

DK 662.951:662.767:662.612:66.075:666.1.031.2:666.1.031.3:662.614:666.1.031.24

Eigenkarburierung von Erdgasflammen bei Primärluftzusatz.

Ergebnisse an Wannen- und Hafenöfen

Von WALTHER LIEHN, Grünenplan

(Vortrag auf der 45. Glastechnischen Tagung am 12. Mai 1971 in Bremen)

(Mitteilung aus der Deutschen Spiegelglas AG, Grünenplan)

(Eingegangen am 12. Mai 1971)

Seit Mitte 1968 wurde das Grünenplaner Gasnetz durch die Salzgitter Ferngas GmbH mit Erdgas versorgt. Die Deutsche Spiegelglas AG stand damit vor der Aufgabe, die bis dahin zum großen Teil mit Kokereigas und in einigen Fällen mit Leichtöl beheizten Schmelzöfen auf den Betrieb mit diesem neuen Brennstoff umzustellen.

Bei dem Bericht handelt es sich um Ergebnisse an Wannen- und Hafenöfen für Spezialgläser. Deshalb wird von einer

Wertung der Schmelzleistung, des Wärmeverbrauchs und eventueller konstruktiver Eigenheiten im Vergleich zu anderen ölbeheizten Öfen der Glasindustrie abgesehen. Dagegen haben die seit der Umstellung in Grünenplan gesammelten Erfahrungen zu Brennerkonstruktionen geführt, die allgemein verwertbar sind und eine hinreichend leuchtende Flamme ergeben. Flammenweg und -länge können dem zur Verfügung stehenden Ofenraum gut angepaßt werden.

Self-carburizing of natural gas flames by primary air addition. Results with tank and pot furnaces

Before the middle of 1968 Deutsche Spiegelglas AG used mostly coke oven gas and light oil in a few cases. Introduction of natural gas at that time necessitated conversion to the new fuel.

This report is concerned with tank and pot furnaces for special glasses. For this purpose no comparison was made of

melting rate, heat consumption and details of construction in relation to other oil fired furnaces in the glass industry. Experience since conversion has produced information of general value on burner construction which gives flames of sufficiently high luminosity. Flame path and length must be adapted to suit the available combustion space.

Autocarburation des flammes de gaz naturel dans le cas d'un apport d'air primaire. Résultats concernant les fours à bassin et les fours à pots

Dès le milieu de 1968, le réseau de distribution de gaz de Grünenplan a été alimenté en gaz naturel par les soins de la Salzgitter Ferngas GmbH. La Deutsche Spiegelglas AG a donc dû opérer la conversion au gaz naturel de ses fours, qui, jusque là, étaient chauffés pour la plupart au gaz de cokerie et, dans quelques cas, au fuel léger.

L'article expose les résultats obtenus avec des fours à bassin et des fours à pots fondant des verres spéciaux, ce qui explique que l'on néglige des facteurs tels que la production

du four, la consommation de chaleur et les particularités éventuelles de construction dans la comparaison qui est faite avec d'autres fours de verrerie chauffés au mazout. Par contre, l'expérience de conversion réalisée à Grünenplan a permis de construire des brûleurs exploitables d'une manière générale et qui produisent une flamme suffisamment éclairante. Les trajectoires et les longueurs de flammes peuvent être adaptées parfaitement à l'espace disponible dans le four.

Mitte 1968 wurde die Brennstoffversorgung im Grünenplaner Werk der Deutschen Spiegelglas AG von Kokereigas auf Erdgas umgestellt. Dadurch erwuchs die Aufgabe, die im Betrieb vorhandenen Brennstellen dem neuen Gas anzupassen und eventuell auch an bis dahin mit Leichtöl beheizten Öfen Erdgas zu verwenden.

In diesem Bericht soll über die nach einigen Vorstufen endgültig gefundene Lösung gesprochen werden. Dabei ist zu beachten, daß es sich um Ergebnisse an Wannen- und Hafenöfen für Spezialgläser handelt. Außerdem wurden bei den bisher mit Öl betriebenen, relativ schmalen Wannenöfen die unter der Brenner-

bank angeordneten Düsen, die ausfahrbar sind, beibehalten. Es sollte jedes Risiko vermieden werden, da zum Beispiel noch nicht feststand, ob eine langsam ausbrennende, reduzierend wirkende Flamme Einfluß auf die dunklen, eisenhaltigen, gezogenen Schutzgläser haben würde. Man hatte also hier vorläufig bewußt auf die wärmetechnisch günstigere Anordnung tiefer über dem Bad liegender Brenner und auf einen nicht zu hohen Ofenraum verzichtet. Deshalb muß von einer Bewertung der Schmelzleistung, des Wärmeverbrauchs und eventueller konstruktiver Eigenheiten im Vergleich zu anderen öl- oder gasbeheizten Öfen der Glasindustrie

Tabelle 1. Zusammensetzung und Heizwert des eingesetzten Erdgases

Liefermonat	Zusammensetzung in Vol-%					Heizwert in kcal/Nm ³
	Methan	Äthan	Propan	Kohlen- dioxid	Stick- stoff	
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	CO ₂	N ₂	
Februar 1969	86,0	0,5	0,1	2,7	10,7	7538
März 1969	86,0	0,6	0,1	1,7	11,6	7553
Februar 1971	85,8	0,6	0,1	2,1	11,4	7467
März 1971	85,9	0,6	0,1	1,9	11,5	7476

abgesehen werden. Dagegen haben die in Grünenplan gesammelten Erfahrungen zu Brennerkonstruktionen geführt, die allgemein verwertbar sind.

Geschildert werden nur die Verhältnisse an Schmelzöfen. Die Beurteilung der endgültig ausgewählten Brenner erfolgt vorwiegend über die Betrachtung des Flammenbildes in Einzelbildern und Filmaufnahmen, wobei die klarsten Erkenntnisse bei der Wiedergabe im bewegten Bild gewonnen werden. Aufnahmen beider Art wurden unter Verwendung des Ofenperiskopes der HVG gemacht.

1. Erhöhung der Flammenstrahlung durch Eigenkarburierung des Erdgases

Die Zusammensetzung des im Verlauf der zweieinhalb Jahre recht gleichmäßig gelieferten Erdgases zeigt Tabelle 1. Es ist erkennbar, daß als brennbarer Teil im Gas vorwiegend Methan enthalten ist, während die höheren Glieder der Paraffinreihe praktisch ohne Bedeutung sind. An sogenannten Karburierungsgiften sind Kohlensäure in geringer Menge und Stickstoff in einem Prozentsatz enthalten, der allgemein als gerade noch zulässig angesehen wird. Man kann also für den Ablauf des Verbrennungsvorganges die Überlegungen anstellen, wie sie für reines Methangas gelten.

Das Problem bei der Verwendung von Erdgas liegt darin, daß man diesen im Vergleich zu Kokereigas träger reagierenden Brennstoff im Ofenraum zu Verbrennung und Wärmeabgabe bringen muß. Die rasche Verbrennung wird durch eine gute Mischung bzw. sogar Vormischung bewirkt, die aber gerade der weitgehenden, durch starke Strahlung erreichten und über das Bad gleichmäßig verteilten Energieübertragung widerspricht. Auf dieses Dilemma weist 1970 auch MEISTER im HVG-Kurs „Erdgaseinsatz in Glashütten“ hin [1]. Die ganze Frage verschärft sich nämlich noch, wenn man der heutigen Forderung nach gesteigerter Leistung durch höhere Herdflächenbelastung nachkommen will. Man müßte dazu noch größere Erdgas-mengen im Ofenraum durch noch bessere Mischung zur Verbrennung bringen.

Für die Energieabgabe gilt bei Flammen das STEFAN-BOLTZMANNsche Gesetz in der für graue Strahlung abgeänderten Form:

$$q = \varepsilon_{\text{ges}} \cdot C_s \left(\frac{T}{100} \right)^4,$$

dabei sind q die abgegebene Energie in kcal/m² h, ε_{ges} das Emissionsvermögen der Flamme, C_s die Strahlungszahl des Schwarzen Körpers in kcal/m² h K⁴, T die absolute Temperatur in K.

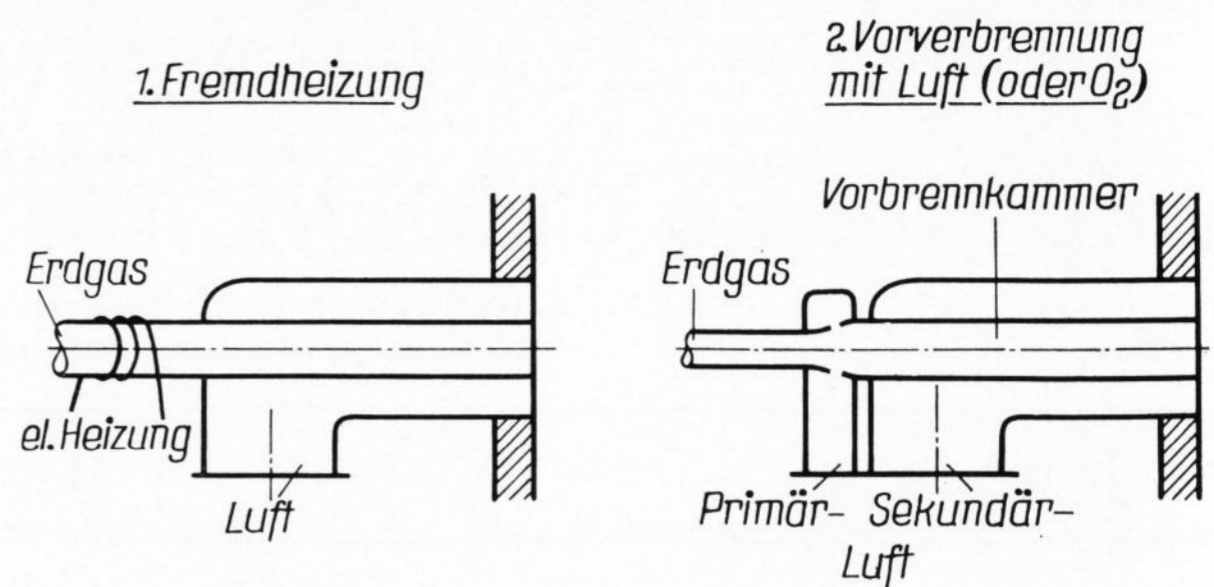


Bild 1. Eigenkarburierung von Flammen durch Methanspaltung außerhalb des Ofenraumes (nach GÜNTHER).

Betrachtet man nun die Strahlung der Kohlenstoffteilchen im besonderen, so können leuchtende Kohlenwasserstoffflammen als „trübe Medien“ angesehen werden [2], für die das BEERSche Absorptionsgesetz die Form erhält:

$$\alpha = 1 - e^{-ks} = \varepsilon,$$

dabei sind α das Absorptionsvermögen, k die Absorptionskonstante in 1/m (abhängig von der Rußkonzentration), s die Schichtdicke der Flamme in m.

Nach dem KIRCHHOFFSchen Gesetz ist aber das Absorptionsvermögen gleich dem Emissionsvermögen zu setzen, wobei festzuhalten ist, daß ε_{ges} wesentlich beeinflusst wird durch das Emissionsvermögen ε der Kohlenwasserstoffpartikel in der Flamme. ε wird jedoch groß, wenn die Absorptionskonstante k infolge hoher Rußkonzentration wächst und wenn die Schichtdicke der Flamme s ausreichend ist.

Auf dieser Grundlage stellt GÜNTHER in einem Referat vor dem Fachausschuß II der DGG [3] fest, daß die Verbesserung der Strahlung von Erdgasflammen auf zwei Wegen erreicht werden kann, und zwar durch:

- Verbesserung des Emissionsvermögens, wobei der Eigenkarburierung eine besondere Bedeutung zuge-messen wird;
- Erhöhung der Flammentemperatur durch Mischung — auch Vormischung —, der aber durch die dabei bewirkte, gleichzeitige Entleuchtung der Flamme und durch das feuerfeste Material sehr enge Grenzen gesetzt sind.

GÜNTHER läßt besonders die Vormischung als praktische Lösung nur sehr bedingt gelten und macht Vorschläge zur Heraufsetzung des Emissionsvermögens. Ein hohes ε wird erreicht, wenn die Verbrennung der bei der Methanspaltung entstehenden Zwischenprodukte gebremst wird, so daß die bei Luftmangel ablaufenden, im einzelnen immer noch nicht genau bekannten Stufenreaktionen zur Bildung von Ruß führen. Das kann zum Beispiel in besonders beheizten Umsetzern oder durch eine Teilverbrennung des Erdgases in diesen erreicht werden (Bild 1). Der in der Flamme enthaltene Ruß steigert dann deren Emissionsvermögen.

Die bei Versuchen an den Flammenforschungsstellen in Ijmuiden und Toulouse erreichten Höchstwerte für ε betragen aber auch dabei bestenfalls 0,5 bis 0,6. Alle Anlagen jedoch, die eine Eigenkarburierung der Flamme durch die Spaltung des Methans in einem Umsetzer mit Beheizung oder Vorverbrennung erreichen wollen, kämpfen mit großen Schwierigkeiten. Der ge-

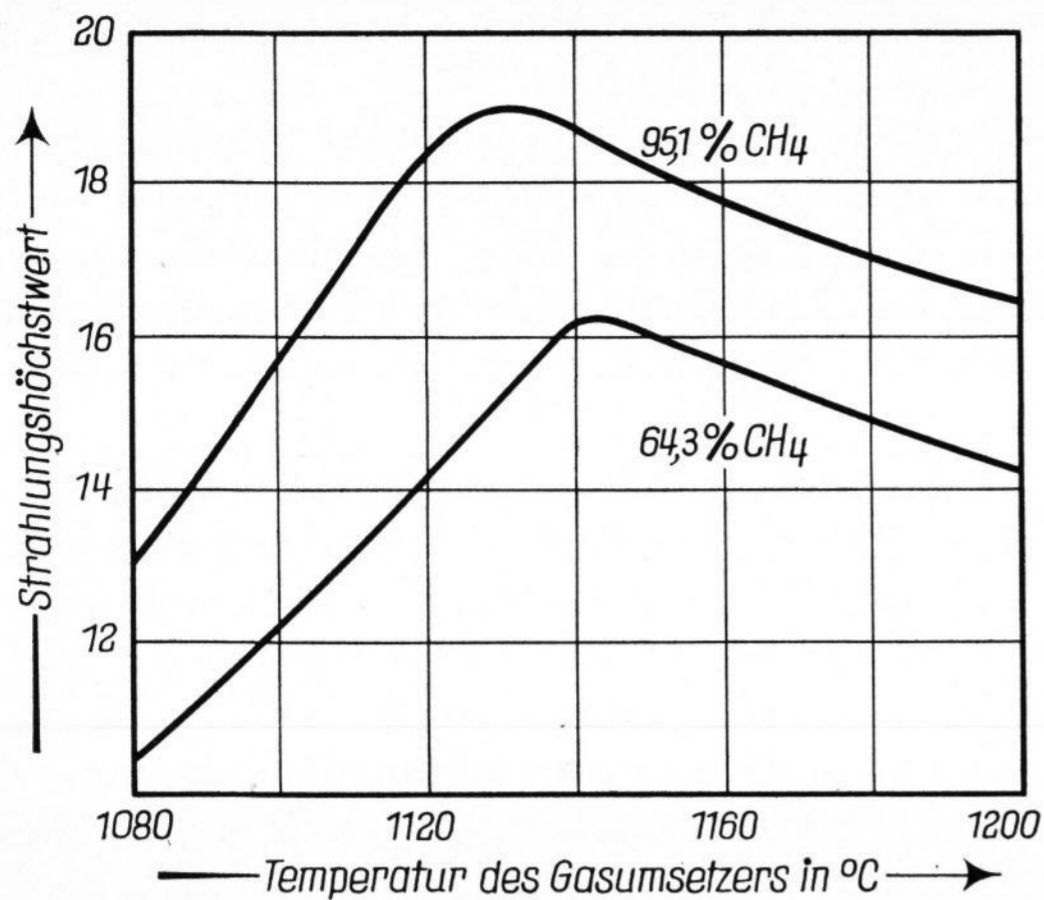


Bild 2. Strahlung als Folge der CH₄-Spaltung in Abhängigkeit von der Umsetzertemperatur (nach VEH).

bildete Ruß lagert sich zum Teil bereits im Umsetzer ab und führt häufig zu Verstopfungen.

Eine weitere Möglichkeit der Eigenkarburierung besteht darin, daß die Verbrennung des Erdgases im Schmelzofen selbst so gesteuert wird, daß es hier zu einer gewissen Rußbildung kommt. Es muß also ein Teil des Gases unter Luftmangel verbrannt werden, so daß bei den hohen Temperaturen im Ofen das Methan gespalten wird, ein Vorgang, der in Millisekunden vollzogen ist. Eingehende Untersuchungen darüber sind von VEH [4] angestellt worden. VEH stellt fest, daß das Temperaturfeld der Flamme, in dem die Umsetzung stattfindet, durch folgende Faktoren bestimmt ist:

- Temperatur des Gases, die eventuell durch eine Teilverbrennung erhöht wird;
- Zumischung heißer Luft;
- Wärmeleitung der umgebenden Flamme;
- Wärmeeinstrahlung aus dem Ofenraum.

Der Temperaturbereich, in dem eine maximale Methanspaltung zu Ruß erfolgt, ist aber relativ schmal und liegt bei etwa 1100 bis 1200 °C, wie sich aus Messungen des Strahlungshöchstwertes als relative Zahl in Abhängigkeit von der Temperatur in einem Umsetzer erkennen läßt (Bild 2).

Von weiterer, entscheidender Bedeutung für die Eigenkarburierung im Ofenraum ist die Einwirkungszeit der Umsetzertemperatur. Ein mehr oder weniger schnelles Durchlaufen der Gasmoleküle durch dieses Temperaturintervall hängt von dem durch Mischung oder Vormischung bedingten längeren oder kürzeren bzw. kälteren oder heißeren Verbrennungsvorgang ab.

2. Vormischung des Erdgases zur Selbstkarburierung

Es soll nun nicht auf die verschiedenen Formen von Brennern, die in der Glasindustrie bei der Verwendung von Erdgas üblich sind, sondern gleich auf die Verhältnisse in Grünenplan eingegangen werden.

Bei den früher mit Kokereigas beheizten Wannen wurde der Brennstoff mit drei Düsen in jeden gemauerten Brenner durch das Gewölbe eingeführt. Bei der Verwendung von Leichtöl wurden die üblichen, mit Preßluft betriebenen Düsen unter der Brennerbank einge-

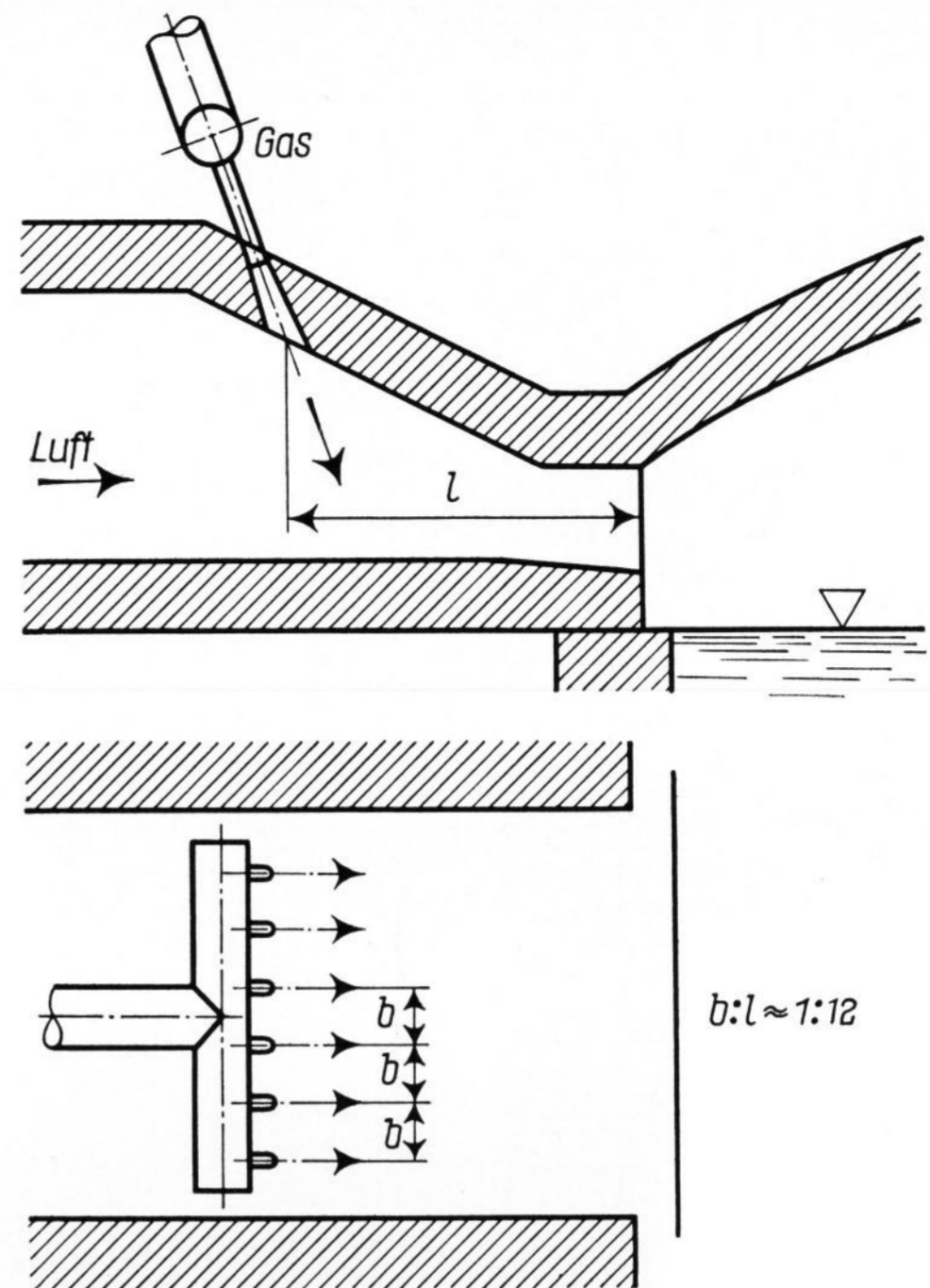


Bild 3. Erdgaseinführung an Wannen.

baut, wobei auf jeden Brenner zwei Zuführungen entfielen. In die Büten der Hafenöfen gelangte das Gas über ein bis zwei Düsen. Die Geschwindigkeiten des Gases an der Düsenmündung waren bei den Wannen etwa 30 m/s und bei den Hafenöfen etwa 25 m/s auf Normzustand bezogen.

Zur Frage der Düsenanordnung im Brennergewölbe der Wannen ist folgendes zu sagen: MEISTER [1] weist auf die Schwierigkeiten hin, die bei der Einführung des Gases durch die Brennerwangen entstehen, sobald bei den einander gegenüberliegenden Düsen unterschiedliche Einströmgeschwindigkeiten auftreten. Es kommt dann zu ungewollten Ablenkungen der Flamme nach einer Seite hin. Über gleiche ungünstige Erfahrungen mit abgelenkten Flammen, sobald die Brennerdüsensteine sich abgenutzt haben oder ihre ursprüngliche Lage etwas verändern, berichtet auch MICHELS [5]. Weiterhin besteht das Bestreben, ein möglichst geschlossenes Flammenband über dem Glasbad zu erzielen. Daher werden die Brenner so nahe aneinander gebaut, daß für Einbau und Wartung der seitlich angeordneten Düsen praktisch kein Platz ist. Beim Einbau von Düsen in die Brennerbank besteht die Gefahr der Verstopfung. FRAUENSCHILL [6] hat ebenfalls mit im Brennergewölbe angeordneten Düsen schlechte Erfahrungen gemacht. Die Enden der Gaszuführungsrohre verzündeten schon nach kurzer Zeit, und damit änderten sich Strömungsquerschnitt und Gasmenge. Auch zunderfester Stahl brachte nicht den gewünschten Erfolg, da Ablagerungen (Gemengestaub und Kondensate) den Rohrquerschnitt verminderten. Es hat sich jedoch gezeigt, daß bei einer genügend steilen Einführung der Rohre mit einer Neigung von etwa 75° gegen die Brennerbank und bei ausreichend in die Gewölbeformsteine zurückgezogenen Rohrenden die geschilderten Störungen nicht auftreten. Eine zu Beginn in Grünenplan angebrachte Wasserkühlung am Gasrohraustritt ist heute nicht mehr vorgesehen.

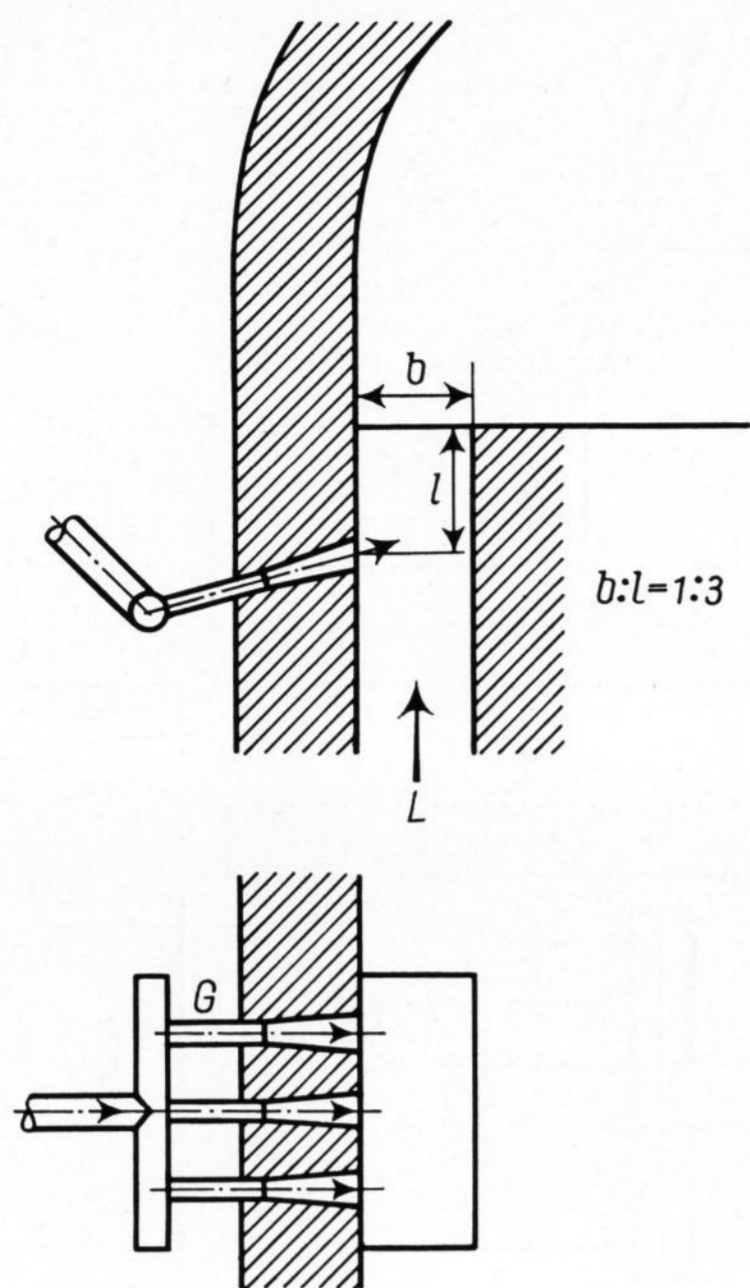


Bild 4. Erdgaseinführung in die Bütte von Hafenöfen.

Bei der Umstellung auf Erdgas wurde angenommen, daß eine Vergrößerung der Zahl der Gasdüsen unter Beibehaltung etwa gleicher Eintrittsgeschwindigkeit eine genügend schnelle Verbrennung herbeiführt. Es war allerdings unsicher, ob sich dabei die Flammen im Ofen nicht zu kurz und wenig leuchtend ausbilden und ob nicht ein sehr ungleichmäßiges Temperaturfeld auftreten würde. So wurde die Zahl der Düsen bei den Wannen auf sechs erhöht, die rund 120 cm vor dem Austritt des Brenners im Ofenraum liegen und das Gas praktisch rechtwinklig zum Luftstrom einführen (Bild 3). Die Geschwindigkeit des Gases am Düsenaustritt war 45 m/s. Bei den Hafenöfen wurden zwei oder drei Düsen in rund 45 cm Entfernung unter dem Boden angeordnet, aus denen das Gas wieder rechtwinklig zum Luftstrom mit einer Geschwindigkeit von etwa 30 m/s austrat (Bild 4). Das Ergebnis waren dunkle, kalte Flammen, die bis in die abziehenden Kammern reichten. Wo sie zum Beispiel an den Vorrichtern oder an den Schau-

öffnungen über den Kammern austraten, setzte sich Ruß ab. Die noch zu zeigenden Bilder lassen dies deutlich erkennen. Die Erscheinungen führten zu dem Schluß, daß die Mischung von Erdgas und Luft noch ungenügend war, daß wohl eine Eigenkarburierung der Flamme auftrat, daß aber bei der sehr verzögerten Verbrennung die Flammentemperatur insgesamt zu niedrig blieb.

Die Anordnung von Erdgasdüsen an der Stelle der früheren Öldüsen, wobei die Zerstäubung durch Preßluft oder der Verteilungsleitung direkt entnommenem Erdgas mit höherem Druck erfolgte, führte nicht zu befriedigenden Resultaten. Aus diesem Grunde wurde mit der Firma Körting in Hannover-Linden über den Bau eines Gasstrahlmischers gesprochen. Mit diesem Gerät sollte eine Vormischung von Erdgas und Luft erreicht werden. Der Gasstrahlmischer (Bild 5) besitzt eine Treibdüse, in der die Druckenergie des Erdgasstromes in kinetische Energie umgewandelt wird. Am Ende der Treibdüse ist der Anfangsdruck von etwa 300 mm WS soweit abgefallen, daß nach dem Prinzip einer Strahlpumpe Luft aus der freien Atmosphäre angesaugt werden könnte. In diesem Falle wird jedoch die Luft unter einem Druck von 200 mm WS zugeführt, wobei die Menge genau gemessen und in weiten Grenzen — in der Praxis zwischen 0,4 und 1,0 Nm³ Luft je Nm³ Erdgas — variiert werden kann. Es hat sich gezeigt, daß damit nicht nur eine Kontrolle der gesamten Verbrennungsluft gesichert ist, auch die Flammenlänge kann durch den wählbaren Anteil der Primärluft im Ofenraum sehr genau eingestellt werden, ohne daß die Flammenstrahlung zu stark beeinträchtigt wird.

Die Vormischung bewirkt also einen schnelleren Ausbrand. Dieser wird auch noch dadurch begünstigt, daß das Volumen des durch die Düse eintretenden Stromes pro Zeiteinheit etwa eineinhalb- bis zweimal so groß wird, für die Mischung des Erdgases mit der Sekundärluft also eine größere Oberfläche bei höheren Impulswerten zur Verfügung steht. Es ist gut vorstellbar, daß die rascher verlaufende Verbrennung für eine gewisse Methanspaltung noch genügt, daß aber dabei auch die Flammentemperatur ansteigt. Man arbeitet also mit einem erträglichen ϵ und einem genügend hohen T , wobei auch der Ausbrand noch im Oberofen erfolgt.

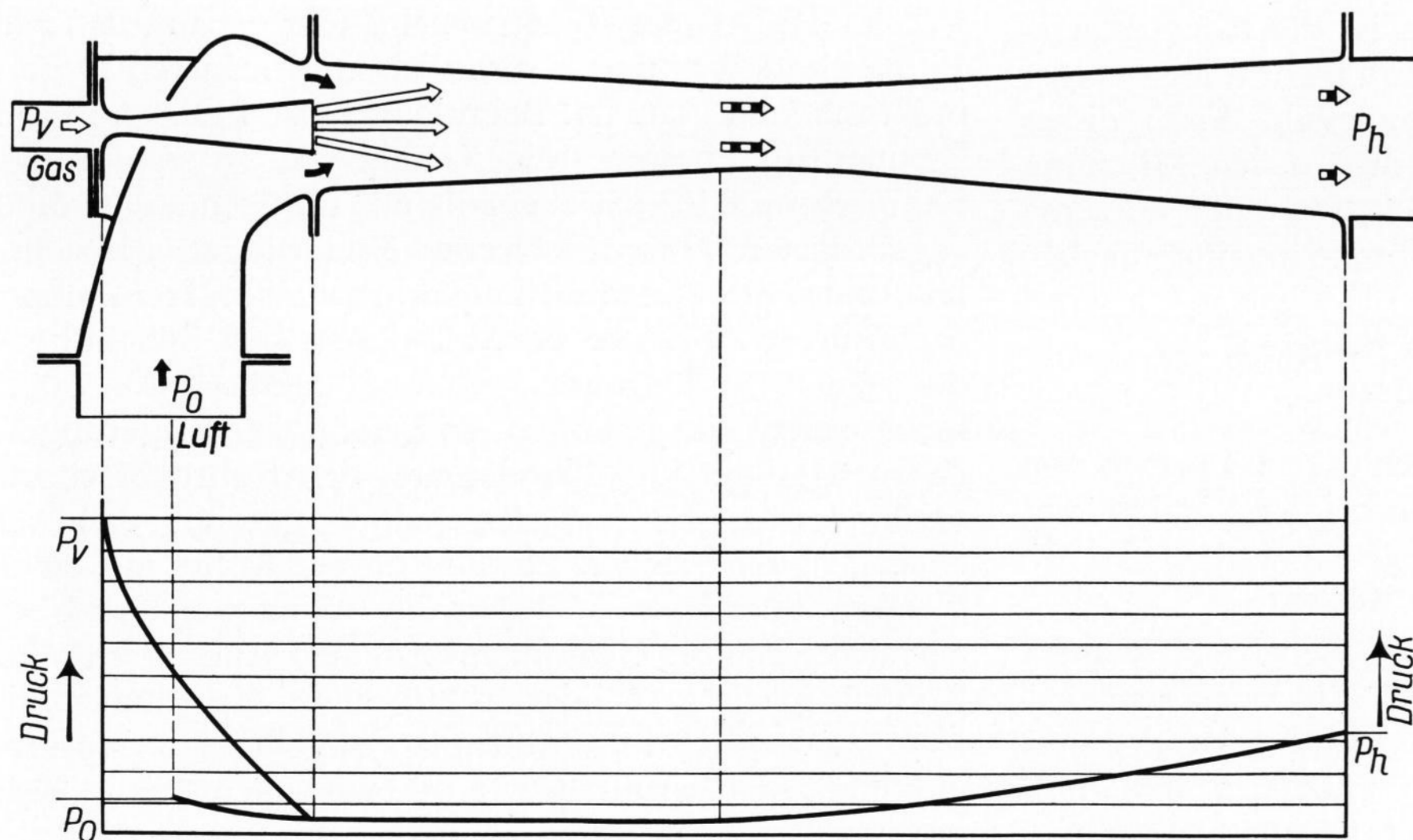


Bild 5. Gasstrahlmischer nach KÖRTING.

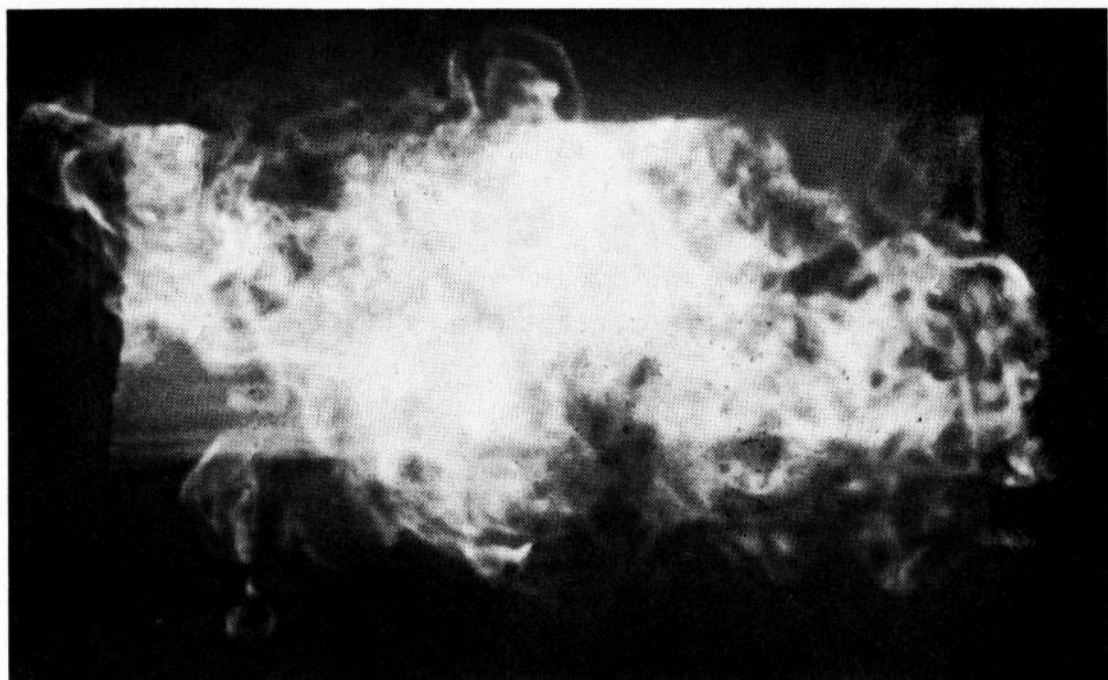


Bild 6. Flamme im Hafenofen ohne Primärluft-Zumischung, Blick in den Büttenschacht.

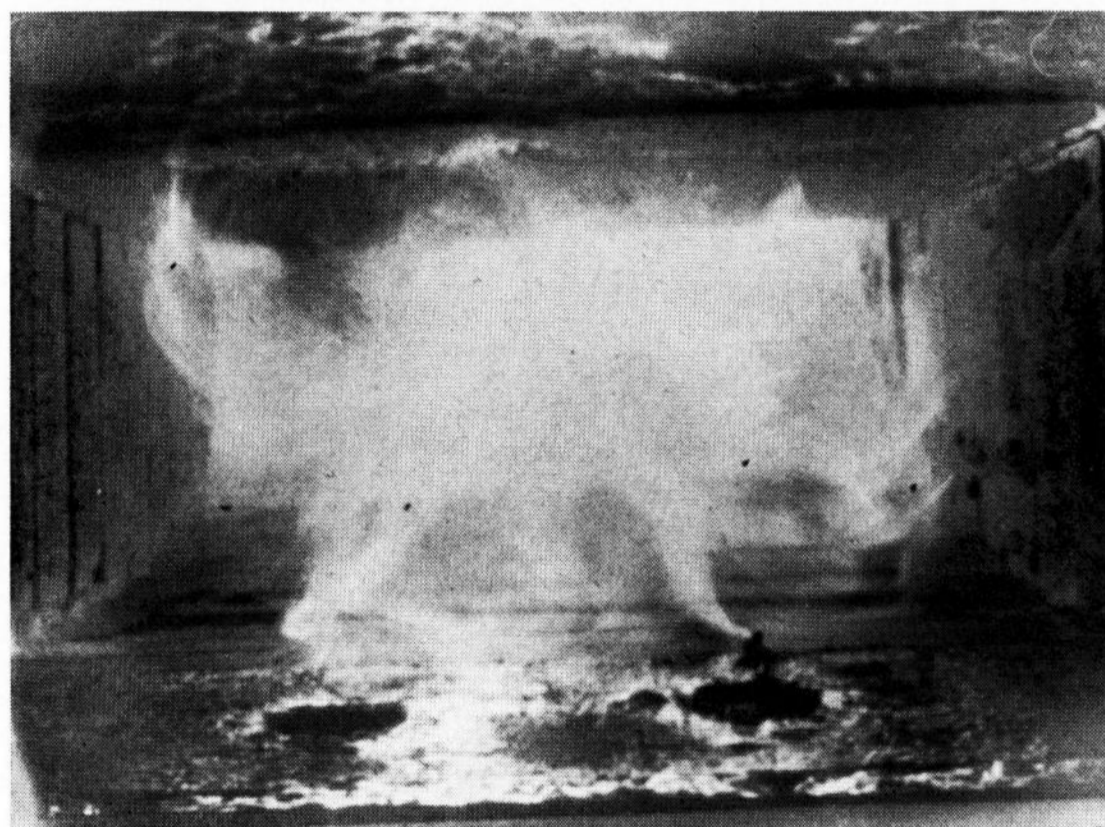


Bild 7. Flamme im Hafenofen mit Primärluft.

Ein Vergleich über den wärmewirtschaftlichen Erfolg, den die Vormischung gebracht hat, läßt sich leider nur an einer Wanne durchführen, da nur an dieser die Versuche ohne Primärluft vorgenommen worden sind. Der durchschnittliche Erdgasverbrauch pro Tag ist an dieser Stelle von 7200 auf 6800 m³ — also um gut 5% — zurückgegangen. Normal wird der Ofen mit einem Verhältnis von 0,4 Vol-Teilen Primärluft auf 1,0 Vol-Teile Erdgas betrieben. Im gemauerten Brennerteil werden dann noch 9,0 Vol-Teile Sekundärluft zugeführt.

3. Ergebnisse

An Hand von Bildern sollen nun die Flammen gezeigt werden, die sich bei verschiedenen Verhältnissen der Vormischung von Erdgas und Primärluft ergeben. Zu bemerken ist dabei, daß Öl- und Gasflammen bei Vergleichen untereinander in zwei Wannen, die geometrisch einander vollkommen entsprechen, aufgenommen sind. Leider liegen dabei — wie schon ausgeführt — die Erdgasflammen relativ hoch über dem Glasbad.

Die Aufnahmen im Hafenofen sind infolge der engen Platzverhältnisse nicht so aussagekräftig.

Die Helligkeit, mit der die Flammen im Film erscheinen, ist in gewissem Grad eine Aussage über die Strahlung, sofern die Belichtungszeiten gleich gehalten werden. Der Einwand, daß dabei aber das eigentlich wärmeabgebende Wellengebiet oberhalb 0,8 μm nicht erfaßt ist, bleibt natürlich bestehen.

a) Bild 6 ist im Brenner eines Hafenofens aufgenommen. Dem Erdgas ist keine Luft zugemischt. Es tritt aus zwei Öffnungen, die am unteren Bildrand zu sehen sind, in den Büttenschacht. Mit dem Winkelperiskop



Bild 8. Flamme in einem Einhafen-Ofen über dem Hafen.

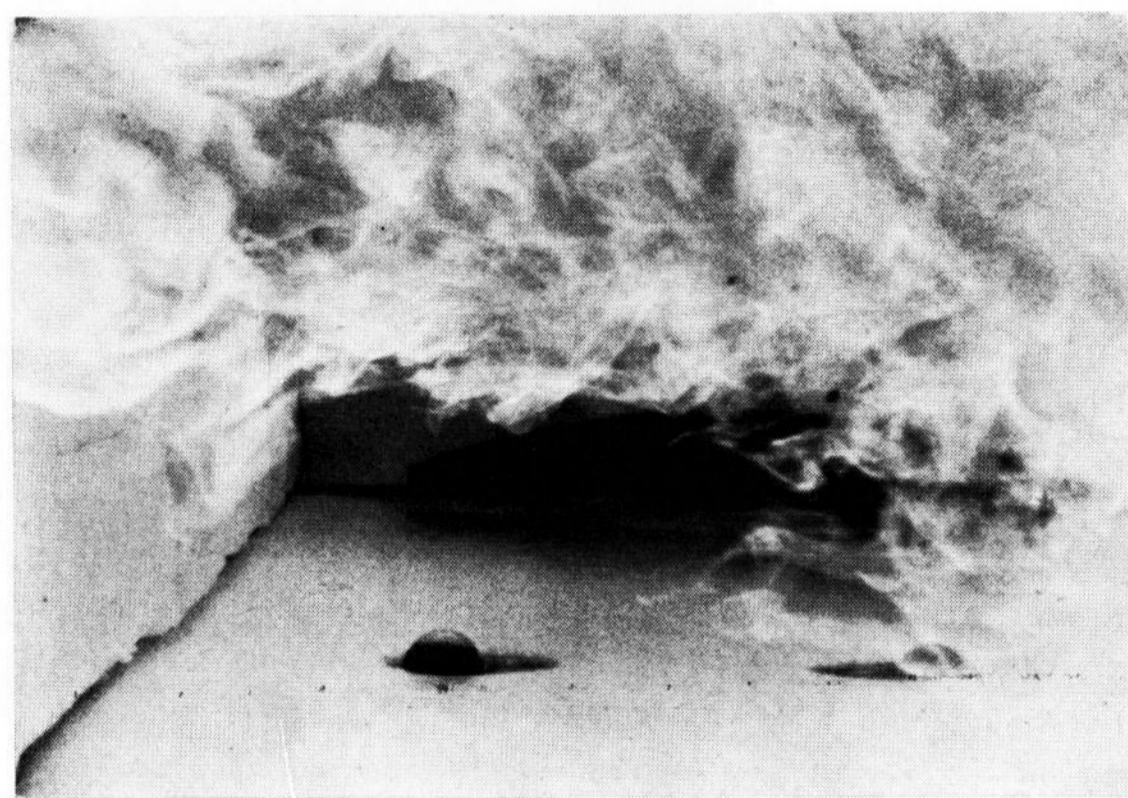


Bild 9. Flamme in einem erdgasbeheizten Wannnofen mit Primärluft-Zumischung (0,5 Vol-Teil Luft:1 Vol-Teil Gas).

wird von unterhalb der Eintrittsdüsen in den Ofenraum gesehen, der im Hintergrund des Bildes liegt.

b) Bei einem Gas:Primärluftverhältnis von 1:1 wird — wie es Bild 7 zeigt — die Flamme leuchtend und hängt nicht mehr im Schacht.

c) In Bild 8 erkennt man, daß die Flamme im Ofenraum ausreichend leuchtet und weich bleibt; sie erinnert an eine Generatorgasflamme. Die Aufnahme erfolgte vom Vorrichter aus über den Hafen, der rechts steht; sie dürfte etwas unterbelichtet sein, deshalb erscheint die Fläche so dunkel.

d) In ähnlicher Weise wird auch bei den Schmelzwannen der Ofenraum von einer weichen, aber leuchtenden Flamme ausgefüllt (Bild 9), wenn Gas:Primärluft im Verhältnis 1:0,5 vorgemischt werden.

e) Entlang der Brennerreihe gesehen (Bild 10) kann man schon an der Brennermündung voll entfaltete Flammen mit großer Schichtdicke feststellen. Sie liegen sehr hoch über dem Bad, da unterhalb der Bank noch die Öldüsen angeordnet sind.

f) In Bild 11 — durch den Brenner betrachtet — erkennt man, daß unmittelbar hinter den Eintrittsdüsen beim Verhältnis Gas:Primärluft wie 1:0,4 die Flamme sich voll entwickelt. Im inneren, dunkleren Kern dürfte die Karburierung vor sich gehen. Die Flamme erfüllt

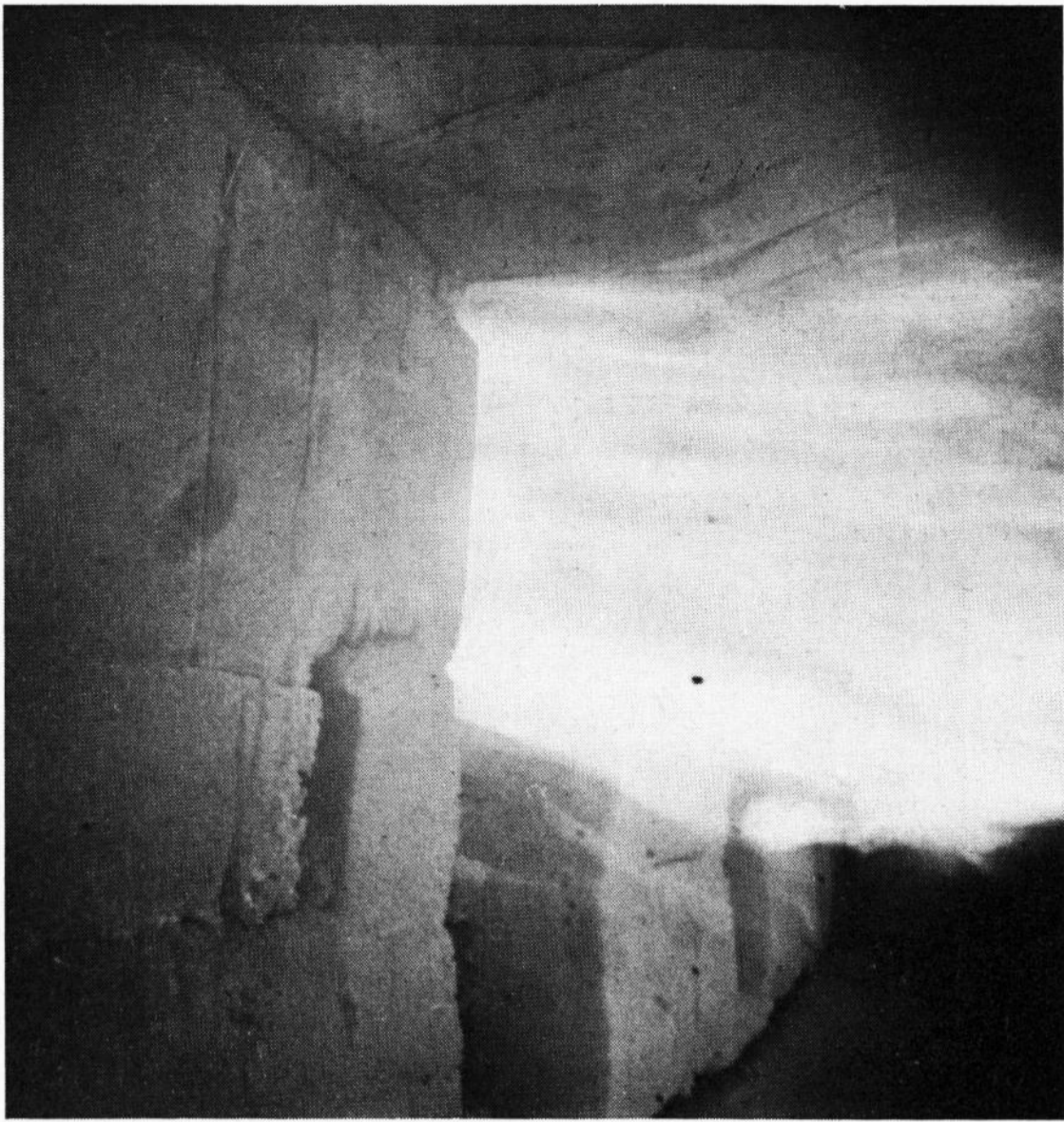


Bild 10. Blick entlang der Brennerreihe bei der Wanne aus Bild 9.

den ganzen Brenner, die Ränder — von Sekundärluft eingehüllt — beginnen heller zu strahlen.

g) Wird ohne Primärluft gearbeitet, so erfolgt eine träge Verbrennung, die wohl Ruß, aber keine hohen Temperaturen ergibt (Bild 12).

h) Umgekehrt kommt es bei einem Verhältnis von Gas:Primärluft wie 1:1 zu einer entleuchteten, kurzen Flamme. Man kann in Bild 13 die gegenüberliegende Wannenseite durch die „dünne“ Flamme hindurch gut erkennen.

i) Vom abziehenden Brenner her betrachtet, beobachtet man beim Verhältnis 1:0,5 eine leuchtende Flamme mit großer Schichtdicke, die noch nicht in den Abzug hineinreicht (Bild 14).

k) Bis in den Abzug qualmt die Flamme, wenn dem Erdgas keine Primärluft zugesetzt wird, wie es Bild 15 deutlich zeigt.

l) Zu kurz, wenig dick und entleuchtet wird die Flamme, wenn das Gas: Primärluftverhältnis den Wert 1:1 annimmt (Bild 16).

Zum Schluß zeigen zwei Bilder noch Ölflammen in einer geometrisch gleichen Wanne.

m) In Bild 17 sieht man die straffer im Ofenraum liegenden Flammen; sie füllen ihn etwa zu zwei Drittel, sind nicht so dick, leuchten aber stark.

n) Entlang der Brennerreihe gesehen erkennt man die wesentlich tiefere Lage der Ölflammen über dem Glasbad (Bild 18).

Abschließend sei Herrn Voss und Herrn MERGLER von der HVG für die Aufnahmen und die Hilfe bei den Vorbereitungen zu dieser Arbeit gedankt. Gleichfalls danke ich auch meinen Mitarbeitern in Grünenplan, besonders Herrn MOMBERG.



Bild 11. Blick durch den beaufschlagten Brenner bei Primärluft-Zusatz.

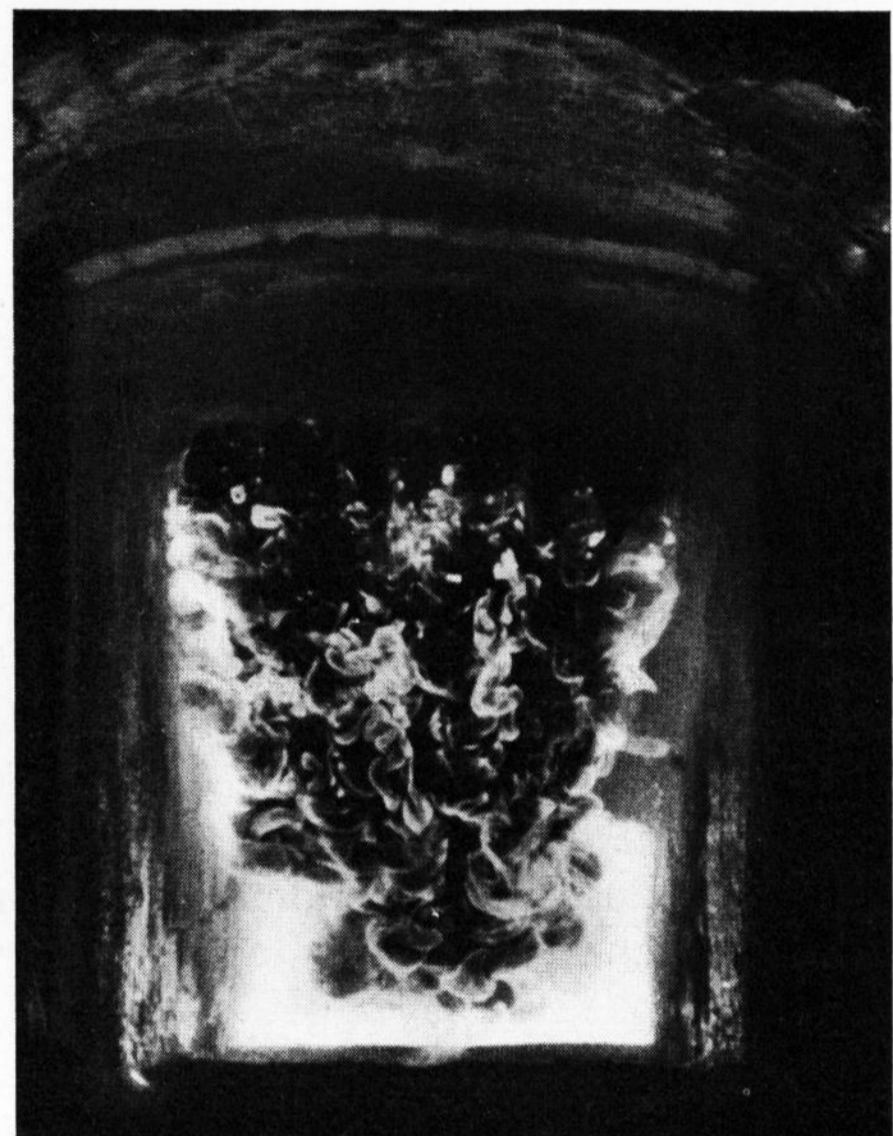


Bild 12. Gleiche Sicht wie Bild 11, jedoch ohne Primärluft.



Bild 13. Gleiche Sicht wie Bild 11, aber mit hohem Primärluft-Zusatz.



Bild 14. Blick durch den abziehenden Brenner gegen die sich mit Primärluft entwickelnde Flamme.

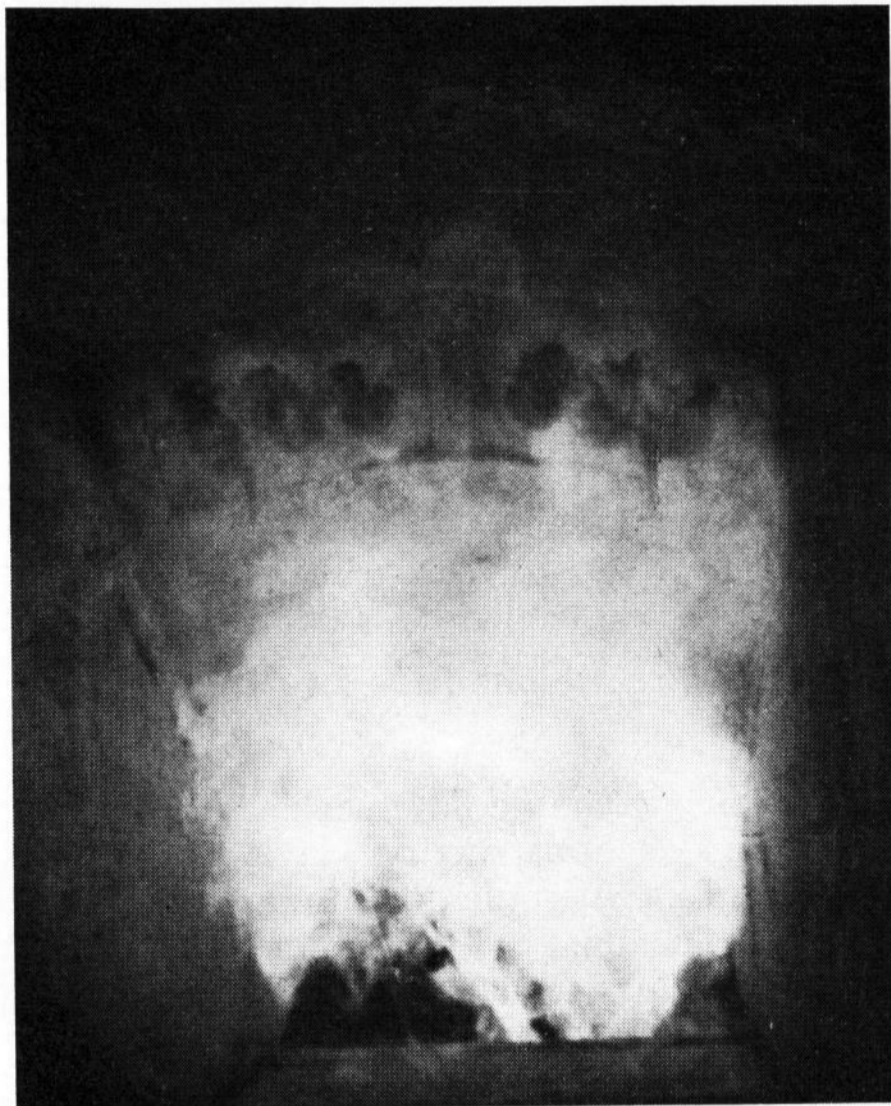


Bild 15. Gleiche Sicht wie Bild 14, jedoch ohne Primärluft.



Bild 16. Gleiche Sicht wie Bild 14, aber mit hohem Primärluft-Zusatz.



Bild 17. Mit Leichtöl beheizte Wanne.



Bild 18. Blick entlang der Ölbrenner.

4. Literatur

- [1] MEISTER, R.: Einsatz des Erdgases zur Beheizung von Glasschmelz- und Nebenöfen, für Abspeng- und Verschmelzbrenner. In: Erdgaseinsatz in Glashütten, HVG-Kurse 1970. Frankfurt (Main): Hüttentechnische Vereinigung der Deutschen Glasindustrie 1970.
- [2] PEPPERHOFF, W.: Temperaturstrahlung. Darmstadt: Steinkopff 1956.
- [3] GÜNTHER, R.: Strahlung von Erdgasflammen. Vortrag im FA II der DGG am 12. April 1967. [Ref. Glastechn. Ber. 40 (1967) S. 284.]
- [4] VEH, P. O.: Theorie und praktische Anwendung der Verbrennung des Ferngases mit leuchtender Flamme. Glastechn. Ber. 23 (1950) S. 117 - 125.
- [5] MICHELS, H.: Erdgasdüsen mit Druckluftzusatz zur Beheizung von Glasschmelzwannen. Glastechn. Ber. 40 (1967) S. 340 - 344.
- [6] FRAUENSCHILL, S.: Betriebserfahrungen bei Beheizung von Fensterglaswannen mit Erdgas. Glastechn. Ber. 40 (1967) S. 333 - 337.