

DK 535.862:666.1.031.2:778.5:778.3:621.397.13:621.397.7-182.4

Fotografische und fernsehtechnische Verfahren zur Überwachung von Glasschmelzöfen

Von HANS-JÖRG VOSS und WILHELM MERGLER, Frankfurt (Main)

(Vortrag auf der 47. Glastechnischen Tagung am 23. Mai 1973 in Garmisch-Partenkirchen)

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

(Eingegangen am 11. April 1974)

Für den wirtschaftlich und verfahrenstechnisch optimalen Betrieb eines Glasschmelzofens müssen wärmetechnische, technologische und feuerfeste Fakten erkannt und aufeinander abgestimmt werden. Zwangsläufig ergibt sich hieraus die Notwendigkeit zur meßtechnischen und visuellen Überwachung der Schmelzanlage und auch zur Schaffung von Bildmaterial für eine gezielte Auswertung. Durch Anwendung spezieller Verfahren können Fakten sichtbar gemacht werden, die mit dem unbewaffneten menschlichen Auge nicht erkennbar sind. Eine der wichtigsten Voraussetzungen für den visuellen Zugang zum betriebsmäßig arbeitenden Ofenaggregat wird durch das bereits mehrfach beschriebene ambulante Ofenperiskop der HVG erfüllt. Von der HVG wurden Untersuchungen mit dem Ziel angestellt, die Palette der Einsatzmöglichkeiten des Gerätes zu erweitern und die erreichbaren Ergebnisse zu verbessern.

Die Arbeit befaßt sich mit den Ergebnissen dieser Untersuchungen und berichtet auch über anderorts entwickelte Verfahren, die sich in Verbindung mit dem Ofenperiskop sinnvoll anwenden lassen. Schwerpunktmäßig werden behandelt: Farbfilter und Filterkombinationen für die visuelle Beobachtung und zur Erzielung eines guten Kontrastes bei der Schwarzweiß-Fotografie in Bereichen mit und ohne leuchtende Flamme, Infrarot- und Falschfarbenfilm, Polarisationsfilter bei der Feuerraumfotografie, Aufschlüsselung von Flammenbildern durch das Äquidensitenverfahren, Ermittlung der Gemengewanderung auf der Badoberfläche durch Mehrfachfotografie und Zeitrafferaufnahmen, Anpassung einer Fernsehkamera an das Ofenperiskop, Kontrastverstärkung auf dem Bildschirm, Hochgeschwindigkeitsfotografie, Isothermendisplay, ein modifiziertes Fernsehverfahren zur sofortigen Äquidensitendarstellung einer Flamme.

Photographic and television methods of supervising glass furnaces

The most effective and economic operation of glass furnaces requires that various factors concerning fuel, refractories and glass technology must be reconciled. Provision of pictorial material, in addition to normal controls, can aid evaluation. The use of special techniques can provide information not detectable by the human eye. The most important requirements for visual observation are met by the portable furnace periscope developed by the HVG. Further investigations have been made to extend the range of applications of the instrument and improve the results obtained.

This report deals with the results of these investigations

into methods used in conjunction with the periscope. The main topics are: the use of colour filters and combinations of filters for visual observation and to obtain good contrast in monochrome photography both with and without luminous flames, infra-red and distorted-colour films, polarization filters for combustion space photography, interpretation of flame photographs by the equal density process, measurement of batch movement over the surface of the melt by multiple exposures and time-lapse photography, use of a television camera, contrast enhancement, high speed photography, isotherm display, a modified televisual method for equal density examination of a flame.

Techniques utilisant la photographie et la télévision pour le contrôle des fours de fusion de verre

Si l'on veut assurer à un four de verrerie un fonctionnement optimal, tant du point de vue économique que technique, il convient de connaître et d'harmoniser toutes les données thermiques et technologiques relatives à ce four et aux réfractaires. Ceci implique la nécessité d'un contrôle visuel et de mesures de surveillance du four et requiert par conséquent que l'on puisse réaliser des clichés qui permettent de contrôler l'exploitation dans le sens désiré. La mise en œuvre de procédés spéciaux permet de révéler des détails invisibles à l'œil nu. Le périscope amovible pour fours de la HVG, déjà décrit à plusieurs reprises dans le passé, constitue un auxiliaire précieux pour la visualisation et la surveillance des processus intervenant dans le four. La HVG a entrepris de nouvelles études qui doivent permettre d'étendre la gamme des possibilités d'utilisation de l'appareil et d'améliorer les résultats que l'on peut en obtenir.

L'article fournit les résultats de ces études et décrit les méthodes mises au point par d'autres chercheurs mais qui peuvent être utilisées conjointement au périscope pour fours. On traite principalement des points suivants: filtres de couleurs et combinaisons de filtres pour l'observation visuelle, qui permettent d'obtenir un bon contraste lors de la photographie en noir et blanc, en présence ou non de flammes lumineuses, films infrarouges et à décalage de couleurs, filtres polarisants pour la photographie des zones de chauffe, résolution des points d'équidensité, détermination du déplacement du mélange à la surface du bain par photographie multiple et prise de vues à intervalles réguliers, adaptation d'une caméra de télévision sur le périscope, renforcement du contraste de l'image sur l'écran, photographie à grande vitesse, affichage isotherme, procédé modifié pour la représentation instantanée sur l'écran T.V. des points d'équidensité d'une flamme.

Für die Überwachung von Glasschmelzöfen eignet sich das von der HVG entwickelte ambulante Ofenperiskop mit 20 bzw. 90° Seitsicht. Konstruktiver Auf-

bau und anwendungstechnische Gesichtspunkte zu beiden Geräteversionen wurden bereits in [1 bis 3] beschrieben. Mit Hilfe des Ofenperiskops wird der Stand-



a)



b)

Bilder 1a und b. Seitenwand mit Gewölbeanschluß in einer Querbrennerwanne;
a) ohne Filter; b) mit BG 36.

ort des Beobachters quasi in den Ofenraum hineinverlegt, ohne daß größere Schauöffnungen im Mauerwerk notwendig sind. Eine der wichtigsten Voraussetzungen für den visuellen Zugang zum betriebsmäßig arbeitenden Ofenaggregat wird also durch das Ofenperiskop erfüllt. Obwohl das Gerät vielerorts mit Erfolg immer wieder im Einsatz ist, wurden von der HVG Untersuchungen mit dem Ziel angestellt, die Palette der Einsatzmöglichkeiten des Gerätes zu erweitern und die bisher erreichten Ergebnisse zu verbessern. Die folgenden Beispiele behandeln die Anwendung fotografischer und fernsehtechnischer Verfahren in Verbindung mit dem Ofenperiskop.

1. Visuelle Inspektionen und Anfertigung von Stehbildern

1.1. Filtergläser für visuelle Inspektion und Schwarzweiß-Fotografie

Eine Überprüfung von über 50 Filtergläsern auf ihre kontraststeigernde Wirkung im Zusammenhang mit der Beobachtung und dem Fotografieren zeigte, daß nur wenige Filter für die visuelle Inspektion eine deutliche Steigerung des Kontrastes ergeben. Es handelt sich dabei vornehmlich um das Grünfilter VG 6 für die Beobachtung des Feuerfestmaterials und um ein Blau-Violett-Filter BG 24 für die Flammenbeobachtung (Filterbezeichnungen nach Schott-Filterkatalog).

Beim Fotografieren auf Schwarzweiß-Filmmaterial eigneten sich für Aufnahmen der feuerfesten Ausmauerung besonders ein Grünfilter VG 14 und zwei Banden-Absorptionsgläser BG 20 und BG 36, für Flammenaufnahmen ein rotabsorbierendes Blauglas BG 13 und ein Banden-Absorptionsglas VG 13.

Die Filme für die Testaufnahmen wurden dabei folgendermaßen entwickelt: Ilford PAN F für Aufnahmen der feuerfesten Ausmauerung in Dokumol, 1:3 verdünnt, 4 min bei 20 °C; Ilford HP 4 für Flammenaufnahmen in Microphen, 8¹/₂ min bei 20 °C.

Ein Vergleich der Bilder 1a und b verdeutlicht die Wirkung der Anwendung des Banden-Absorptionsglases BG 36 bei der Feuerfestfotografie in Wannengebieten mit mangelndem Bildkontrast. Man blickt von der Stirnwand aus entlang der rechten Wann-

seitenwand in Richtung Schattenwand. Rechts im Vordergrund Brenner 1, oben der Gewölbeanschluß und ein Stück der Tropfkante.

Bild 1a wurde ohne Filter, Bild 1b unter Vorschaltung eines Filters BG 36 aufgenommen. Bei Anwendung des Filterglases BG 36 in Bild 1b kommen Einzelheiten der Oberflächenstruktur des feuerfesten Materials wesentlich besser heraus als in Bild 1a ohne Filter.

1.2. Polarisationsfilter

Besonders gute Effekte hinsichtlich kontrastreicherer Schwarzweiß-Negative können durch die Anwendung eines Polarisationsfilters beim Fotografieren erzielt werden.

Das Filter wird dabei zentrisch vor das Kameraobjektiv plaziert und zur Ermittlung der günstigsten Filterstellung unter Beobachtung der Kameramattscheibe um seine Achse gedreht.

Der Effekt der Polarisationsfilteranwendung geht aus den Bildern 2a und b hervor. Zu sehen ist auf beiden Bildern ein Teil des Gewölbes einer Querbrennerwanne. Man sieht an der Tropfkante entlang in Wannenslängsrichtung. Während Bild 2a ohne Filter aufgenommen wurde, entstand Bild 2b der gleichen Wannenspartie unter Vorschaltung eines Polarisationsfilters. Auf dem mit Polarisationsfilter aufgenommenen Bild 2b sind Einzelheiten der Gewölbestruktur, wie Fugen und Auswaschungen, wesentlich kontrastreicher abgebildet als auf Bild 2a ohne Filter. Die durch die Beleuchtung der Flammen auf das Feuerfestmaterial aufgesetzten Lichter treten bei entsprechend günstiger Stellung des Polarisationsfilters sehr deutlich hervor.

1.3. Color-Falschfarbenfilm

Ganz ausgezeichnet waren die Ergebnisse, die mit dem Color-Falschfarbenfilm KODAK Ektachrome Infrared erzielt wurden. Dieser Film besitzt eine grün-, eine rot- und eine infrarotempfindliche Schicht. Für die Verhältnisse in Glasschmelzwannenöfen und beim Fotografieren mit Hilfe des Ofenperiskops wurde eine Filmeempfindlichkeit von 23 DIN ermittelt. Verwendet man den Film für Feuerraumaufnahmen ohne Ofenperiskop,



a)



b)

Bilder 2a und b. Gewölbe mit Tropfkante in einer Querbrennerwanne; a) ohne Filter; b) mit Polarisationsfilter.

sollte die Empfindlichkeit des Films neu bestimmt werden.

Wird der Film mit Gelbfilter oder ohne Filter belichtet, dann erhält man grüne Diapositive, die bei Periskopaufnahmen in vielen Fällen einen wesentlich größeren Informationsgehalt besitzen können als Color-Diapositive auf normalem Diapositivmaterial.

Der Informationsgewinn von Diapositiven auf Color-Falschfarbenfilm ist besonders stark bei Aufnahmen von Wannenbereichen, in denen wegen des Fehlens leuchtender Flammen im Original ein sehr kontrastarmes Bild vorliegt. Der Infrarot-Falschfarbenfilm löst Temperatur- und damit Helligkeitsunterschiede wesentlich besser auf als normal empfindliches Diapositivmaterial. Diapositive auf Infrarot-Falschfarbenfilm sind über die Tiefe des Feuerraumes wesentlich klarer als Diapositive auf normal empfindlichem Diapositivmaterial. Auch bei Periskopaufnahmen im Bereich des Kammerkopfes hat sich der Infrarot-Falschfarbenfilm hinsichtlich kontrastreicher und damit informationsreicher Diapositive bestens bewährt.

2. Fernsehtechnische Überwachung von Glasschmelzwannen

2.1. Anwendungsgebiete

Die fernsehtechnische Überwachung von Glasschmelzwannenöfen mit Hilfe fest eingebauter Einheiten aus Feuerraumsonde und Sondenkamera ist seit langem bekannt und wird in vielen Fällen mit Erfolg eingesetzt. Für manche Zwecke nachteilig ist der ortsfeste Einbau der Feuerraumsonde und die damit notwendige Festlegung auf einen bestimmten Bildausschnitt, der ohne größere Umbauten nicht geändert werden kann.

Hier eröffnet sich eine weitere Anwendungsmöglichkeit für das ambulante Ofenperiskop, speziell im Zusammenwirken mit einer Fernsehkamera, wobei sich die Vorteile des flexiblen Einsatzes des Ofenperiskops mit den Vorteilen einer Bildschirmabbildung kombinieren lassen.

Man kann viele Anwendungsfälle aufzählen, wo eine Bildschirmabbildung gegenüber der direkten Beobachtung durch das Ofenperiskop Vorteile bietet. Dies trifft z. B. immer dann zu, wenn mehrere Personen den gleichen Vorgang im Ofenraum beobachten wollen. Versuche im Feuerraum können beispielsweise bequem und mit Wahl eines günstigen Blickwinkels vom Ort der Einflußnahme auf die Versuchsparameter verfolgt werden. Eine Bildschirmabbildung ist auch bei Heißreparaturen im Ofenraum angebracht, wenn die Schadensstelle vom reparaturführenden Personal nicht direkt einzusehen ist.

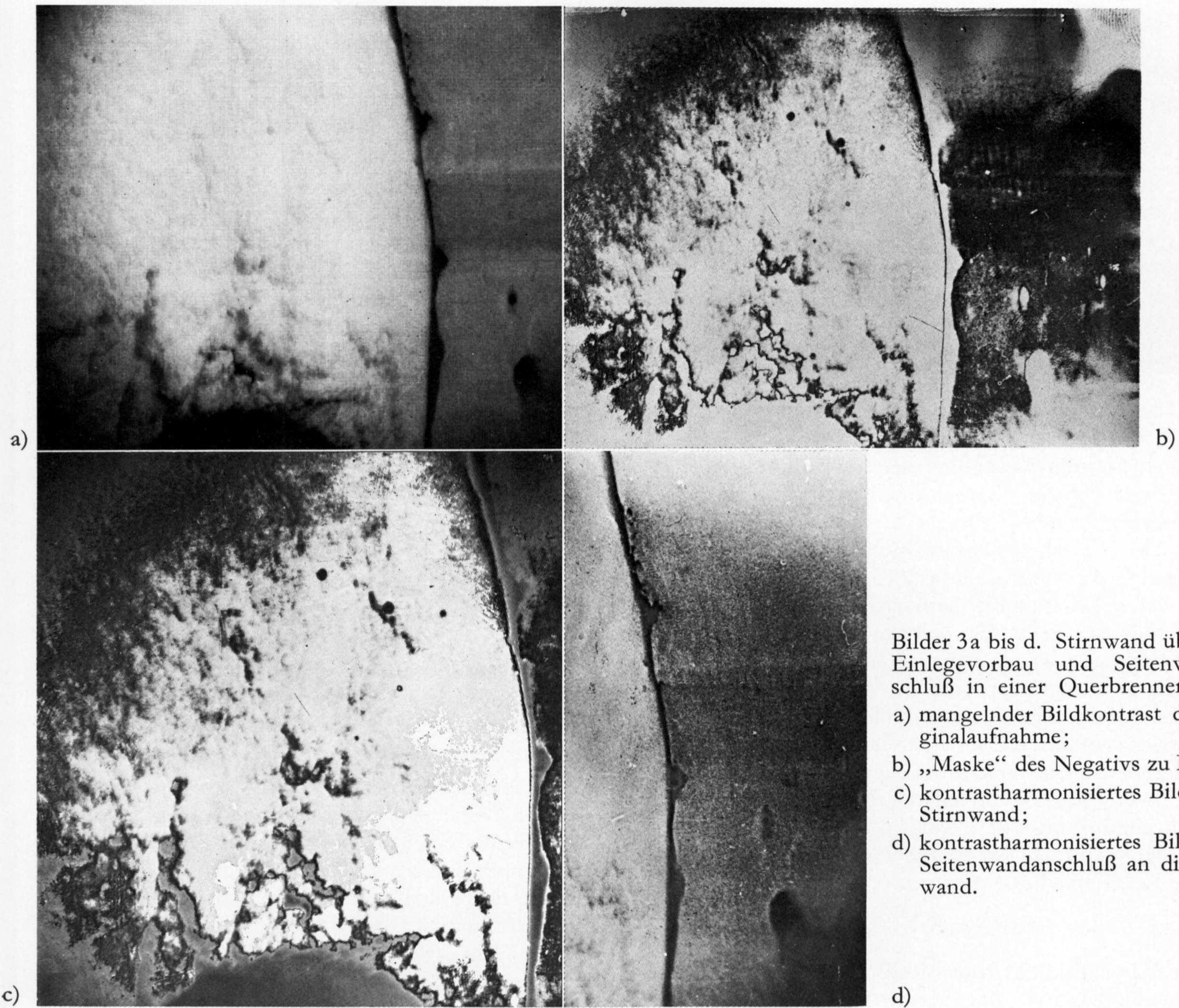
2.2. Geräteanordnung

In der Reihenfolge der Geräteanordnung wurde folgende Kombination als praktikabel ermittelt:

1. Ofenperiskop; Sehrohr ohne Okulartubus und ohne Okular.
2. ZEISS-Mikroskoptuben Nr. 477901 und 477920.
3. SIEMENS-Kompaktkamera K 2 mit Vidikon, ohne Objektiv.
4. Monitor.

Zu empfehlen ist die Integrierung eines Schaltpultes zur stufenlosen Veränderung der Plattenspannung und der Strahlableitung in der Fernsehkamera sowie zur wahlweisen Umschaltung auf Negativbild.

Die Fernsehkamera ist in einem wassergekühlten Schutzgehäuse unterzubringen. Die Vidikon-Aufnahme-



Bilder 3a bis d. Stirnwand über dem Einlegevorbau und Seitenwandanschluß in einer Querbrennerwanne;
 a) mangelnder Bildkontrast der Originalaufnahme;
 b) „Maske“ des Negativs zu Bild 3a;
 c) kontrastharmonisiertes Bild 3a, Stirnwand;
 d) kontrastharmonisiertes Bild 3a, Seitenwandanschluß an die Stirnwand.

röhre muß bei den im Feuerraum von Glasschmelzöfen herrschenden Lichtverhältnissen durch Vorschalten eines Graufilters NG 10, 1 mm dick, vor Einbrennen geschützt werden.

2.3. Kontrastharmonisierung

Eine optimale Einstellung des Monitorbildes hinsichtlich Kontrast und Detailerkennbarkeit und zur Erzielung von Abbildungs-Sondereffekten kann durch Anwendung eines Gerätes zur sogenannten Kontrastharmonisierung erzielt werden, das zwischen Fernsehkamera und Monitor geschaltet wird. Das Verfahren kommt aus der Röntgendiagnostik und wird dort zum Verdeutlichen von in einem Röntgenbild nur schwach erkennbaren Feinstrukturen herangezogen.

Unter Zwischenspeicherung des von der Fernsehkamera kommenden Original-Videosignals (Hauptsignal) wird in der Kontrastharmonisierungsanlage aus dem Hauptsignal ein Detailsignal separiert, das nur den mehr oder weniger feinen Details des Gesamtbildes entspricht. Mischt man das verstärkte Detailsignal zum Hauptsignal hinzu, dann erhält man ein Mischsignal, bei dem die feinen Bilddetails nun besser erkennbar wiedergegeben werden. Nähere Einzelheiten über die Kontrastharmonisierung finden sich in [4 und 5].

Es sei darauf hingewiesen, daß durch die im Fernsehkanal mögliche Steigerung des Kontrastes keineswegs

solche Bilder entstehen, wie sie sich durch Zumischung des beschriebenen Detailsignals zum Hauptsignal ergeben. Die normale Kontrastveränderung auf dem Monitor kommt lediglich noch hinzu.

Das Verfahren der Kontrastharmonisierung läßt sich auch auf normalem fotografischem Weg realisieren und soll an einem Beispiel demonstriert werden. Bild 3a zeigt in der linken Hälfte die Stirnwand einer Querbrennerwanne über dem Einlegevorbau, rechts im Bild die linke Wannenseitenwand mit ihrem Anschluß an die Stirnwand. Das Bild ist nicht besonders kontrastreich, so daß Einzelheiten der Oberflächenstruktur des feuerfesten Materials nur begrenzt wiedergegeben werden.

Fertigt man sich vom Negativ dieser Aufnahme einen unscharfen Positivfilm gleicher Größe an, legt beide übereinander und kopiert diese Kombination zusammen auf einen neuen Film, dann erhält man die in Bild 3b gezeigte „Maske“, auf der in erster Linie die Hell/dunkel-Übergänge des Originalnegativs und dessen Feinstrukturen abgebildet werden. Kopiert man die Kombination dieser „Maske“ mit dem Originalnegativ zusammen auf einen neuen Film, dann erhält man ein kontrastharmonisiertes Bild der Originalvorlage. Dies ist für die Stirnwand in Bild 3c und für die Wannenseitenwand in Bild 3d dargestellt. Vergleicht man diese beiden Bilder mit dem Original (Bild 3a), dann erkennt man, daß auf den kontrastharmonisierten Bildern 3c und d Kontraste

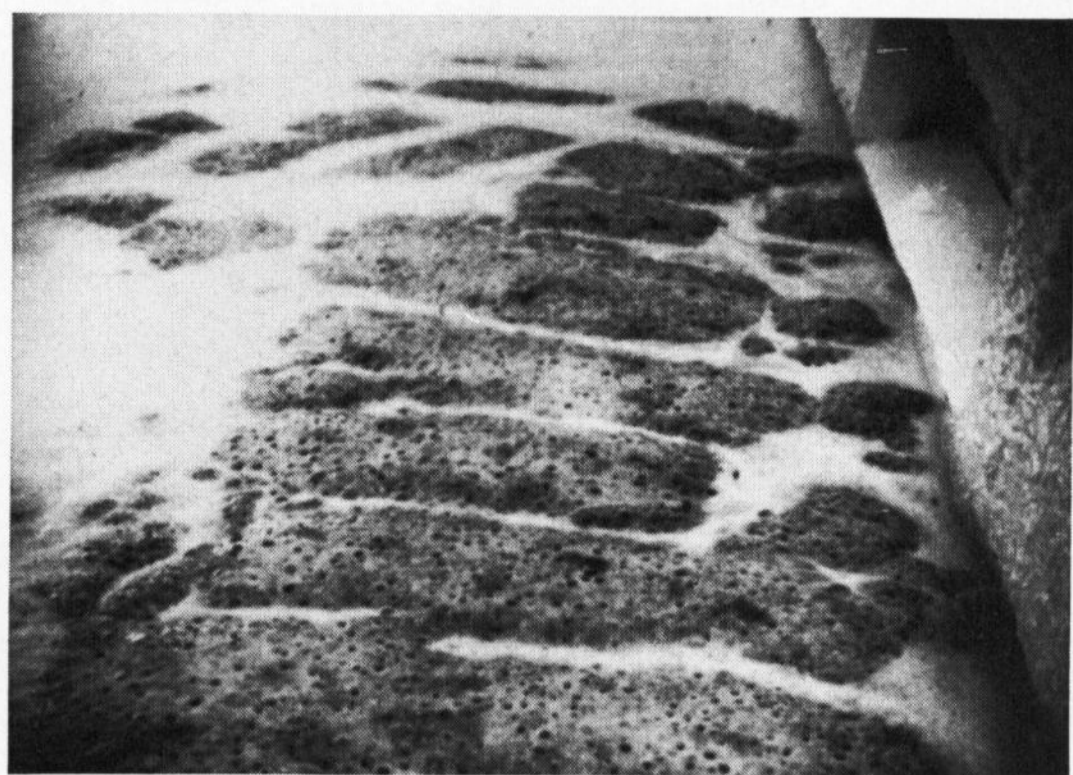


Bild 4. Teil der Gemengelage in einer Querbrennerwanne.

und Feinstrukturen wesentlich deutlicher hervortreten. Auf die beschriebene Weise können nach der Entwicklung besonders wichtige Negative weiter ausgearbeitet werden. Die Kontrastharmonisierungseinrichtung in Kombination mit dem Ofenperiskop und der Fernsehkamera liefert bei entsprechender Einstellung ein Monitorbild, dessen Teilverdeutlichung in vielen Fällen wesentlich besser ist als beim direkten Blick mit dem Auge durch das Ofenperiskop. Diese Verbesserung wird besonders augenscheinlich beim Betrachten von Ofenpartien, wo durch das Fehlen leuchtender Flammen nur ein sehr diffuses Bild im Original zur Verfügung steht. Ein besonderer Vorteil der Kontrastharmonisierungseinrichtung liegt darin, daß das Gerät bei Installation in einer zentralen Meßwarte auch nacheinander für mehrere Fernsehkameras verwendet werden kann.

2.4. Filmen des Monitorbildes, Videorecorder

Eine Filmaufnahme vom Monitor herunter ist ohne besondere Hilfsmittel der Synchronisation der Filmkamera problematisch. Bedingt durch die Aufzeichnungstechnik auf dem Monitor wandert bei nicht synchronisierter Filmkamera ein mehr oder weniger breiter, schwarzer horizontaler Balken mit der Differenzfrequenz zwischen Bildwechselfrequenz der Fernsehaufzeichnung (25 B/s) und der Aufnahme­frequenz beim Filmen über den Bildschirm. Durch günstige Wahl der Bildaufnahme­frequenz und Belichtungszeit der Einzelbilder des Films kann die Störwirkung des wandernden Balkens klein gehalten werden.

Umgehen kann man die erwähnten Schwierigkeiten durch Verwendung eines Videorecorders für die bewegte Aufzeichnung auf Magnetband. Durch die Möglichkeit der wählbaren Bildfolge­frequenz beim Ab­spielen können Pseudo-Zeitlupeneffekte, vorwärts- und rückwärtslaufend, sowie Standbildwiedergabe eingestellt werden.

3. Langsam ablaufende Vorgänge im Ofenraum

Manche Vorgänge im Feuerraum laufen so langsam ab, daß sie bei der normalen, zeitlich synchronen Beobachtung in ihrem Verlauf nicht genau genug erfaßt werden können.

Ein wichtiger Vorgang, der hierzu zählt, ist die Wanderung der abschmelzenden Gemengeinseln auf der Badoberfläche mit ihrem Einfluß auf die sich einstellenden Glasströmungen und die Bodentemperatur in der Schmelzwanne.

Über die momentane Lage des Gemenges auf der Badoberfläche geben Standbilder genügend Auskunft, wie Bild 4 zeigt. Zu sehen ist ein Teil der Gemengelage in einer Querbrennerwanne, fotografiert von der rechten Seite des Einlegevorbaues aus. Rechts im Bild Brenner 1 der rechten Wannenseite.

Die Wanderung der Gemengeinseln während des Einschmelzvorgangs kann an diesem Bild nicht verfolgt werden. Bei Filmaufnahmen mit einer sehr niedrigen Bildaufnahme­frequenz (z. B. 1 B/s) erhält man jedoch durch den damit erzielten Zeitraffereffekt beim Ab­spielen des Filmes einen sehr eindrucksvollen Gesamt­überblick über die Gemengewanderung.

Der durch die Filmvorführung vermittelte Eindruck in bewegten Szenen verblaßt in seinen Einzelheiten leider wieder. Durch Mehrfach­fotografie vom gleichen Standpunkt aus und eine spezielle Auswertung dieser Aufnahmen kann darüber hinaus dokumentarisches Bildmaterial erstellt werden, das die spezielle Charakteristik der Gemengewanderung deutlich werden läßt. Dieses Verfahren sei im folgenden dargelegt.

Durch ein Schauloch in der Stirnwand rechts neben dem Einlegevorbau wurde das Ofenperiskop eingeführt, örtlich fixiert und in dieser Position während einer Feuerstellung jede volle Minute mit einer Standbildkamera ein neues Bild der Gemengelage (ähnlich Bild 4) aufgenommen.

Die Bilder 5a und b sind das Ergebnis einer gezielten Auswertung einer solchen Bildserie. Man kann jeweils die Wanderung einer einzelnen Gemengeinsel innerhalb des Gesamtinselverbandes verfolgen. Hierzu wurde für die Bildmontage aus den Einzelaufnahmen jeweils nur die speziell interessierende Einzelinsel herausgeholt und auf ihrem Weg verfolgt.

Rechts auf jedem Teilbild ist die rechte Wannenseitenwand mit Brenner 1 dargestellt, am oberen Bildrand ist die Lage der Blasdüsen skizziert. Von Raster zu Raster besteht ein Zeitsprung von 1 min.

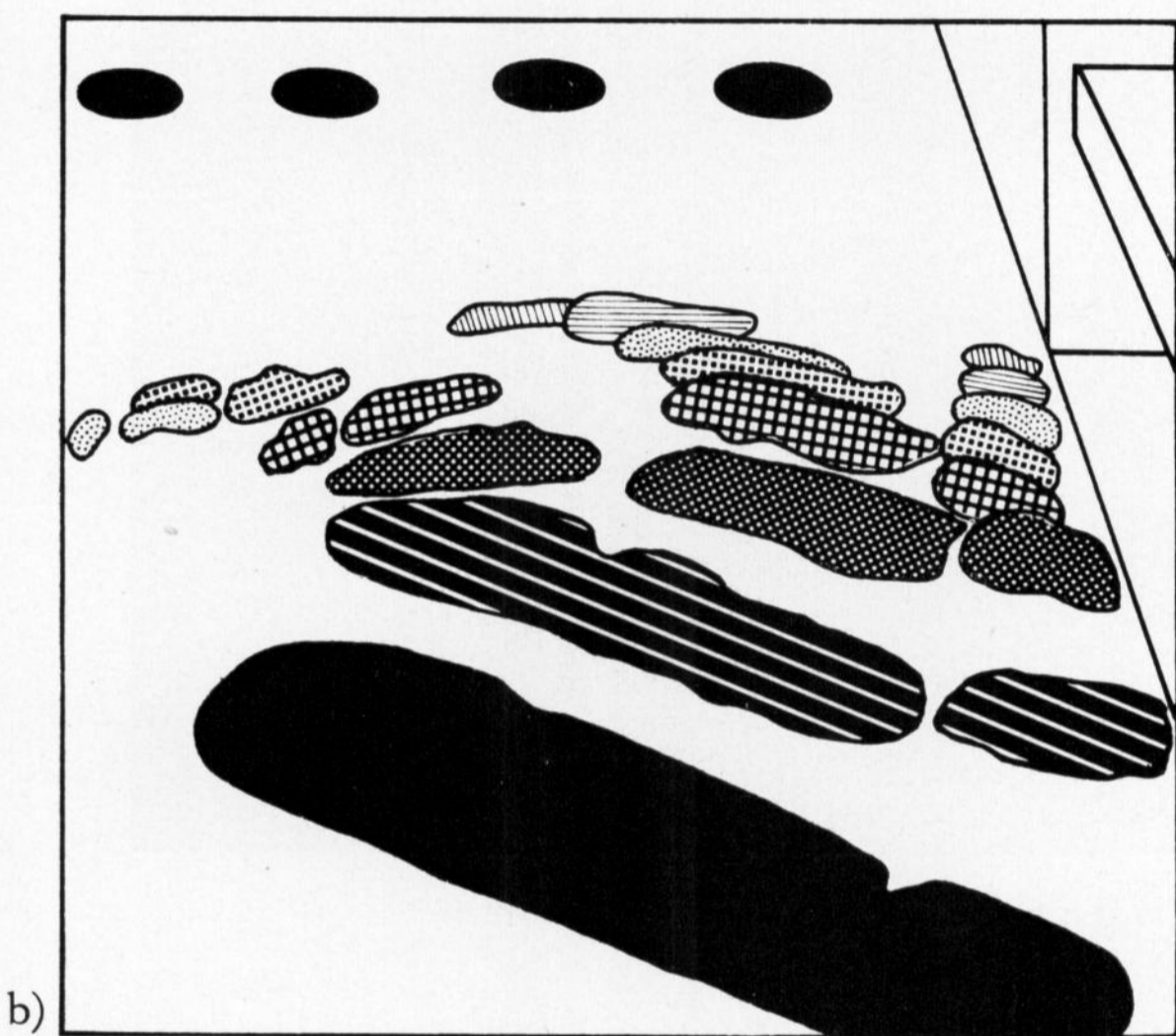
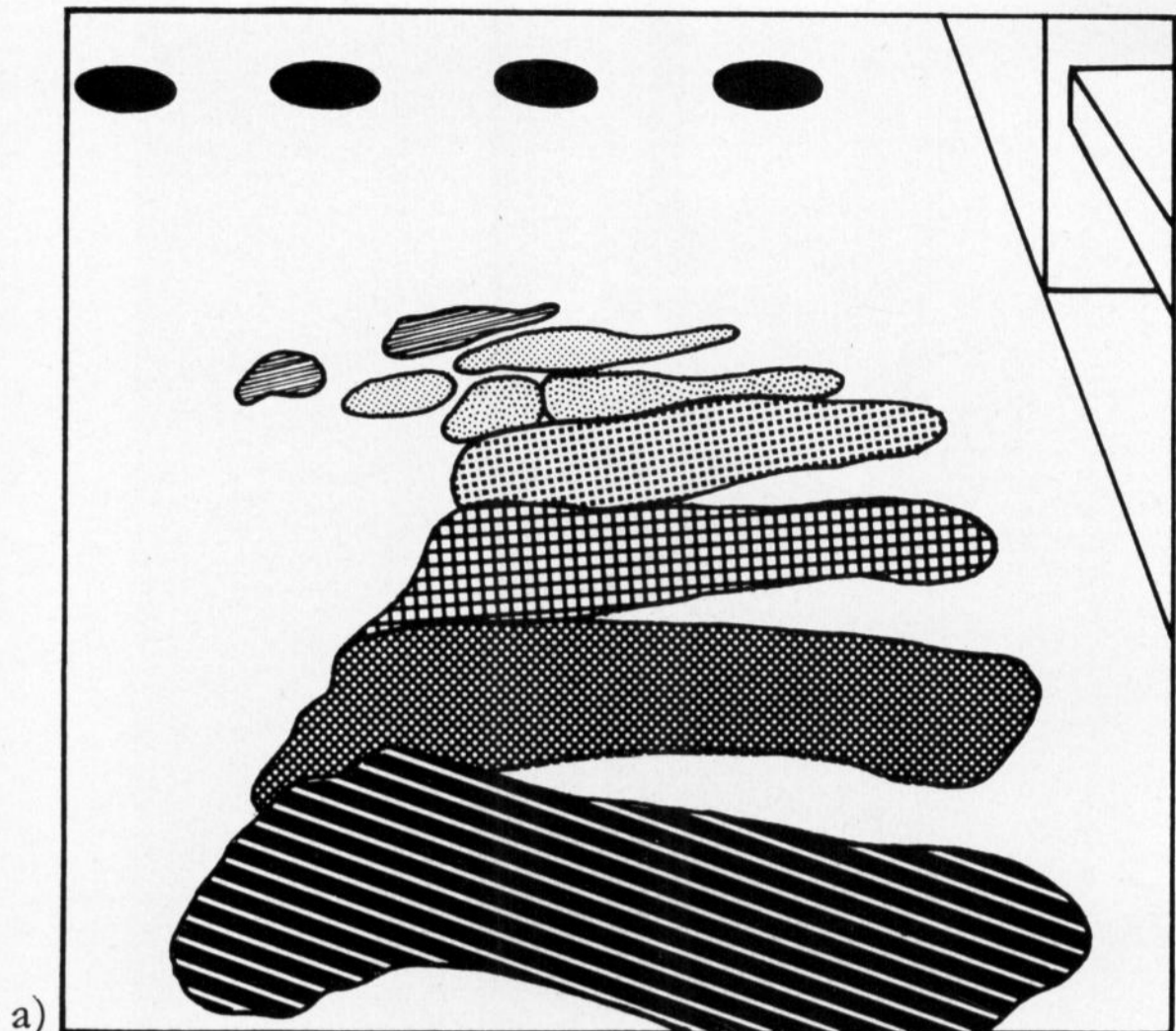
Auf Bild 5a schwimmt die Insel ohne Seitenwandberührung nach vorn und bricht erst relativ spät auf.

In Bild 5b zeigt sich eine andere Art der Gemengewanderung: Die Gemengeinsel bricht schon sehr früh zuerst in zwei und dann in drei Teile auf. Der rechte Teilbereich wandert an der Wand entlang und schmilzt dort ab. Der mittlere Bereich wandert zunächst in Wannens­längsrichtung und zieht dann nach links. Der linke Teilbereich bekommt schon sehr schnell einen Linksdrall und wandert dabei sogar ein Stück zum Einlegevorbau zurück.

An Hand der gezeigten Montagen wird deutlich, daß sich auch bei gleichbleibender Feuerstellung die von einer bestimmten Einlegemaschine kommenden Gemengestreifen hinsichtlich ihres Wanderweges durchaus nicht immer gleichartig verhalten.

4. Schnell ablaufende Vorgänge im Ofenraum

Flammenausbildung und Flammenlage haben ebenfalls Einfluß auf die sich einstellende Schmelzleistung, den spezifischen Wärmeverbrauch und die Haltbarkeit des feuerfesten Materials. Zur Ermittlung der summarischen Flammenlage und deren zeitlichen Änderungen reicht das Filmen mit normalen Filmlaufgeschwindigkeiten aus.



Bilder 5a und b. Wanderung einer Gemengeinsel innerhalb des Inselverbandes, Montage aus einer Aufnahmeserie. Von Raster zu Raster besteht ein Zeitsprung von 1 min.

Bei Flammengeschwindigkeiten weit über 100 m/s ist jedoch mit einer Bildaufnahmefrequenz von 64 B/s ein echtes Verfolgen z. B. eines bestimmten Flammenballens nicht möglich.

Mit der Hochfrequenz-Kinematografie und den dabei möglichen Aufnahmefrequenzen bis zu 8000 B/s lassen sich die Vorgänge in der Flamme gut aufschlüsseln. Die Empfindlichkeit der dabei verwendeten Filme muß dann jedoch so groß sein, daß das zur Verfügung stehende Licht eine ausreichende Belichtung der Einzelnegative des Filmes auch bei diesen extrem hohen Bildfrequenzen garantiert. Die Belichtungszeit der Einzelnegative entspricht ungefähr $1/3$ des Kehrwertes der Bildaufnahmefrequenz. Bei Flammenaufnahmen durch das Ofenperiskop ergeben sich bei einer Filmempfindlichkeit von 18 DIN, auf Blende 2,8 bezogen, notwendige Belichtungszeiten von $1/500$ s. Bei sehr hoher Bildaufnahmefrequenz muß im allgemeinen durch Spezialentwicklung in warmem Entwickler die Filmempfindlichkeit kräftig erhöht werden. Auf diese Weise läßt sich z. B. der Negativfilm GEVAPAN 36 bis auf 30 DIN hochentwickeln. Der Schwarzweiß-Negativfilm KO-

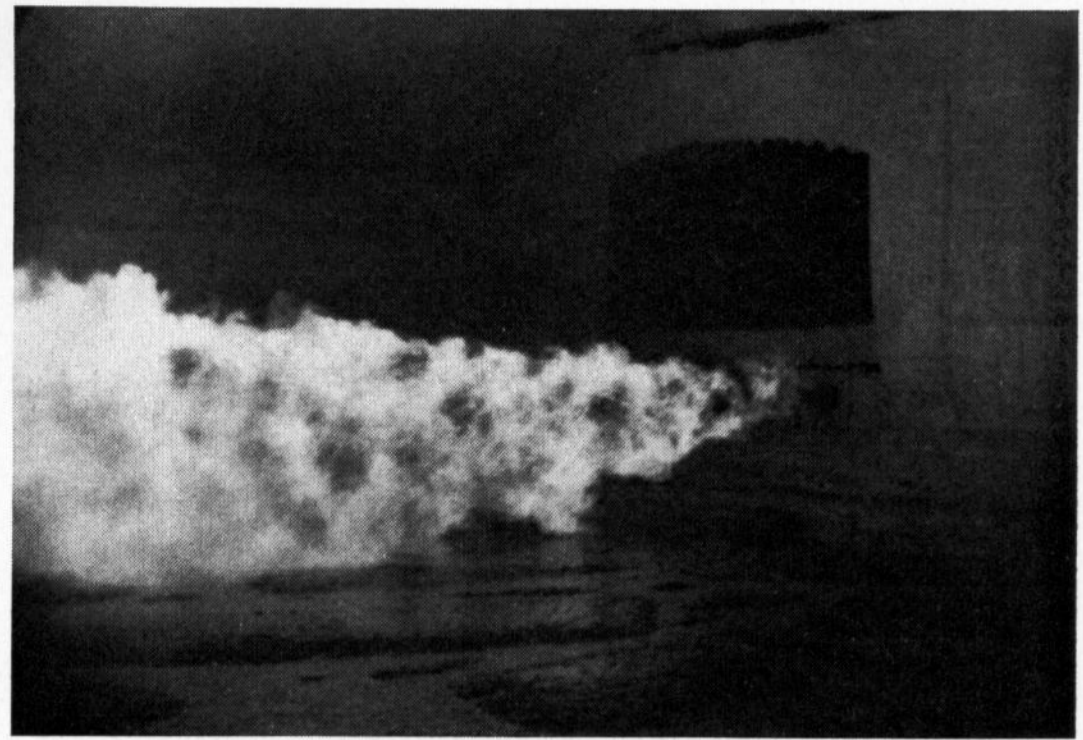


Bild 6. Ölflamme in einer U-Flammenwanne.

DAK-Recording Nr. 2475 erreicht durch Spezialentwicklung sogar eine Empfindlichkeit von 38 DIN.

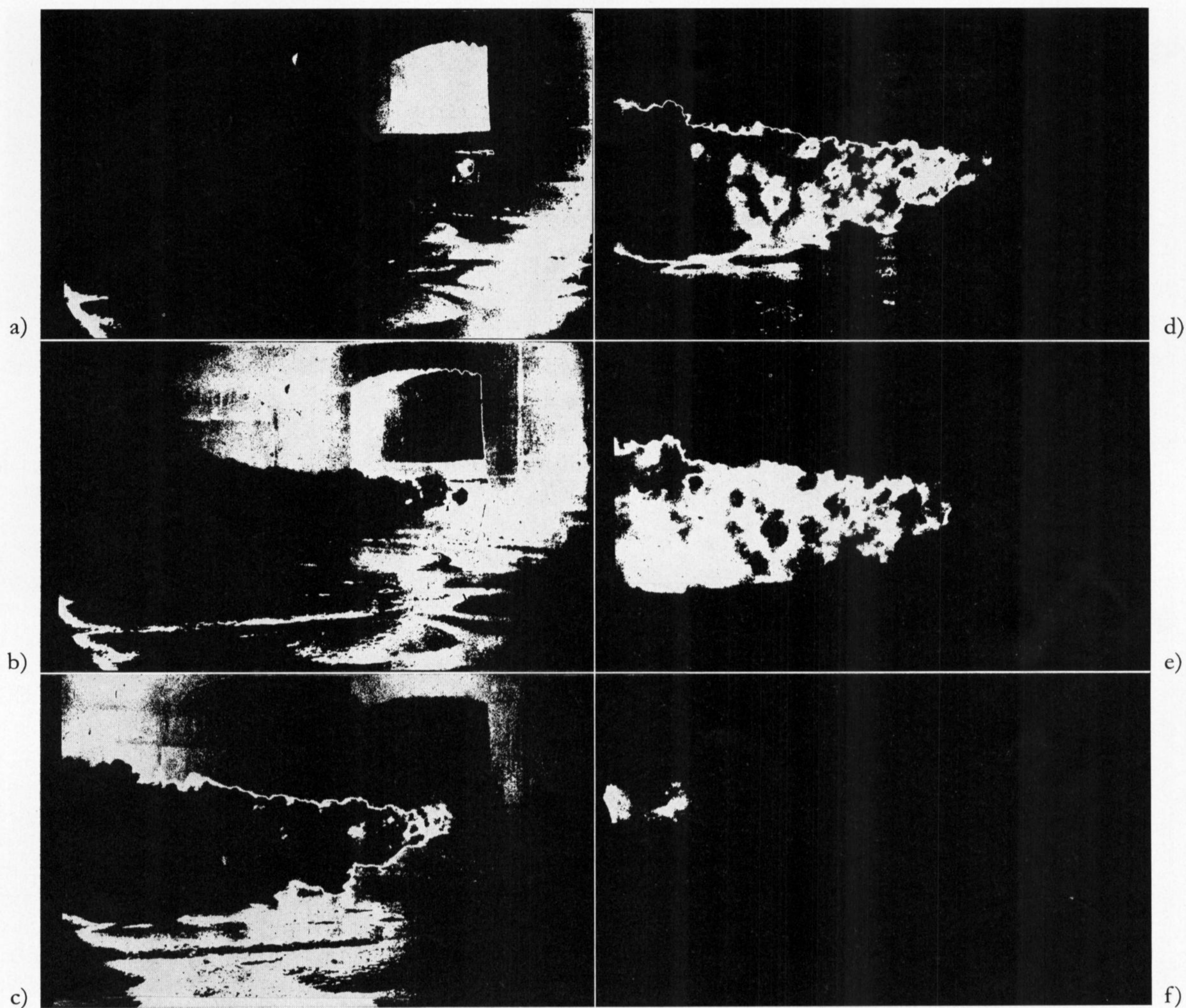
5. Äquidensitenverfahren

Wie das mit $1/1000$ s aufgenommene Schwarzweiß-Bild 6 einer Ölflamme in einer U-Flammenwanne zeigt, präsentieren sich die Flamme und der umgebende Ofenraum in einer bestimmten Anordnung von Grautönen. An Hand der Grautonverteilung kann man sich ein Urteil bilden z. B. über die Struktur der Flamme und das Mischungsverhalten des Brennstoffs mit der Verbrennungsluft. Die Temperaturverteilung in der Flamme könnte an Hand der Grautonverteilung des Bildes nur dann genau bestimmt werden, wenn man durch optische Ausfilterung der Gasbandenstrahlung nur die Festkörperstrahlung der Flamme in einem bestimmten Wellenlängenbereich fotografiert. Dann liegt nach dem PLANCKSchen Strahlungsgesetz ein eindeutiger Zusammenhang zwischen örtlicher Temperatur und örtlicher Strahlungsintensität vor. Da die Flamme jedoch kein schwarzer Strahler ist, müßte zusätzlich noch das Emissionsverhältnis der Flamme bekannt sein, das wiederum über die Flammenlänge nicht konstant ist. Hinzu kommt noch die überlagerte Hintergrundstrahlung vom feuerfesten Material her.

Für eine Auswertung des Flammenbildes ist es günstig, eine größere Differenzierung der Grautöne vorliegen zu haben. Dies ist mit Hilfe des Äquidensitenverfahrens möglich, bei dem die Äquidensiten, d. h. die Flächen gleicher Schwärzung, aus einem Negativ oder Positiv durch Umkopieren auf Agfacontourfilm einzeln herausgeholt werden können.

Welcher Grauwert auf den Agfacontourfilm einzeln übernommen wird, richtet sich nach der gewählten Belichtungszeit beim Umkopieren. Die Äquidensitenbreite, d. h. der separat übernommene Schwärzungsumfang der Vorlage, kann durch Zwischenschaltung von Gelbfiltern unterschiedlicher Dichte zwischen Originalvorlage und Agfacontourfilm gewählt werden.

Durch Umkopieren auf Agfacontourfilm kann somit ein Negativ in eine Schar von Flächen gleichen Dichtenumfanges zerlegt werden, die — paßgenau übereinander montiert — wieder das Gesamtbild ergeben. Bei Vorlagen mit einer sehr heterogenen Schwärzungsverteilung — wie z. B. bei dem gezeigten Flammenbild 6 — werden durch Darstellung der verschiedenen Äquidensiten in unterschiedlichen Farben eine noch bessere Auswertbarkeit und damit eine weitere Informationssteigerung erreicht.



Bilder 7a bis f. Aufschlüsselung von Bild 6 nach dem Äquidensitenverfahren.

Einzelheiten über das Äquidensitenverfahren mit Verarbeitungsvorschriften finden sich in [6].

Nach dem beschriebenen Verfahren wurde Bild 6 der Ölflamme in sechs Schwärzungsstufen (mit einem jeweiligen Dichteumfang von 0,15 von Dichte 0,45 bis 1,35 des Negativs) aufgeschlüsselt. Die Bilder 7a bis f

zeigen sukzessiv separat abgebildet immer hellere Partien des Originalbildes 6. In Bild 7f links oben liegt der hellste und wahrscheinlich auch heißeste Bereich der Flamme.

Man erkennt, daß die Flammenunterseite auf dem ersten Drittel der Flammenlänge dunklere Partien auf-

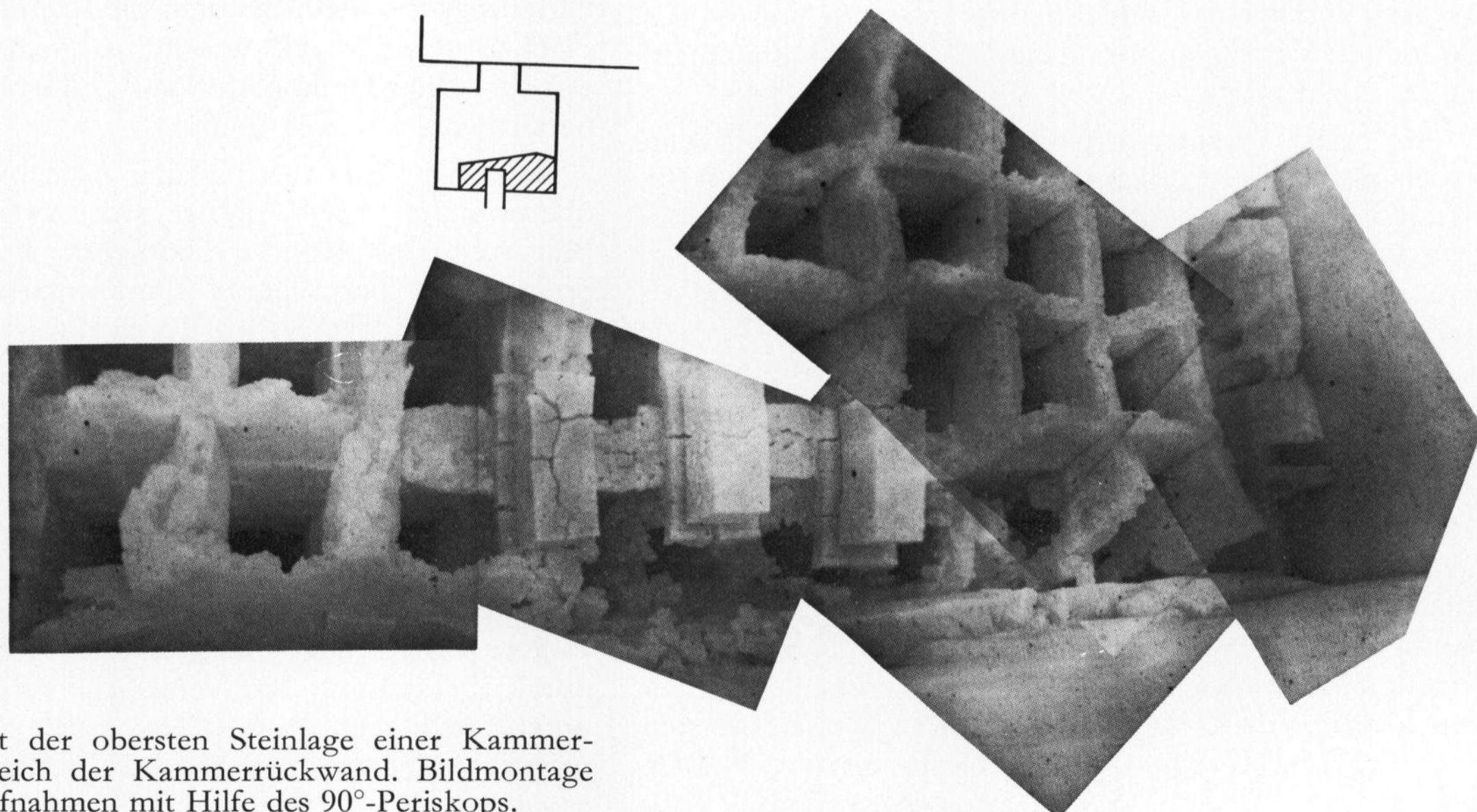


Bild 8. Ausschnitt der obersten Steinlage einer Kammergitterung im Bereich der Kammerrückwand. Bildmontage aus Einzelaufnahmen mit Hilfe des 90°-Periskops.

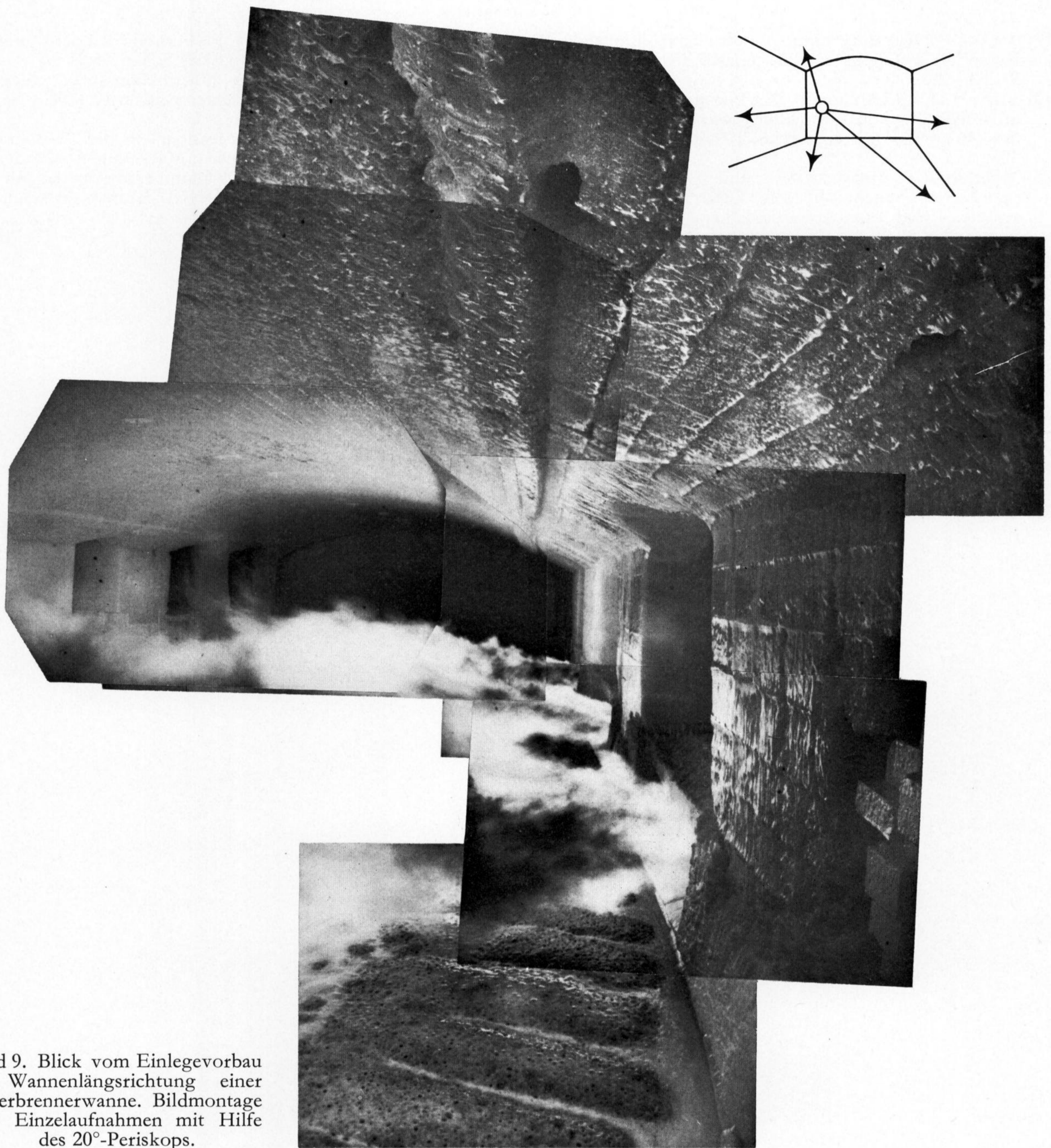


Bild 9. Blick vom Einlegevorbau in Wannenlängsrichtung einer Querbrennerwanne. Bildmontage aus Einzelaufnahmen mit Hilfe des 20°-Periskops.

weist als ihre Oberseite im gleichen Bereich. Dies wird verständlich, wenn man beachtet, daß bei Unterbankfeuerung die Verbrennungsluft hauptsächlich von oben in die Flamme eingemischt wird.

Es soll noch auf ein Verfahren hingewiesen werden, das mit Hilfe der Fernstechnik sofort ein Äquidensitenbild des mit der Fernsehkamera betrachteten Objektes auf einem Monitor entwirft [7]. Mit einer solchen Anordnung könnte z. B. in den Wechsepausen ein Isothermenbild des feuerfesten Materials im Ofenraum — eventuell unter Zwischenschaltung eines Videorecorders — auf den Monitor projiziert werden. Das feuerfeste Material dürfte hinsichtlich der Eichung der Kamera auf ein bestimmtes Emissionsverhältnis wohl einfacher in den Griff zu bekommen sein als eine Flamme.

6. Periskopversionen, Bildmontagen

Manche Bereiche des Schmelzofens lassen sich während des Betriebes nur mit Hilfe eines Ofenperiskops beobachten, dessen optische Achse gegenüber der Geräteachse um 90° abgewinkelt ist. Als Beispiel hierfür wurde die oberste Lage einer Kammergitterung von der Kammerrückwand aus inspiziert. Bild 8 zeigt eine Bildmontage dieser Inspektion: Man schaut senkrecht nach unten und schräg nach rechts auf die oberste Steinlage in Nähe der Kammerrückwand.

Bild 9 schließlich vermittelt einen Blick vom Einlegevorbau einer Querbrennerwanne aus in Wannenlängsrichtung an der rechten Seitenwand entlang auf die Schattenwand. Die Einzelaufnahmen entstanden mit Hilfe des Ofenperiskops mit 20° Abwinkelung der optischen Achse gegenüber der Geräteachse.

5. Literatur

- [1] WERNER, TH.: Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten eines Ofenperiskops. Glastechn. Ber. **41** (1968) S. 283 – 291.
- [2] VOSS, H.-J. und MERGLER, W.: Fotografieren und Filmen im Ofenraum von Glasschmelzöfen unter Verwendung des Ofenperiskops. Glastechn. Ber. **42** (1969) S. 396 bis 405.
- [3] MEISTER, R.; MERGLER, W. und VOSS, H.-J.: Ofenperiskop mit Seitenausblick für Glasschmelzöfen — Konstruktion und Einsatzmöglichkeiten. IX. Intern. Glas-kongreß, Versailles 1971, Sektion A II, 8, S. 1203 – 1219.
- [4] GUDDEN, F. und MARHOFF, P.: Fernsehen in der Röntgen-diagnostik. Siemens-Z. **43** (1969) S. 526 – 530.
- [5] SCHOTT, O.: Elektronische Informationsaufbereitung in der Röntgendiagnostik. Elektromedizin **12** (1967) S. 204 bis 215.
- [6] O. Verf.: Agfacontour Professional in der Photographik. Agfa-Gevaert AG, Leverkusen, Marketing-Abteilung.
- [7] HÄRTEL, W.: Entwurf eines Flammenpyrometers auf der Basis der Fernsehtechnik. VGB Kraftwerkstechn. **53** (1973) S. 393 – 400.

74R0740