strahlbreite, Lage des Hauptwirbelzentrums und Stabilitätsgrenzen der Umkehrströmung vor allem von dem Mittenabstand der Brenner und dem Strahlimpuls abhängen. In diesem Zusammenhang sei auch auf die Betrachtungen von STEIN [4] verwiesen. Die Einflüsse der oben genannten Parameter wurden in Diagrammen dargestellt, aus denen nunmehr die Stabilitätsgrenzen der Umkehrströmung bei anderen Impulsen oder Brennerabständen abgelesen werden können. Die Ergebnisse decken sich im wesentlichen mit denen von TERADA und WAKAMATSU [5], obgleich deren zweidimensionale Modelluntersuchungen den Strömungsverlauf nicht eindeutig wiedergeben.

- [1] RUMMEL, K.: Der Einfluß des Mischungsvorganges auf die Verbrennung von Gas und Luft in Feuerungen. Arch. Eisenhüttenwes. **10** (1936) S. 505—510, 541—548, **11** (1937) S. 19—30, 67—80, 113—123, 163—181, 215—224. [Ref. Glastechn. Ber. **16** (1938) S. 179.]
- [2] GÜNTHER, R. und RENNER, K.: Brenneruntersuchungen. Teil I bis IV. Glastechn. Ber. **26** (1953) S. 53—60, 97 bis 110, 386—407, **27** (1954) S. 192—198.
- [3] JOHNSTONE, R. E. und THRING, M. W.: Pilot plants,

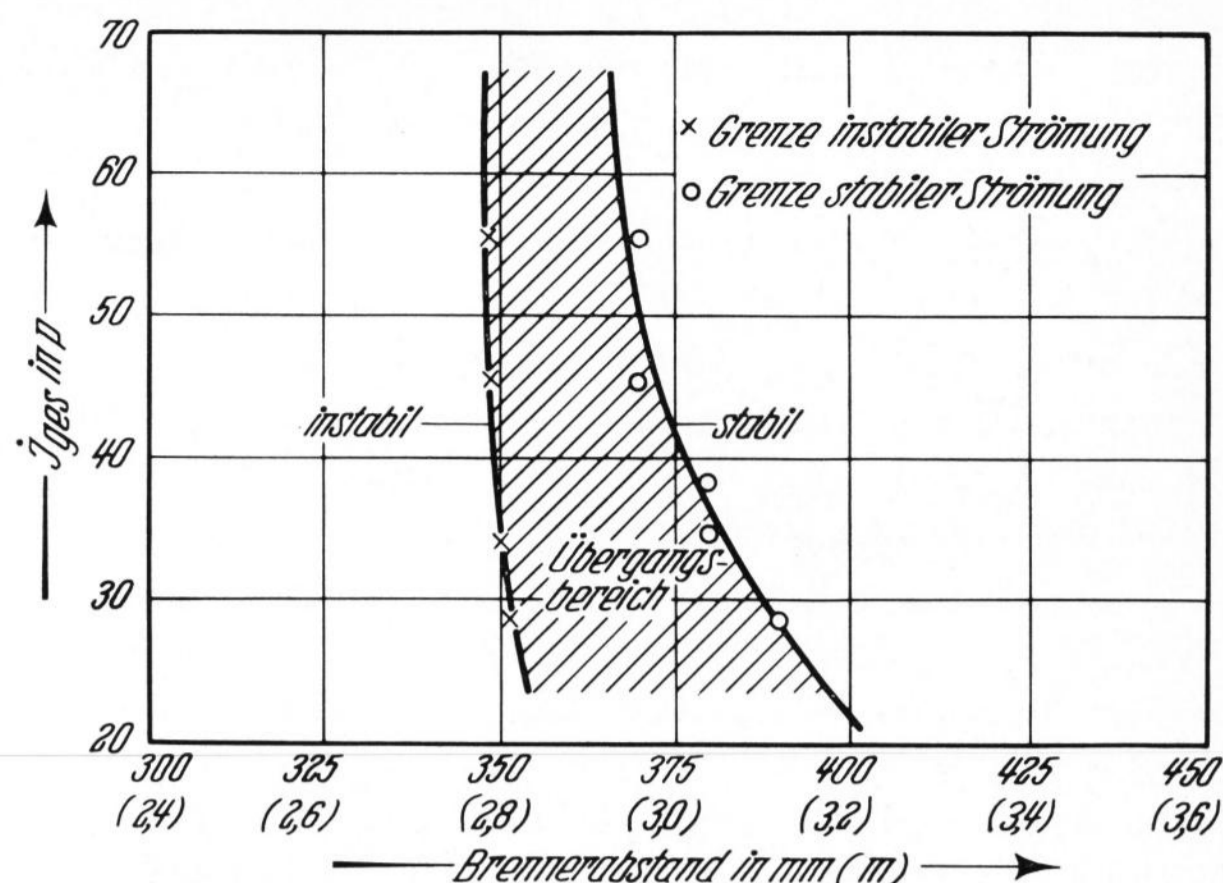


Bild 9. Stabilitätsbereich bei geneigten Brennern.

5. Formelzeichen

- I_1 = Impuls der Primärstrahlen
 - I_2 = Impuls des Sekundärstrahls
 - l = Abstand des Wirbelmittelpunktes vom Brenner
 - \dot{m} = Massenstrom
 - Re = Reynolds-Zahl
 - \bar{u} = mittlere Geschwindigkeit
 - \dot{V} = Volumenstrom
 - ρ = Dichte
 - BA = Brennerabstand
 - B_M = Modellbreite
 - L = Modelllänge
- Indizes
- Br = Brennstoff
 - Gr = Großausführung
 - L = Luft
 - M = Modell

Der Autor dankt der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AIF), Köln, und dem Bundeswirtschaftsministerium, Bonn, für die Förderung der Arbeit durch eine Sachbeihilfe.

6. Literatur

- models and scale-up methods. New York: McGraw Hill 1957.
- [4] STEIN, A.: Konstruktion und Betriebsweise regenerativ beheizter Stirnbrennerwannen (U-Flammenwannen). Glastechn. Ber. **37** (1964) S. 296—301.
- [5] TERADA, K. und WAKAMATSU, M.: Fundamental studies on glass melting tanks. Part I, Model experiments on the flow of gases in an end-port-tank using water and hot gases as the fluids. J. ceram. Assoc. Jap. **67** (1959) S. 61 bis 70. [Ref. Glastechn. Ber. **33** (1960) S. 313.] (47377)

DK 535.862:66.041

Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten eines Ofenperiskopes

Von THEODOR WERNER, Frankfurt (Main)

(Vortrag auf der 42. Glastechnischen Tagung am 15. Mai 1968 in Würzburg)

(Mitteilung aus der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie, Frankfurt (Main))

(Eingegangen am 14. Juni 1968)

Zusammen mit einem namhaften deutschen Hersteller für optische Geräte wurde ein Ofenperiskop mit einem objektseitigen Blickwinkel von 44° entwickelt. Durch Drehen (360°) des Gerätes um seine Längsachse ist ein Raumwinkel von insgesamt 88° zu beobachten, ohne das Gerät in eine andere Position bringen zu müssen. Das im Okular zu beobachtende Bild steht dabei immer aufrecht. Ein Ausblick rechtwinklig zur Periskopachse bei einem objektseitigen Blickwinkel von 44° ist ebenfalls möglich.

Der optische Teil des Gerätes befindet sich in einem wassergekühlten Schutzrohr von 65 mm Außendurchmesser. Zur Objektivkühlung dient Druckluft. Für verschiedene Einsatzmöglichkeiten stehen Periskope mit Einbaulängen von 300, 675 und 1000 mm zur Verfügung.

Bisher wurde das Gerät in Glaswannen mit Maximaltemperaturen von über 1600 °C sowie Hafenoöfen und Tageswannen eingesetzt, um Flammenentwicklung, Einlegen und Abschmelzen des Gemenges sowie den Zustand der feuerfesten Baustoffe während des Ofenbetriebes zu beobachten. Mit Steh-(Kleinbild-) und Laufbildkamera (16 mm) konnten die mit Hilfe des Periskopes beobachteten Details fotografisch aufgenommen werden.

Eine Verbesserung der visuellen Beobachtbarkeit der Vorgänge in Glasschmelzöfen hat viele Vorteile. Die

Flammeneinstellung und das richtige Einlegen des Gemenges wird dadurch erleichtert, der Zustand der feuer-

festen Baustoffe läßt sich besser beurteilen und damit die Ofenlebensdauer wirksamer abschätzen, um nur einige der Möglichkeiten zu nennen.

Leider ist die gute Beobachtbarkeit mit herkömmlichen Mitteln nur in Verbindung mit vielen Schauöffnungen und allen damit verbundenen Nachteilen möglich. Einen Ausweg, die Vorteile zu wahren, ohne die Nachteile in Kauf nehmen zu müssen, bietet die Verwendung von Ofenperiskopen.

Für den Dauerbetrieb haben sich Ofenperiskope mit Fernsehaufnahmekameras und getrennten Wiedergabegeräten bewährt. Nachteilig sind dabei jedoch die sehr beschränkte Bildqualität wegen des geringen Auflösungsvermögens sowie die großen Schwierigkeiten, die Bilder fotografisch zu fixieren, um eine Dokumentation zu schaffen.

Eine bedeutende Erweiterung der Möglichkeiten bietet der Einsatz eines ambulanten, mit einer hochwertigen Optik ausgestatteten Periskopes, das sowohl für die visuelle Beobachtung als auch für die Anfertigung von Foto- und Filmaufnahmen geeignet ist. Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz eines solchen Gerätes ist allerdings, daß es so leicht und klein gebaut werden kann, um einen ambulanten Einsatz zu ermöglichen und mit kleinen Ofenöffnungen auszukommen. Der effektive Blickwinkel soll groß und möglichst abgewinkelt sein, damit auch Bereiche beobachtet werden können, die sich der direkten Beobachtung entziehen.

In Zusammenarbeit mit der Firma Hensoldt & Söhne, Wetzlar, gelang es der HVG, ein Ofenperiskop zu entwickeln, das weitgehend den gestellten Anforderungen genügt. Über den Aufbau, die Wirkungsweise und die gemachten Erfahrungen wird im folgenden berichtet.

1. Bisherige Beobachtungsgeräte

Der Wunsch, ein geeignetes Beobachtungsgerät für Schmelzöfen zu haben, ist nicht neu. Er wurde im Verlaufe der Entwicklung von Hochleistungsanlagen, die zu immer größeren Laufzeiten führte, in dem Maße stärker, wie aus den einleitend genannten Gründen die Öfen „undurchsichtiger“ wurden. Bisher sind drei Geräte bekannt geworden, von denen die gestellten Forderungen aber nur teilweise erfüllt werden.

Ein Periskop wurde von der British Iron and Steel Research Association (BISRA) entwickelt [1]. Es hat einen äußeren Durchmesser von 12,8 cm und ist 2,1 m lang. Vor dem Objektiv befindet sich ein kippbarer halbdurchlässiger Planspiegel, der je nach Stellung ein Bild mit einem Winkel von $40^\circ \times 30^\circ$ aus einer von drei Öffnungen aufnimmt und an das optische System über ein Konkavspiegelsystem weitergibt. Die drei möglichen Spiegelstellungen sind so aufeinander abgestimmt, daß beim Schwenken insgesamt ein Winkel von 120° ausgenutzt wird. Mit diesem BISRA-Periskop konnten sowohl visuelle Beobachtungen als auch Schmalfilmaufnahmen gemacht werden. Optisch würde dieses Gerät die gestellten Forderungen erfüllen, für den allgemeinen Gebrauch ist es allerdings zu schwer. Bisher wurde nicht bekannt, daß dieses Versuchsmuster im Handel erhältlich ist.

Ein weiteres Versuchsmuster, mit dem Ölflammen in Siemens-Martin-Öfen und Ferngasflammen in einer Flachglaswanne gefilmt wurden, entwickelte vor Jahren

das Institut für Wissenschaftlichen Film, Göttingen, in Zusammenarbeit mit der Firma Hensoldt & Söhne, Wetzlar [2]. Der Kühlmantel hat einen Außendurchmesser von 90 mm. Bei einer Gesamtlänge von 4 m liegt das Gewicht des Gerätes einschließlich Kamerasockel bei etwa 100 kg. Das Objektiv erfaßt einen Raumwinkel von 43° .

Die Temperatur in der Nähe der Frontlinse des Objektivs stieg nach etwa 2 min Einsatz im Ofen auf 200 bis 300°C an. Dieses Gerät ist in der vorliegenden Ausführung für Dauerbetrieb demzufolge nicht geeignet, der überblickbare Raumwinkel ist mit 43° für die Beobachtung von Glasschmelzöfen zu klein, so daß zu viele Öffnungen zum Einsetzen nötig würden, außerdem ist die Handhabung wegen des hohen Gewichts schwierig.

Ein besonders leichtes Periskop vornehmlich zur visuellen Beobachtung baut die englische Firma Foster. Das Gerät hat einen geraden und einen rechtwinklig zur Achse liegenden Seitenausblick mit jeweils einem vom Objektiv erfaßten Raumwinkel von 33° . Der Außendurchmesser beträgt 4,5 cm. Wie Versuche vor etwa 10 Jahren in Deutschland zeigten, sind fotografische Aufnahmen mit diesem Gerät nur begrenzt möglich, da auf Grund des verwendeten optischen Systems beim Fotografieren nur ein sehr kleiner Teil des vom Gerät erfaßten Raumwinkels von der Kamera abgebildet wird. In neuerer Zeit wurde aus den USA bekannt [4], daß mit einem Gerät der gleichen Firma — offensichtlich handelt es sich um eine Weiterentwicklung des vorgenannten Periskopes — Zeitrafferaufnahmen auf 16 mm Schmalfilm von einschmelzendem Gemenge gemacht wurden. Es wird allerdings betont, daß auf Grund der geringen Lichtstärke des Periskops als kürzeste Belichtungszeit nur $1/30$ s für normal empfindliche Filme möglich ist, um das Filmmaterial nicht unterzubelichten. Zur Aufnahme von Flammen und Rauchgasen wird man sicher auf eine Belichtungszeit von $1/125$ s gehen können, doch ist diese Belichtungszeit für Ölflammenaufnahmen noch zu lang. Erfahrungsgemäß wird erst bei $1/500$ s Belichtungszeit eine Ölflamme annähernd scharf abgebildet. Die optische Güte des Periskopes entspricht der eines Fotoobjektivs nicht ganz, wie der amerikanische Verfasser vermerkt. Auch dieses Gerät erfüllt damit die gestellten Forderungen leider nicht vollkommen.

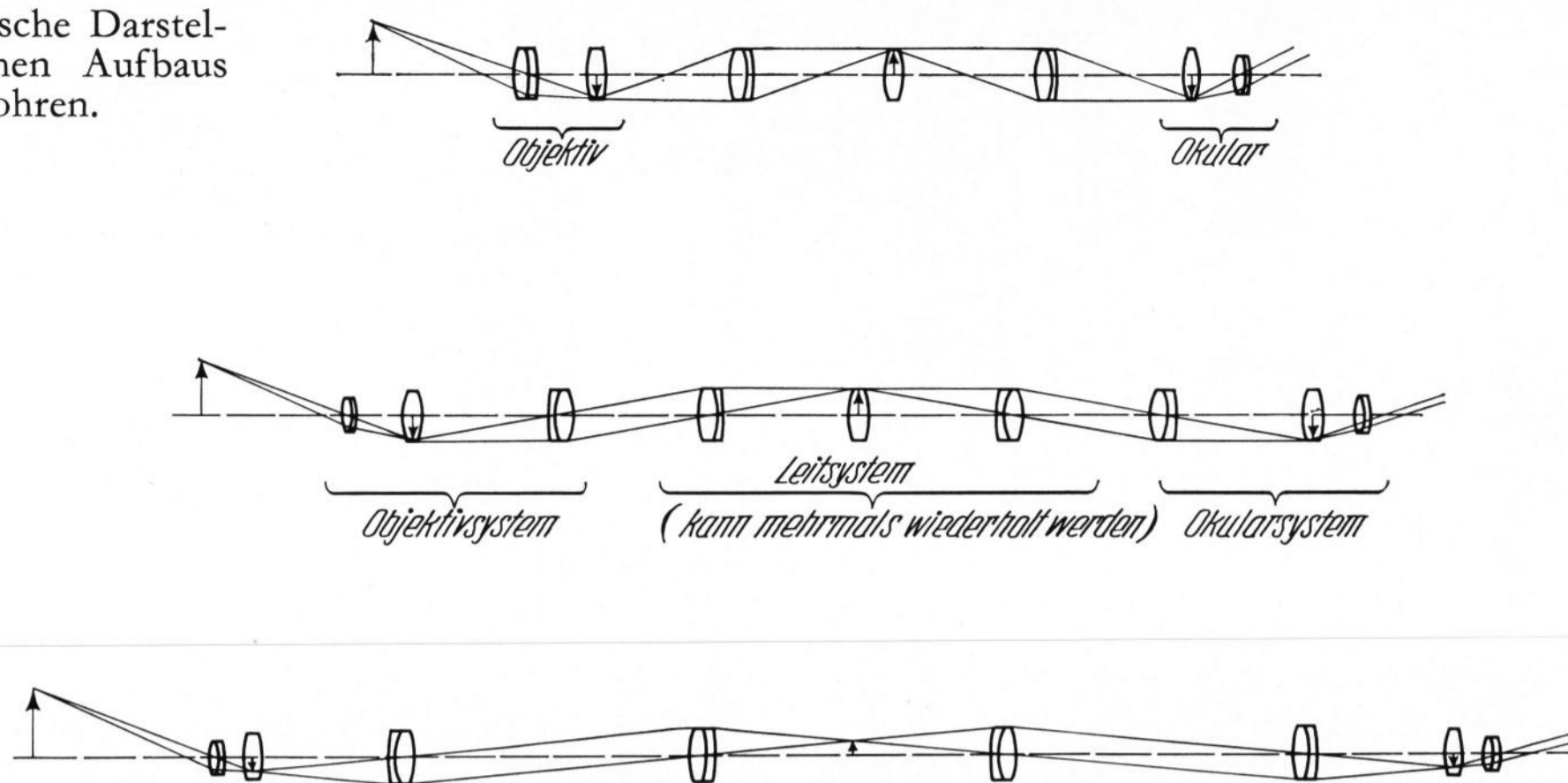
Zur Beobachtung des Inneren von Glasschmelzöfen werden heute Fernseheinrichtungen benutzt und das aufgenommene Bild in Meßwarten übertragen. Gemengelage und Flammenentwicklung sind auf diese Weise relativ gut zu erkennen, leider ist das Auflösungsvermögen von derartigen Industriefernsehkameras mit 625 bzw. 875 Zeilen nicht so gut wie das von Fotoobjektiven bzw. Sehrohren mit 2000 Zeilen, was zur Beobachtung des Schaumes, der Rauchgase und der feuerfesten Baustoffe unbedingt nötig ist.

Da zur Zeit kein Gerät auf dem Markt ist, das alle die eingangs gestellten Forderungen erfüllt, sah sich die HVG gezwungen, ein Periskop selbst zu bauen.

2. Das neue Ofenperiskop

Schon seit Jahren gibt es optische Spezialgeräte von ausgezeichneter Qualität — sogenannte Sehrohre —, die das Auge des Betrachters scheinbar an die zur Beobach-

Bild 1. Schematische Darstellung des optischen Aufbaus von Sehrohren.



tung eines unzugänglichen Raumes richtige Stelle verlegen. Sie werden zur Untersuchung der Innenoberfläche von Rohren und anderen Hohlkörpern benutzt und dienen als Periskope zur Inspektion explosionsgefährdeter, stark radioaktiv bestrahlter oder aus anderen Gründen unzugänglicher Räume, können allerdings nur bei normalen Temperaturen eingesetzt werden.

2.1. Optisches System

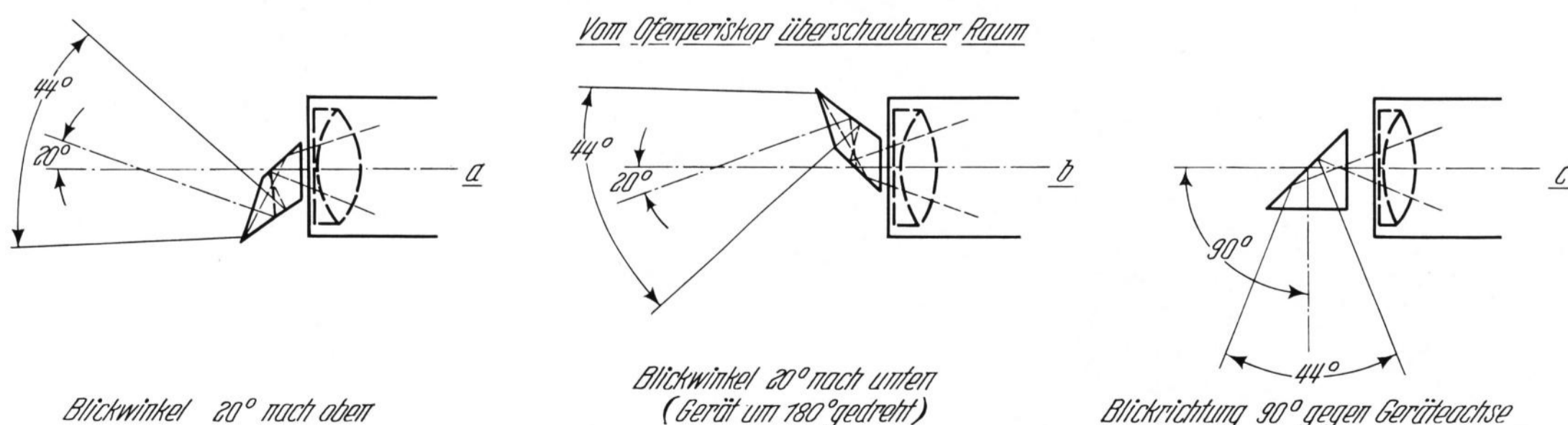
Um zu einem Ofenperiskop mit den einleitend genannten Merkmalen zu kommen, lag es nahe, ein solches Sehrohr so umzuändern, daß ein möglichst großer Raum von einem Standpunkt aus zu übersehen ist und die hohen Betriebstemperaturen des Ofens ohne Schaden ertragen werden. Aus konstruktiven Gründen bot sich ein Sehrohr mit 34 mm Außendurchmesser der Firma Hensoldt & Söhne an. Ein vom Objektiv entworfenes Zwischenbild entsteht verhältnismäßig nahe am Objekt und ist deshalb weit vom Beobachter entfernt, wie Bild 1 zeigt. Um dieses Bild zum Auge des Beobachters zu bringen, sind meist mehrere weitere optische Systeme nötig, die jeweils ein neues Zwischenbild entwerfen. Das letzte Zwischenbild liegt in der Bildebene des Okulars und wird vom Beobachter je nach der Entfernung zwischen Objektiv des Sehrohrs und dem beobachteten Objekt entweder vergrößert oder gering verkleinert gesehen.

Das Bild 1 gibt eine schematische Darstellung dieses optischen Aufbaus für den Fall von drei reellen Zwischenbildern. Es zeigt den Weg, den die beiden Randstrahlen eines Strahlenbündels zurücklegen, das von einem außerhalb der optischen Achse links oben liegenden Objektpunkt herkommt, bis sie schließlich aus dem Okular als Parallelstrahlen austreten, um im Auge des Betrachters ein scharfes Bild zu erzeugen. Dreimal schneiden sich diese Randstrahlen im Inneren des Seh-

rohres, nämlich an den Stellen, an denen die drei reellen Zwischenbilder entstehen. Die drei untereinander angeordneten Skizzen deuten drei verschiedene Möglichkeiten für die optische Gestaltung der Einzelheiten an.

Wegen des relativ geringen Rohrdurchmessers sind dem vom Objektiv überschaubaren Raumwinkel Grenzen gesetzt. Das Objektiv des Sehrohrs erfaßt einen Raumwinkel von 44° , der für die gestellte Aufgabe zu klein ist. Eine effektive Erweiterung läßt sich durch Abwinkeln der Ausblickrichtung und Drehen des Objektivs erzielen. Für das Abwinkeln empfiehlt sich die Verwendung eines Vorsatzprismas. Für das beschriebene Gerät wurde ein festes Vorsatzprisma eingebaut, mit dem die Ausblickrichtung um 20° zur Seite geschwenkt wird. Wird das Gerät um seine Längsachse gedreht, dann beschreibt die Ausblickrichtung einen Kegelmantel mit 40° Öffnungswinkel. In jeder Drehstellung erfaßt das Objektiv einen Raumwinkel von 44° . Der gesamte beobachtbare Raumausschnitt hat somit einen Öffnungswinkel $40^\circ + 44^\circ = 84^\circ$, wie aus den Bildern 2a und b zu erkennen ist. In der Bildmitte sind dabei 2° immer überdeckt. Beim Drehen wird das beobachtete Bild immer aufrecht gesehen.

Das Vorsatzprisma mit 20° -Ablenkung ist leicht gegen ein anderes Prisma mit 90° -Ablenkung auszutauschen, so daß rechtwinklig zur Periskopachse nochmals ein Raumwinkel von 44° zu übersehen ist (Bild 2c). Beim Drehen um 360° erzeugt das 20° -Prisma immer ein aufrechtes Bild, weil es alle Lichtstrahlen zweimal total reflektiert. In Bild 2 sind die zu beobachtenden Raumausschnitte mit den verschiedenen Vorsätzen dargestellt, Bild 2c zeigt den Strahlengang bei 90° Mittelstrahlableitung. Auf der Beobachterseite können neben dem einfachen Okulartubus mit Geradeblick ein Okulartubus für Schrägeinblick sowohl für monokulare



Bilder 2a bis c. Ablenkungsmöglichkeiten der Ausblickrichtung, a) 20° -Ablenkung nach oben, b) 20° -Ablenkung nach unten, c) 90° -Ablenkung gegen die Geräteachse.

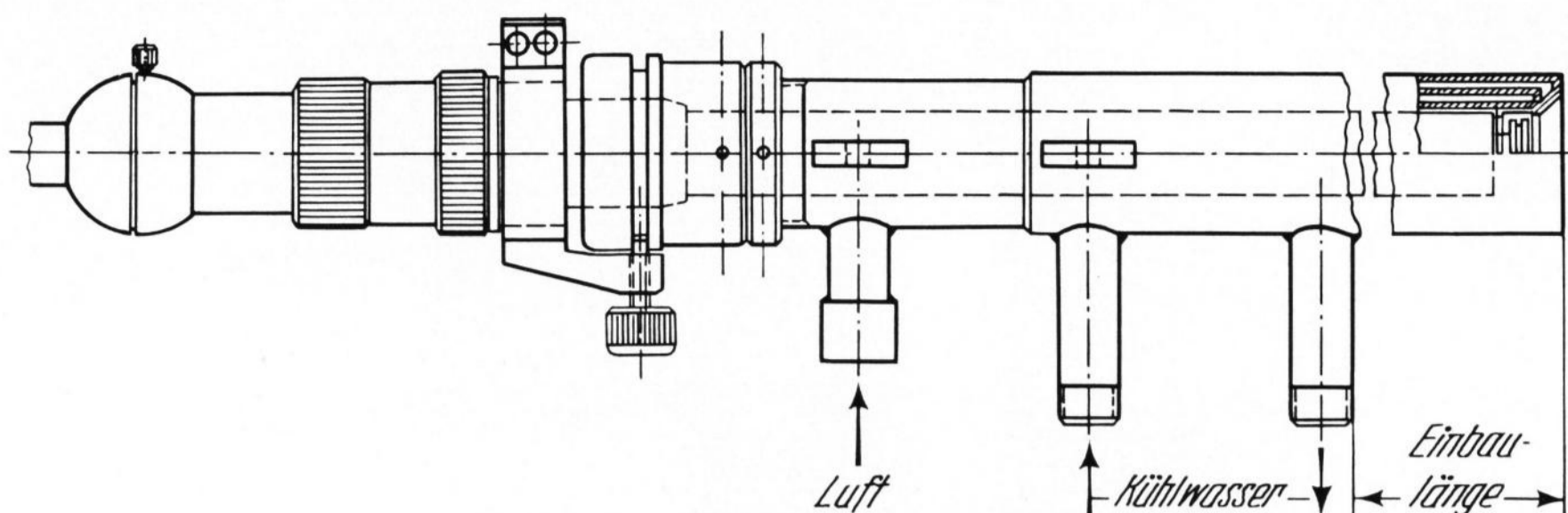


Bild 3. Periskopschutzrohr.

als auch binokulare Beobachtung benutzt werden. Das optische System — bestehend aus Objektiv- und Okulargruppe — des erprobten Periskopes ist etwa 1600 mm lang. Diese Länge hat für den Beobachter den nicht zu unterschätzenden Vorteil, daß der Abstand vom Ofenmauerwerk beim Beobachten relativ groß ist und die Hitzebelastung erträglich bleibt. Die Einbaulänge, das ist der Abstand vom Schutzfenster zum Kühlwasseranschluß, ist ungefähr 1000 mm. Falls die Raumverhältnisse den Einsatz eines so langen Gerätes nicht zulassen, kann es auch kürzer ausgeführt werden, ohne daß durch die Längenänderung die Bildqualität, die Vergrößerung oder das Sehfeld beeinträchtigt werden. Es werden auch Einbaulängen von 675 und 300 mm geliefert.

2.2. Wassergekühltes Schutzrohr

Für das beschriebene optische System in einem Rohr von 34 mm Durchmesser wurde ein wassergekühltes Schutzrohr von 65 mm Außendurchmesser aus einer gut schweißbaren Aluminiumlegierung entwickelt. An der Vorderseite befindet sich ein Schutzfenster, durch das die Lichtstrahlen in das Objektiv gelangen. Dieses Schutzfenster hält die Ofengase vom Objektiv fern und schützt es vor der Wärmestrahlung des Ofens. Bei Ofenraumtemperaturen von mehr als 1600 °C steigt die Temperatur hinter dem Schutzfenster auch bei Dauereinsatz nicht über 70 °C an, wenn in der Stunde 1,5 m³ Kühlwasser durch das System fließen und das Schutzfenster mit 25 m³ kalter trockener Luft in der Stunde gekühlt und von Ofengasen freigehalten wird. Die Luft- und Wasserversorgung wird später behandelt.

Bild 3 zeigt eine Skizze des Schutzrohres, das optische System ist gestrichelt eingezeichnet. Am hinteren Drittel befinden sich die Anschlüsse für Kühlwasserzu- und -abfluß sowie ein Stutzen für die Kühlluftzufuhr.

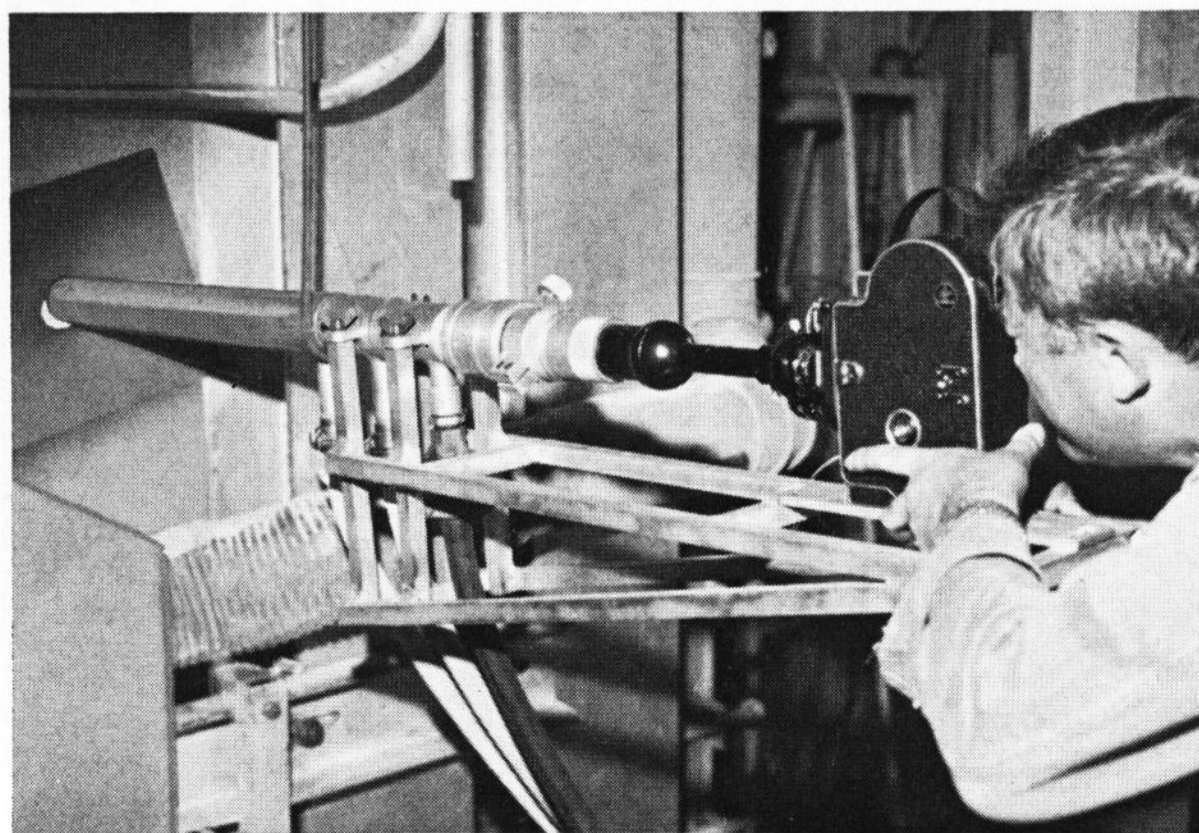


Bild 4. Komplettes Periskop mit Filmkamera beim Einsatz.

Das optische System wird von hinten in das Schutzrohr eingeschoben und mit einer Stiftschraube in einer Ringnut arretiert.

Die Aluminiumlegierung ist sowohl gegen Ofengase als auch gegen Wasserangriff beständig und hat gegenüber Stahl den Vorteil des geringen Gewichtes.

Die meisten Schwierigkeiten bei der Schutzrohrentwicklung machte das Schutzfenster, denn die Zahl der notwendigen Schutzgläser sollte so klein wie möglich gehalten werden, um die optische Qualität des Sehrohrs nicht nachteilig zu beeinflussen. Durch geschickte Anordnung der Gläser und geeignete Umströmung mit Luft werden die Gläser erstens gut gekühlt und zweitens alkalidampfbeladene Ofengase von ihnen ferngehalten, so daß die Frontscheibe nicht beschlägt. In Bild 4 ist das Schutzrohr mit Kamerakonsolle und optischer Einrichtung beim Einsatz in einer Hütte dargestellt. Um mit einem 90°-Prisma Beobachtungen machen zu können, ist ein zweites Schutzrohr mit entsprechendem Schutzfenster nötig, da an einem Gerät beide Ausblicke aus Gründen der Betriebssicherheit nicht realisiert werden können.

2.3. Kühlwasser- und Kühlluftversorgung

2.3.1. Kühlwasser

Das Wasser zur Schutzrohrkühlung wird üblicherweise dem Hüttennetz entnommen und dem Schutzrohr durch Schläuche R ³/₄'' zu- bzw. von ihm weggeführt. Es hat sich gezeigt, daß die Temperatur von 70 °C hinter dem Schutzfenster nicht überschritten wird, wenn die Kühlwassertemperatur nach Verlassen des Schutzrohres + 24 bis + 28 °C nicht übersteigt. Die Kontrolle der Kühlwassertemperatur am Schutzrohraustritt hat sich als wirksame Überwachungsmethode bewährt, da die Durchflußmenge leicht nach der Austrittstemperatur eingeregelt werden kann. Der Druck im Wassernetz sollte nicht kleiner als 3 atü sein, um einen ausreichenden Kühlwasserdurchfluß zu garantieren. Der notwendige Kühlwasserdurchfluß ist abhängig von der Ofentemperatur.

2.3.2. Kühlluft

Während der Schutzrohrerprobung wurde zur Kühlung des Schutzfensters und zum Abweisen der Ofengase trockene und ölfreie Preßluft aus Stahlflaschen benutzt, weil auf diese Weise die Luftmenge durch Druckeinstellung am Reduzierventil einwandfrei geregelt werden konnte. Die Kühlluftmenge ist zwar — wie die Kühlwassermenge — von der Ofentemperatur abhängig, jedoch hat es sich gezeigt, daß auch beim Einsatz in Öfen mit Temperaturen unter 1600 °C, beispielsweise

Tageswannen mit $\approx 1400^\circ\text{C}$ beim Einlegen die gleiche Luftmenge wie in Öfen mit 1600°C und darüber benötigt wird, um die Ofengase vom Schutzfenster fernzuhalten. Wird die Luftmenge gedrosselt, so verändern sich die Ausströmverhältnisse der Kühlluft am Schutzfenster, und es können Rückströmungen entstehen, die die Ofengase an die relativ kalte Frontscheibe transportieren. Die Alkalidämpfe kondensieren dann sehr rasch an der Frontscheibe und beeinträchtigen die Durchsicht. Die Kühlluftversorgung aus Preßluftflaschen hat den Nachteil, daß der Inhalt einer Flasche (5 oder 6 Nm^3) nach knapp 15 min verbraucht ist. Für längere Beobachtungszeiten muß man entweder eine Batterie Flaschen zusammenschalten oder an eine andere Versorgungsmöglichkeit denken.

Preßluft aus dem Druckluftnetz des Werkes zu entnehmen, empfiehlt sich nur dann, wenn mit Hilfe von Filtern dafür gesorgt wird, daß ölfreie und trockene Luft in das Periskop strömt. Bei normaler Druckluft aus dem Werksnetz verölen Schutzfenster und Objektiv innerhalb kurzer Zeit so stark, daß die optische Qualität des Systems unzulässig vermindert wird. Als weitere Kühlluftquelle bietet sich ein Mitteldruckgebläse an, das ölfreie und weitgehend trockene Luft liefert. Erfahrungen damit liegen noch nicht vor, sollen aber in der nächsten Zeit gesammelt werden.

3. Praktische Erfahrungen

3.1. Fotografische Aufnahmen

3.1.1. Allgemeines

Neben der visuellen Beobachtung des Ofeninneren durch das Periskop kann für Dokumentationszwecke an das Okular eine fotografische Kamera angeschlossen werden. Ähnlich lassen sich auch Schmalfilmkameras an das Okular ansetzen. Für eine optimale Anpassung ist es in diesen Fällen wichtig, die Pupillenbedingung zu beachten, d. h. die Kamera so anzusetzen, daß die Eintrittspupille ihres Objektivs, die in der Ebene der Irisblende liegt, möglichst mit der Austrittspupille des Geräteokulars zusammenfällt, die etwa 12 mm von der als Augenlinse bezeichneten äußeren Okularlinse entfernt ist. Die Brennweite des Kameraobjektivs ist so zu wählen, daß es ungefähr den Bildwinkel aufnimmt, der aus dem Sehrohr okular austritt. Beim beschriebenen Ofenperiskop ist der aus dem Okular austretende Bildwinkel 25° groß. Er darf nicht mit dem vom Objektiv aufzunehmenden Bildwinkel verwechselt werden, der gleich 44° ist [5].

Für fotografische Aufnahmen diente eine Spiegelreflexkamera mit Objektiv 1,9/50 (Bildwinkel 45°), das mit einem Paßstück direkt an das Okular angesetzt wurde. Als Aufnahmematerial hat sich Umkehrkunst-

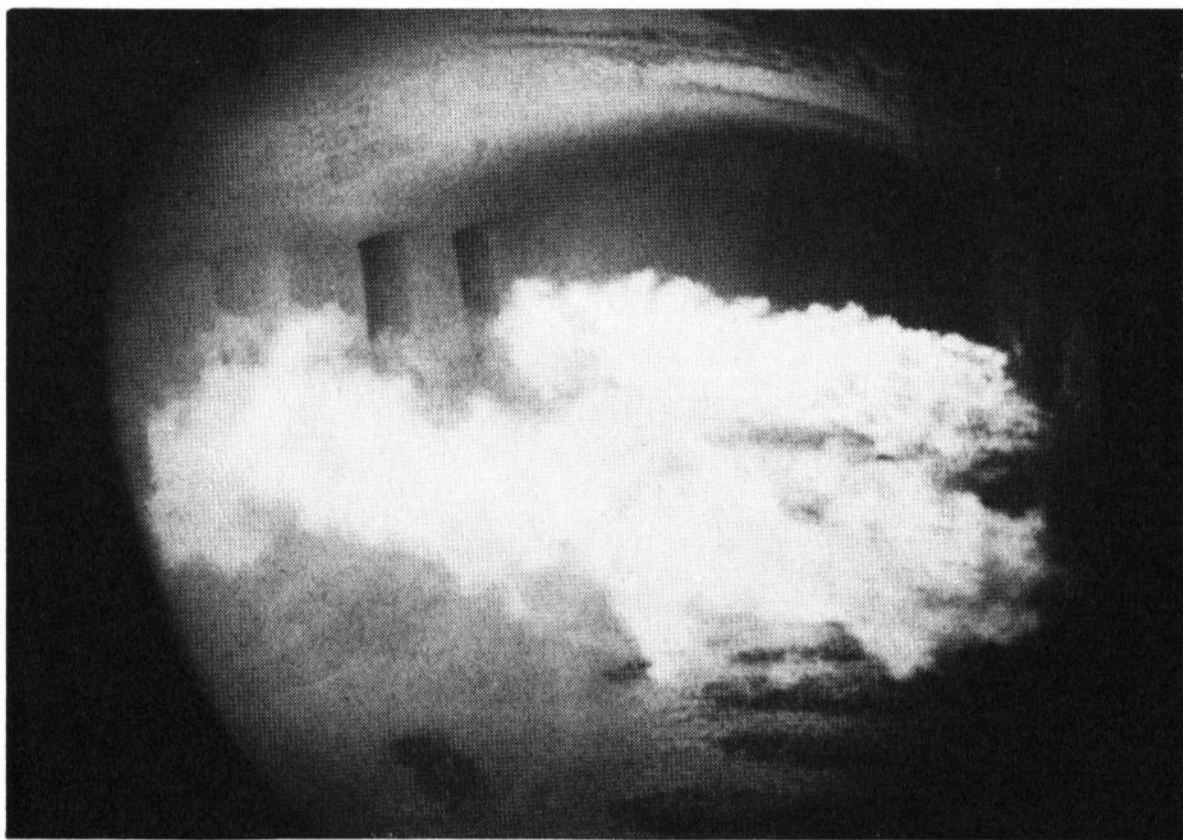


Bild 5. Blick in eine Querbrennerwanne, Glasbad mit Flammen ($1/500\text{ s}$).



Bild 6. Blick in eine Querbrennerwanne, Flamme und Gewölbe ($1/500\text{ s}$).

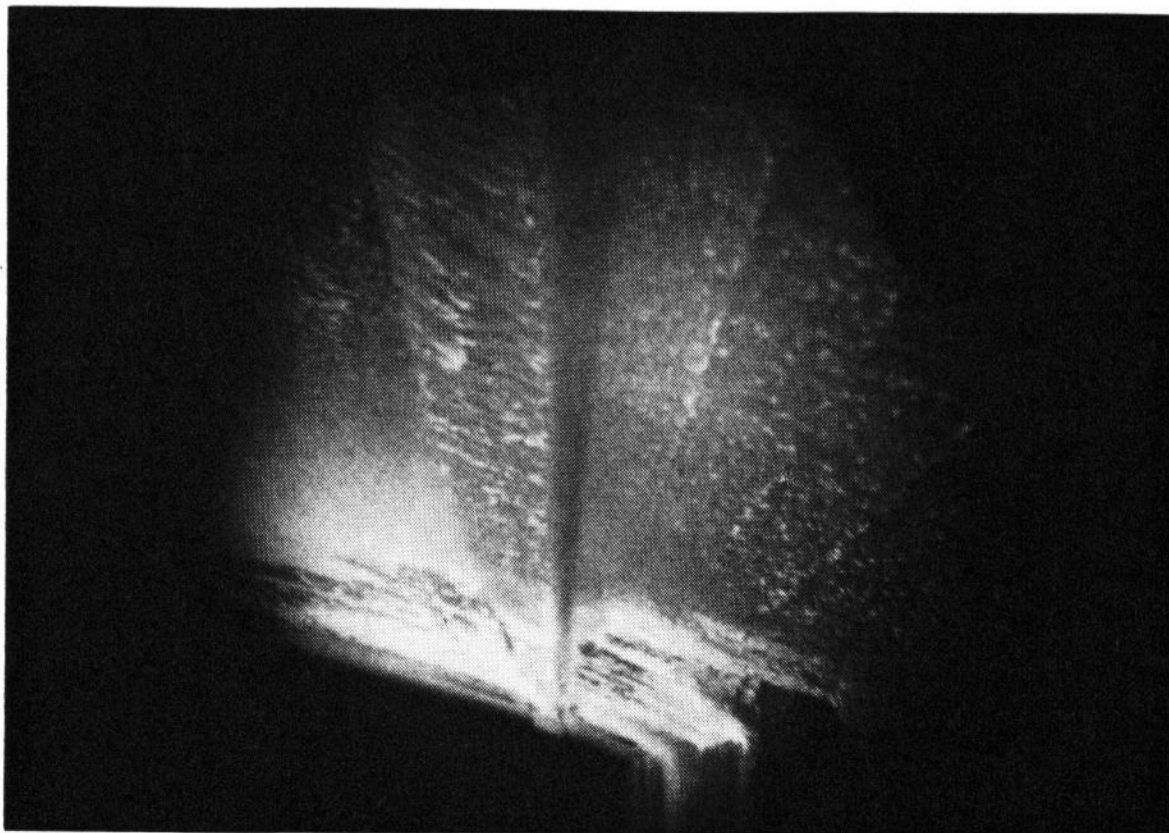


Bild 7. Blick in eine Querbrennerwanne, Gewölbe mit Brennermaulanschluß ($1/500\text{ s}$).



Bild 8. Blick in eine Querbrennerwanne, Düsensteine mit Flammenwurzeln ($1/500\text{ s}$).



Bild 9. Blick in eine Querbrennerwanne, Spülkante mit Gemenge ($1/500$ s).

lichtfilm Agfa Color CK 20 mit einer Empfindlichkeit von 20 DIN sehr gut bewährt. Vom Farbnegativfilm, der ebenfalls benutzt wurde, konnten nicht so brillante Diapositive erhalten werden wie vom Umkehrfilm¹⁾.

Die Belichtungszeit ist von der Ofentemperatur abhängig und vom Farbkontrast im Ofeninneren. Vor dem Fotografieren wurden deshalb mit einem fotoelektrischen Belichtungsmesser die Lichtverhältnisse direkt hinter dem Okular gemessen. Es hat sich als zweckmäßig erwiesen, den gemessenen Lichtwert als Mittelwert zu betrachten und Aufnahmen je eine Stufe über

¹⁾ Durch den Druckraster wird die Qualität der hier gezeigten fotografischen Aufnahmen eingeschränkt.



Bild 10. Spülkante mit Gemenge ($1/125$ s).
Bildformat voll ausgenutzt.

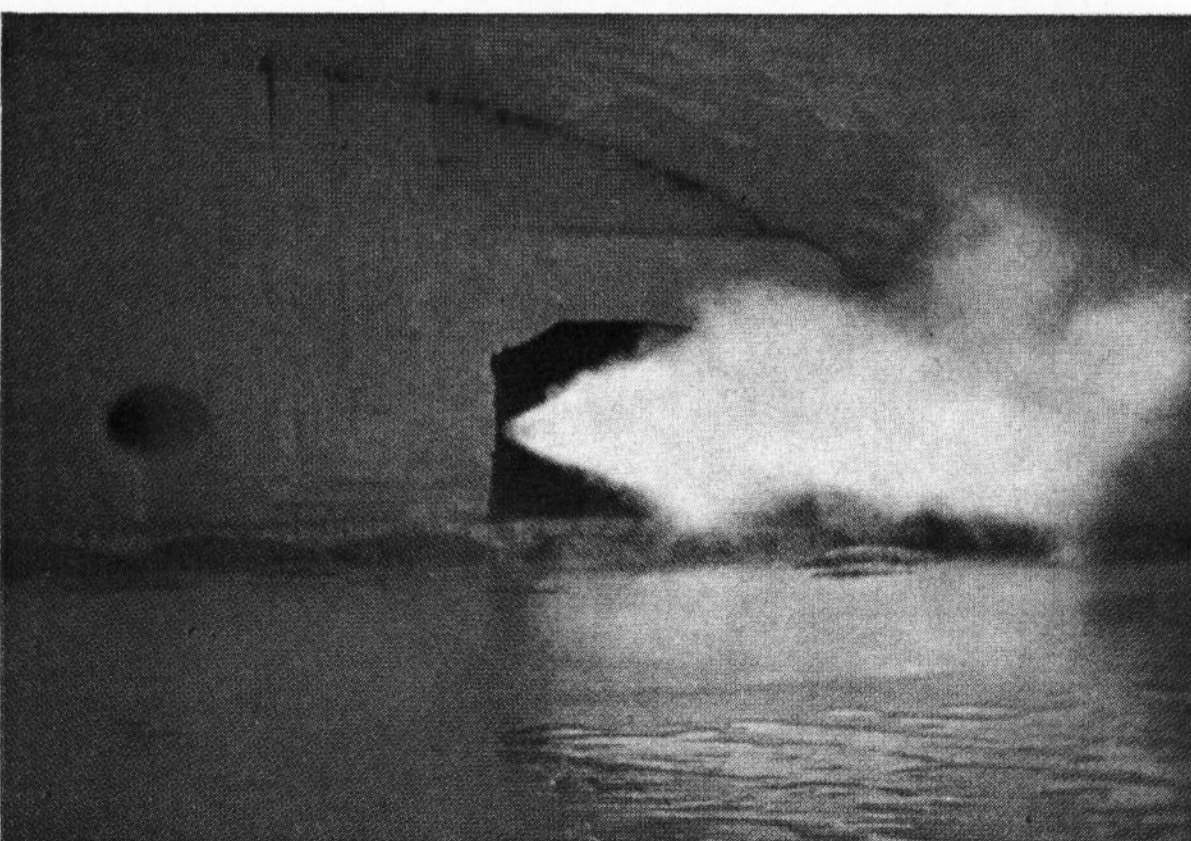


Bild 11. Blick in eine U-Flammenwanne, Schaumzone ($1/125$ s).

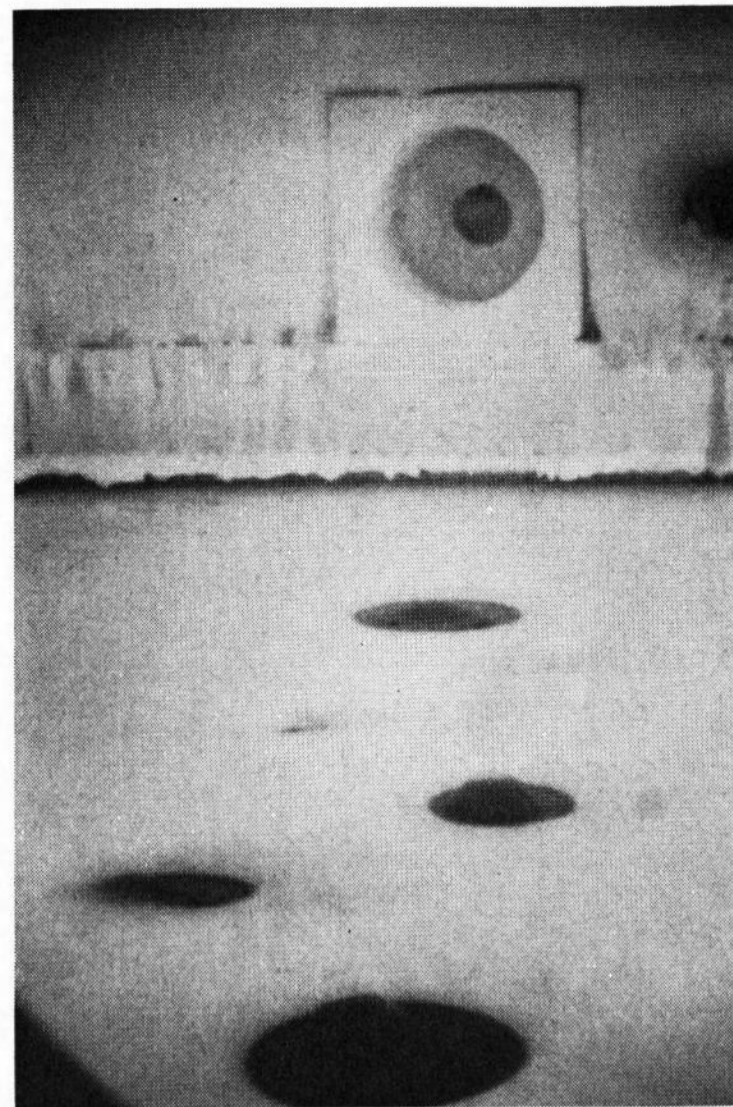


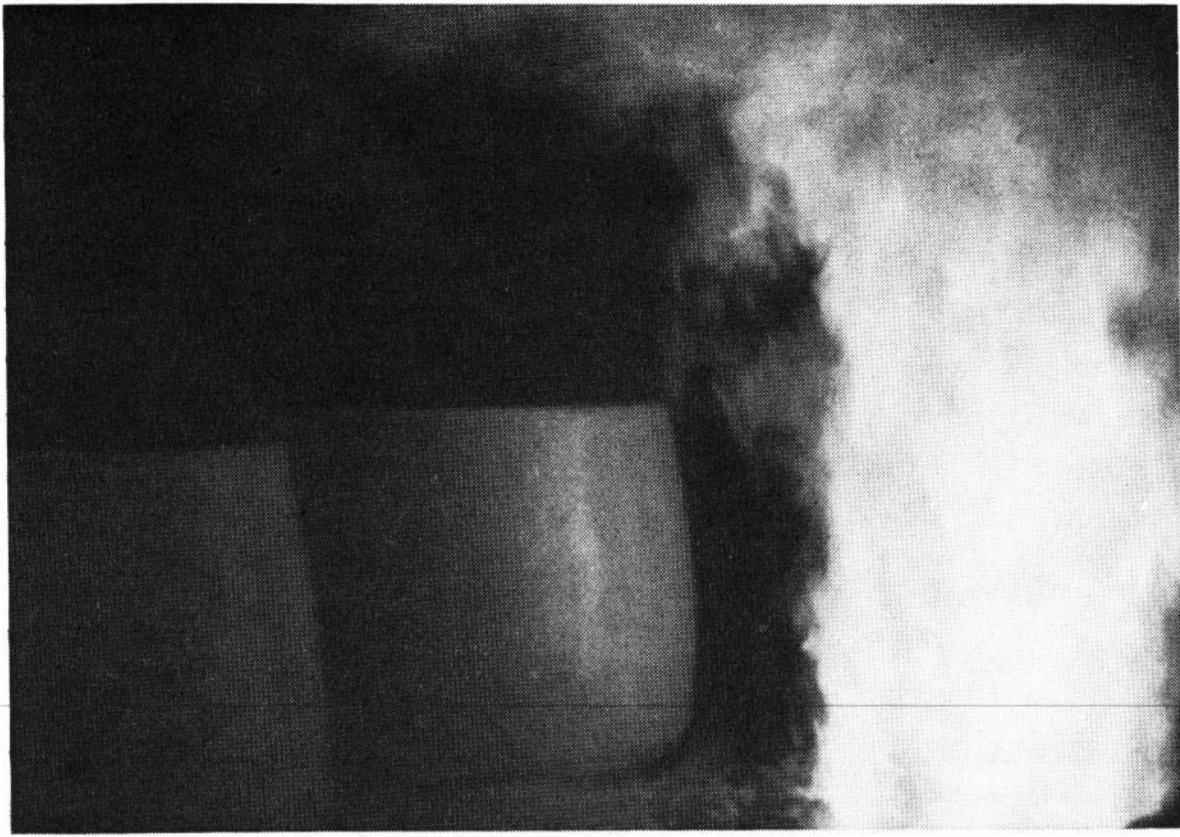
Bild 12. Gaseinblasen in einen Unit-Melter ($1/125$ s).



Bild 13. Abzugwand eines Unit-Melters ($1/125$ s).

bzw. unter diesem Mittelwert zusätzlich zu machen, weil man dann aus drei Aufnahmen die kontrastreichste auswählen kann.

Da die Pupillenbedingung nicht hundertprozentig zu erfüllen ist (Austrittspupille des Okulars fällt nicht genau mit der Eintrittspupille des Kameraobjektivs zusammen), kann man die Objektiv-Irisblende nicht zur Helligkeitsregelung benutzen, ohne Vignettierungen in Kauf zu nehmen und ist gezwungen, allein durch Variation der Belichtungszeit die Belichtung des fotografischen Materials zu regeln. Die Irisblende bleibt voll geöffnet. Aufnahmen von Ölflammen in Hochleistungswannen gelingen mit $1/500$ s Belichtungszeit am besten (Bild 5). Um Ferngasflammen in relativ kühlen Hafenoefen beim Aufheizen zu fotografieren, muß $1/60$ s belichtet werden, die Flammenstruktur ist dabei noch gut zu erkennen (vgl. Bilder 14 und 15). Beim Fotografieren weniger strahlender Partien, z. B. Gemenge oder Ofenwände, ist die Belichtungszeit meist eine Stufe größer zu wählen, was leicht mit einem Belichtungsmesser zu erkennen ist.

Bild 14. Flammenentwicklung im Hafenofen ($1/60$ s).Bild 15. Flammenentwicklung im Hafenofen ($1/60$ s).

3.1.2. Querbrennerwanne

Einen Blick in eine Querbrennerwanne unter Verwendung des Periskops zeigt Bild 5. Das Periskop wurde durch eine Öffnung (80 mm \varnothing) in der Stirnwand sehr nahe der rechten Seitenwand eingesetzt. Man erkennt die Ölflammen in Bildmitte sehr gut, außerdem sind drei Brennermäuler auf der Abzugseite (von insgesamt fünf), die komplette Schattenwand und weite Gewölbepartien zu erkennen. Unterhalb der Flammen sieht man das Glasbad mit Gemengeinseln und Schaum (Belichtungszeit $1/500$ s).

Wird bei Benutzung des 20° -Prismas die Optik um etwa 60° nach rechts gedreht, ergibt sich ein Bild gemäß Bild 6. Das Glasbad ist nicht mehr zu erkennen, dafür ist das Gewölbe, vor allem die Tropfkante, deutlicher abgebildet, ebenso kommt die Verbindung zwischen Gewölbe und Schattenwand deutlicher heraus (Belichtungszeit $1/500$ s). Dreht man nun abermals etwa 60° in dieser Richtung weiter, so ist nur noch das Gewölbe und der Anschluß Brennermaul/Gewölbe zu sehen (Bild 7). Bei weiterem Drehen erscheinen dann die Seitenwand in Bild 8 ($1/500$ s) und die Düsensteine mit den Flammenwurzeln. Nach 270° -Drehung sieht man in Bild 9 ($1/500$ s) wieder auf das Glasbad an der Spülkante mit Gemengeinseln und erkennt darüber die Flammen.

Mit den Bildern 5 bis 9 am Beispiel einer Querbrennerwanne wird der überschaubare Bereich gezeigt, wie er sich dem Beobachter darbietet. Das Periskop wurde dabei in seiner Einsatzstellung nicht verändert, sondern es wurde nur die optische Einrichtung im Schutzrohr gedreht, was ohne Mühe möglich ist.

Das Aufnahmeformat 24×36 mm wird nicht voll ausgenutzt, wenn der gesamte aufzunehmende Raumwinkel von 44° abgebildet werden soll. Verlängert man den Kameraauszug durch Zwischenringe oder ein Balgenreät, so besteht die Möglichkeit, das Aufnahmeformat voll auszunutzen. Das bedeutet aber, daß ein Teil des Bildes abgeschnitten wird, und zwar derjenige, der zwischen dem in das Periskopbild einbeschriebenen Rechteck und der Kreiskontur liegt. Bild 10 ist eine Aufnahme, mit voller Ausnutzung des Bildformats, etwa die gleiche Blickrichtung wie Bild 9. Man erkennt, daß die Aufnahme durch die Auszugverlängerung vergrößert ist, der Bildausschnitt wurde entsprechend verkleinert, die Einzelheiten sind besser zu erkennen (Belichtungszeit $1/125$ s).

3.1.3. U-Flammenwanne

Die optische Qualität des Gerätes wird mit Bild 11 deutlich demonstriert, das einen Blick in eine stirnbeheizte Wanne, von der Arbeitswanne gesehen, zeigt. Die Grenze der geschlossenen Schaumdecke mit eingeschlossenen, noch nicht vollständig geschmolzenen Gemengeinseln auf der linken Bildhälfte und vereinzelt Schaumstreifen rechts unten sind sehr klar zu erkennen ($1/125$ s).

3.1.4. Unit-Melter

Eine Aufnahme vom Gaseinblasen in die Schmelze eines Unit-Melters zeigt Bild 12. Ohne Periskop wäre diese Aufnahme nicht möglich, da die Schaulochöffnung von 75 mm Durchmesser nach innen zu wenig geöffnet ist, um mit bloßem Auge auf die Schmelze zu schauen.

Bild 16. Tageswanne, Einlegen ($1/60$ s).Bild 17. Tageswanne, Zwischendecke ($1/30$ s).

Man erkennt außerdem den Angriff der aus schmelzgegossenem Material bestehenden Nasensteine durch ablaufende Silikaschlacke. In der oberen Hälfte, etwa in der Mitte, befindet sich ein Vormischbrenner, aus dem eine stark entleuchtete Flamme austritt, die kaum zu sehen ist ($1/125$ s).

Aus einem Unit-Melter stammt auch das Bild 13, das die Stirnwand mit Abzug und den Anschluß der Stirnwand an Gewölbe und Seitenwand zeigt. Die Platten, die den Einlegevorbau abdecken und gleichzeitig Boden des Abzugs sind, zeigen an der Horizontalfuge starken Verschleiß. Ebenfalls ist die Anschlußstelle zwischen schmelzgegossenem Material der Stirnwand und Silika der Seitenwand bzw. des Gewölbes stark gefurcht ($1/125$ s).

Unit-Melter sind mit relativ viel Schaulöchern im Vergleich zu Querbrennerwannen ausgerüstet, um die Brennereinstellung exakt überwachen zu können. Würde man zur Beobachtung ein Periskop heranziehen, so wären insgesamt nur noch vier Schaulöcher im Vergleich zu bisher zwölf nötig, um alle Brenner beobachten zu können, wie Untersuchungen an einem Unit-Melter gezeigt haben. Hinzu kommt, daß auch bei zwölf Schaulöchern Stirn- und Schattenwand ohne Periskop nicht zu sehen wären.

3.1.5. Hafenöfen

Obwohl Hafenöfen infolge der großen Anzahl von Arbeitsöffnungen relativ gut zu überschauen sind, kann man auch hier ein Periskop einsetzen, um die Flammenentwicklung in der Bütte zu beobachten. Dazu ist dann ein Ausblick mit einem 90° -Prisma nötig. Außerdem gelingen mit dem 20° -Prisma Flammenaufnahmen, wie sie die Bilder 14 und 15 zeigen. Beide wurden $1/60$ s belichtet. Auf Bild 14 ist eine weiche, voluminöse und leuchtende Ferngasflamme zu erkennen, wie man sie zur Erzielung einer gleichmäßigen Temperaturverteilung wünscht. Die zellige, generatorgasähnliche Flammenstruktur ist trotz der langen Belichtungszeit noch gut zu erkennen, ein Zeichen dafür, daß auf Grund verzögerter Mischung die Verbrennung relativ langsam abläuft. Mit der scharfen kurzen Flamme, die in Bild 15 zu sehen ist, kann hingegen keine gleichmäßige Temperaturverteilung im Ofen erreicht werden. Die Ausströmgeschwindigkeit des Gases ist zu hoch und deshalb die Mischung sehr intensiv, die Flamme ist sehr heiß und bewirkt lokale Überhitzungen, sowohl der Büttentränder als auch der Häfen, die in Büttennähe stehen. Die Gasmenge ist die gleiche wie in Bild 14.

3.1.6. Tageswanne

Den Blick auf die Stirnwand einer Tageswanne mit stehender U-Flamme (Doppeldeckenwanne) während des Einlegens zeigt Bild 16. Die Flammen sind während des Fotografierens verkürzt worden. Deutlich sind oberhalb der Brenner und der Einlegeöffnung dunkle Streifen zu erkennen, die von Schlackenglas herrühren, das durch Kondensatbildung von der Zwischendecke herunterläuft. Daß Kondensate bzw. Silikschmolz auch von der Zwischendecke an den Seitenwänden herunterlaufen, ist in Bild 17 zu sehen. Die quadratischen Löcher im Gewölbe nahe an der Seitenwand dienen zur Kondensatableitung aus dem Raum zwischen den Gewölben. Aufnahme 17 wurde $1/30$ s belichtet, die Ofentemperatur betrug etwa 1200°C , ein niedriger Wert, der auf die

Verkürzung der Flamme durch Drosselung der Ölzufuhr während des Fotografierens zurückzuführen ist.

3.2. Filmaufnahmen

Da sich Bewegungsvorgänge mit Hilfe der Kinetografie oft viel besser untersuchen lassen als durch Beobachtung, wurden durch das Periskop auch Filmaufnahmen — vornehmlich vom Einlegen in eine Tageswanne — gemacht. Als Aufnahmegerät diente eine Bolex-16-Reflex-Matic mit Objektiven der Brennweiten 16, 25 und 75 mm. Auf Grund der Pupillenlage und des Öffnungswinkels eignet sich das 25 mm-Objektiv (28° Bildwinkel) am besten, um die aus dem Okular austretenden Parallelstrahlen auf dem Film scharf abzubilden. Der gesamte Aufnahmewinkel des Periskops ist auszunutzen, wenn das Aufnahmeformat nicht voll ausgefüllt wird, das Gesichtsfeld wird eingeschränkt, wenn man das Format — wie beim Fotografieren — ausnutzt. Das Kameraobjektiv befindet sich nahe hinter dem Okular.

Zur Belichtungsregelung kann die Irisblende wiederum nicht benutzt werden; da die Belichtungszeit Funktion von der Bildgeschwindigkeit ist und nicht immer Zeitlupen- oder Zeitraffereffekte erwünscht sind, helfen eine verstellbare Sektorenblende oder Graufilter zur Belichtungsregelung. Es zeigte sich, daß alle Aufnahmefrequenzen bei sehr heißen Öfen zu benutzen sind, Zeitlupenaufnahmen in kälteren Öfen gelingen dagegen nur auf höchstempfindlichem Filmmaterial. Ohne Belichtungsmesser kommt man auch beim Filmen nicht aus.

Ausschnitte aus dem Periskopbild sind mit einem Kameravorsatz [6] zu erhalten, der an Stelle des Objektivs in das Kameragehäuse geschraubt wird. Der Vorsatz ist mit einem Einstellokular ausgerüstet. Durch dieses Einstellokular ist eine bessere Fokussierung als über die Kameramattscheibe möglich. Es besteht also auch bei Filmaufnahmen die Möglichkeit, entweder den vollen Periskopbildwinkel aufzunehmen oder in Grenzen vergrößerte Ausschnitte.

Ein 16 mm-Farbfilm vom Einlegen des Gemenges in eine Tageswanne wurde aufgenommen und kann von der Geschäftsstelle der HVG entliehen werden.

4. Zusammenfassung

Ein Ofenperiskop mit wassergekühltem Schutzrohr wurde entwickelt und seine Einsatzmöglichkeiten in Glasschmelzöfen erprobt. Dabei zeigte sich, daß sowohl Flammenentwicklung, Gemengebewegung und Schaumlage als auch die feuerfesten Baustoffe sehr gut zu beobachten sind. Durch Ablenkung des Strahlengangs vor dem Geräteobjektiv wird es möglich, sehr weite Bereiche des Ofens von einem Standort aus zu übersehen, wobei man auch „um die Ecke“ schauen kann, da das Gerät mit zwei Vorsatzprismen einen Raumwinkel von nahezu 224° zu betrachten gestattet. Durch dieses Periskop sind sowohl visuelle Beobachtungen als auch fotografische und Schmalfilmaufnahmen zu machen.

Das Schutzrohr wurde von Herrn Ing. H. BEINE sowie Herrn W. MERGLER entworfen, der auch an der Erprobung und Weiterentwicklung des Periskopes bis zur Betriebsreife beteiligt war.

Gedankt sei der Arbeitsgemeinschaft Industrieller Forschungsvereinigungen (AIF), Köln, und dem Bundeswirtschaftsministerium, Bonn, für die Bereitstellung der finanziellen Mittel.

5. Literatur

- [1] BURNUS, CH.: A furnace scanning periscope. J. Iron and Steel Inst. **180** (1955) Nr. 3, S. 241 – 247.
- [2] WOLF, G.: Periskopische Anordnung zur Aufnahme von Vorgängen im Innern von Schmelzöfen. Research Film **3** (1958) Nr. 2, S. 76 – 83. [Ref. Glastechn. Ber. **32** (1959) S. 295.]
- [3] BAUCH, G.: Erfahrungen mit dem Ofenperiskop der Firma Zeiss-Kollmorgen. (Fachauschlußvortrag.) [Ref. Glastechn. Ber. **32** (1959) S. 470.]
- [4] MANRING, W. H. und BILLINGS, D. D.: Direct observation and photography inside operating glass furnaces. Amer. ceram. Soc. Bull. **46** (1967) Nr. 2, S. 210 – 213. [Ref. Glastechn. Ber. **41** (1968) S. 71.]
- [5] WAGNER, H.: (Private Mitteilung).
- [6] MÖLLRING, F. K.: Die Möglichkeiten der optischen Anpassung von Filmkameras an das Mikroskop. Zeiss Informat. **12** (1964) S. 126 – 131. (48001)

Referate

1a. Physik

DK 532.137

Einfaches Gerät für die Messung der Viskosität von Gläsern im Bereich von 10^4 bis $10^{2,5}$ P (Jednoduchý přístroj pro měření viskozity sklovin v rozsahu 10^4 – $10^{2,5}$ P). LADISLAV ŠAŠEK. — Silikáty **11** (1967) Nr. 4, S. 389 – 394. 6 Lit.

Es wird ein Gerät für die Messung der Viskosität von Gläsern in einem Bereich von 10^4 bis $10^{2,5}$ P beschrieben. Es wird die Zeit gemessen, welche eine an einem Stäbchen befestigte Platinkugel eines Durchmessers von 2,5 bis 3 mm benötigt, um in einer auf konstante Temperatur gehaltenen Glasmasse 2 cm abzusinken. Die Zeit wird mit einer Genauigkeit von 0,01 s gemessen, die Temperatur auf $\pm 0,5$ grad konstant geregelt. Die Genauigkeit der Ergebnisse wird als ausreichend angegeben, und der Einsatz des Gerätes wird überall dort befürwortet, wo die Verwendung anderer, herkömmlicher Viskosimeter zu anspruchsvoll ist. Neben dem Littleton-Punkt ($10^{7,65}$ P), dem Fließpunkt nach LILLIE (10^5 P), dem Einsinkpunkt nach DIETZEL und BRÜCKNER (10^4) bietet das Gerät die Möglichkeit, Aufschluß über die Viskosität im anschließenden Bereich von 10^4 bis zu $10^{2,5}$ zu erhalten.

H. GOERK (47611/1a)

DK 532.13:532.137:539.312

Das Maxwell'sche Relaxationstheorem und einige Anwendungen auf die Viskosimetrie. E. BAYER und J. SCHURZ. — Kolloid-Z. **221** (1967) Nr. 2, S. 97 – 103. 4 Lit.

Für die (linear-elastoviskose) Maxwell-Flüssigkeit bei Berücksichtigung der Massenträgheit sowohl der Flüssigkeit als gegebenenfalls auch der bei der Scherung bewegten Apparateile werden die Bestimmungsmethoden der Relaxationszeit mit Rotations- und Kapillarviskosimetern besprochen. Bei geeigneten Rotationsviskosimetern wird die Registrierung zweier Abklingvorgänge benötigt: Abklingen des von Hand gespannten Torsions-Systems aus dem Stand und Abklingen nach Abschalten des stationären Betriebs. Bei Kapillaren wird die Länge variiert und die Relaxationskorrektur (scheinbare Viskositäts-erhöhung in kurzen Kapillaren) zur Bestimmung verwendet. [Die quantitativen Formulierungen bedürfen an einigen Stellen einer kritischen Überprüfung, so z. B. die Herleitung von Gleichung (7) auf S. 99. D. Ref.]

G. MEERLENDER (47430/1a)

DK 532.133:666.1.031.13

Vergleich der Dreipunkt- und Zweipunktgleichung zur Berechnung des Zähigkeits-Temperatur-Verlaufes der Silicatgläser. O. KNAPP. — Acta Techn. Acad. Scientiarum Hungaricae **60** (1968) Nr. 3/4, S. 307 – 314. (Sonderdruck.)

Die Formel des Verfassers $\lg \eta = A + B/T^3$ wird der Gleichung von VOGEL-FULCHER-TAMMANN gegenübergestellt, und zwar unter Verzicht auf die Ausgleichsrechnung. Aus Literaturdaten von 48 Gläsern mit 761 Meßpunkten ergibt sich hierbei: In eine Fehlerschranke von $\Delta \lg \eta = 0,1$ fallen 85% (45,9%) der Meßpunkte bei Anwendung der Vogel-Fulcher-Tammann-Gleichung (Knapp-Gleichung), in die Fehlerschranke $\Delta \lg \eta = 0,2$ fallen 96% (78,7%), in die Fehlerschranke $\Delta \lg \eta = 0,3$ fallen 98,7% (96,3%). Begnügt man sich mit Genauigkeiten bis auf 30% in η , so ist die Formel im ganzen Bereich von 10^2 bis 10^{14} P anwendbar.

G. MEERLENDER (47524/1a)

DK 532.135:666.11.01

Phänomenologische Elastoviskosität von Glas (Phenomenological viscoelasticity of glass). FENTON L. BAGLEY, jr. und TSE-CHIEN WOO. — In: O. Verf.: Research

into glass. Pittsburgh: Glass Research Center PPG Industries 1967. S. 97 – 101. 17 Lit. (Veröffentlicht in: 4th Internat. Congr. Rheology. August 1963.)

Die Abhängigkeit der Elastoviskosität von Natron-Kalk-Glas von der Vorwärmung, den Belastungsänderungen und der Temperatur (zwischen 450 und 625 °C) wurde untersucht. Aus den Ergebnissen wird für das thermorheologisch einfache Material eine veränderliche Funktion abgeleitet. Die Wärmebehandlung einer Glasplatte wird aus der in der vorliegenden Arbeit erläuterten phänomenologischen Sicht diskutiert. (47783/1a)

DK 532.13:666.189.21:666.188

Vergleich der inneren Reibung von 18 bis 20 μ m starken Glasfasern und 0,4 mm starken Glasstäben (Comparison of internal friction 18–20 μ fiber glass vs. 0.4 mm glass rods). GIANFRANCO MARIN und GUY E. RINDONE. — Glass Ind. **48** (1967) Nr. 8, S. 440 – 444.

Es wird eine eingehende Beschreibung einer Meßapparatur zur Bestimmung der inneren Reibung von 18 bis 20 μ m starken Glasfasern durch Torsionsschwingungen gegeben. Die Fäden werden an Platin angeschmolzen. Die Messungen müssen im Vakuum durchgeführt werden, da in Luft bei dünnen Fäden, im Gegensatz zu Stäben, eine sehr starke zusätzliche innere Reibung vorgetäuscht wird, die erst bei Drucken unterhalb von etwa 0,01 mm Hg stärker abnimmt. Orientierende Messungen werden an einem Na-Silicat, einem Li-Silicat und einem Na-Phosphat mit Fäden von 18 μ m und Stäben von 0,38 mm Durchmesser im Temperaturbereich zwischen – 120 und + 450 °C durchgeführt (Druck 0,003 mm Hg, Frequenz 0,4 Hz). Bei den abgeschreckten Proben zeigen die Fäden mit ihrer höheren fiktiven Temperatur eine höhere Reibung als die Stäbe. Bei den Silicaten liegt das Tief-temperatur-Maximum der Fäden bei etwas höherer Temperatur als bei den Stäben. Durch eine Kühlung wird bei den Silicaten die innere Reibung herabgesetzt, bei den Fäden stärker als bei den Stäben, bei den ersteren muß auf größere strukturelle Umwandlungen geschlossen werden.

H. SCHÖNBORN (46679/1a)

DK 531.754:666.112.9:546.27

Dichte von Boratglasschmelzen (Orig. jap.). S. TAKEUCHI, T. YAMATE und M. KUNUGI. — Zairyo **14** (1965), Nr. 138, S. 225 – 232. [Ref. Boron in Glass 1966, Nr. 39, S. 8.] (*46792/1a)

DK 531.754:666.11.016.22

Berechnung der Dichte der Silicatgläser aus der Oxidzusammensetzung. OSCAR KNAPP. — Sprechsaal **101** (1968) Nr. 4, S. 133 – 135. 9 Lit.

Es ist bekannt, daß die ersten Arbeiten für die Grundlagen einer Dichteberechnung der Gläser aus deren Oxidzusammensetzung von WINKELMANN und SCHOTT stammen, und daß von vielen Wissenschaftlern, wie SUN, SAFFORD, TURNER u. a. festgestellt wurde, daß die von ersteren erarbeiteten Oxidfaktoren mehr oder weniger große Unterschiede zwischen Rechnung und durchgeführter Messung ergaben. Hier versucht der Verfasser, die Verfahren von BAILLIE (1922), GILARD and DUBRUL (1938) und HUGGINS und SUN (1943) zu überprüfen, und er bestimmte an 105 Gläsern verschiedener Zusammensetzung die entsprechenden Differenzen zwischen errechneten und gemessenen Werten. Schließlich schlägt der Verfasser die Verwendung der von ihm gefundenen neuen Oxidfaktoren vor, die Ergebnisse mit 98,1% Sicherheit und eine größte Differenz von 1,03% liefern. Die angewandte Formel $D = az_1 + bz_2 + cz_3 + \dots$ ergibt die Dichte, wenn a, b, c die Gew.-% der Oxidbestandteile des Glases und z_1, z_2, z_3 die neuen Oxidfaktoren sind.

F. HOLL (47618/1a)