

DK 662.611.25:662.612.3:666.1.031.2

Zur Frage des Sauerstoffeinsatzes in Glasschmelzöfen

Von RUDOLF MEISTER, Frankfurt (Main)

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

(Eingegangen am 21. Oktober 1968)

Zahlreichen Untersuchungen über den Sauerstoffeinsatz in der Stahlindustrie stehen nur wenige, vornehmlich Anfang der fünfziger Jahre durchgeführte praktische Versuche in der Glasindustrie gegenüber. Die Ergebnisse sind für damalige Verhältnisse beachtlich, sie beschränkten sich jedoch auf eine lokale Steigerung der Strahlungsintensität der Flammen und nutzten die Möglichkeit der zusätzlichen Erhöhung des Wärmeangebotes über die Steigerung des Brennstoffdurchsatzes der Brenner nicht aus. Unter Anlehnung an in Ijmuiden erzielte Ergebnisse scheint es möglich, besonders im Bereich des relativ kühlen und gut wärmeabsorbierenden Gemenges diesen Weg ohne für die Haltbarkeit des Feuerfestmaterials schädliche Folgen zu beschreiten. Über erste Versuche, die neben der Erprobung der Verfahrenstechnik die Untersuchung der Auswirkung des Sauerstoffzusatzes auf Flammenausbildung und Wärmeabgabe der Flammen zum Ziel hatten, wird berichtet. Der als Ausgangsbasis erfaßten Betriebsweise ohne Sauerstoffzusatz werden die Ergebnisse bei Sauerstoffzusatz ohne und mit verstärktem Brennstoffzusatz gegenübergestellt.

Die Entwicklung auf dem Gebiet der Bau- und Betriebsweise der Glasschmelzwannen innerhalb von 20 Jahren läßt sich am besten an der Gegenüberstellung der spezifischen Kenndaten für Schmelzleistung und Wärmeverbrauch beurteilen. In Wannen zur Erzeugung von Weißhohlglas stieg z. B. die spezifische Schmelzleistung von 1,0 bis 1,7 t/m² 24 h auf 2,0 bis 2,5 t/m² 24 h an, während gleichzeitig der spezifische Wärmeverbrauch von 2200 bis 3000 kcal/kg Glas auf 1300 bis 1800 kcal/kg Glas zurückging. Diese Steigerung der Wirtschaftlichkeit der Ofenanlagen ist hauptsächlich der Umstellung von der zu Anfang der fünfziger Jahre noch weit verbreiteten Beheizung mit Generatorgas auf Öl zu danken. Obwohl die damals durchgeführten Brenneruntersuchungen von GÜNTHER [1] ebenfalls dem Ziel dienten, das Wärmeangebot an die Schmelze über eine Steigerung der Energiedichte zu erhöhen und, bezogen auf die flammenbedeckte Badoberfläche (Brennerbreite × Wannenbreite), Energiedichten von $3 \cdot 10^5$ kcal/m² h erreicht wurden, ein Wert, der auch bei ölbeheizten Wannen selten überschritten wird, konnten die für die Wärmeübertragung an das Glasbad entscheidenden Strahlungseigenschaften der Ölflammen — Flammentemperatur und Emissionsgrad der Flammen — nicht erreicht werden. Die parallel gehende Entwicklung der feuerfesten Ofenbaustoffe, die eine Anhebung der Ofenraumtemperaturen bei gleichzeitiger Isolierung der Außenwandungen und über die Einführung des basischen Materials in den Regeneratoren eine über die Ofenreise nahezu gleichbleibend günstige Nutzung der Abgaswärme ermöglicht haben, sind zusammen mit der folgerichtigen Entwicklung im Ofenbau für die heute erreichten Leistungen verantwortlich.

In ihrer Betrachtung „neuer Tendenzen im Glasschmelzofenbau“ haben PLUMAT und Mitarbeiter [2] drei Möglichkeiten der Entwicklung im Glasschmelzofenbau in den Vordergrund gestellt, nämlich die Gemengevorwärmung, die Verwendung von Tauchbrennern und die elektrische Beheizung von Glasschmelzwannen.

Die Kombination von Gemengevorwärmung und Tauchbrennern an einer Versuchsanlage hatte beachtliche Steigerungen der Schmelzleistung und des Gesamtwirkungsgrades zur Folge, doch sind auf dem Weg der Entwicklung zur Betriebsreife noch viele Probleme zu lösen, zu denen die Entwicklung der Tauchbrenner und die Verminderung des Verschleißes der feuerfesten Ofenbaustoffe gehören, wenn ein über an-

nehmbare Zeit störungsfreier Betrieb erreicht werden soll.

Im Vergleich dazu hat sich die elektrische Beheizung der Glasschmelzöfen in Form der Zusatzbeheizung des Glasbades und der vollelektrischen Beheizung für spezielle Anwendungsfälle bereits durchgesetzt. Das Versuchsstadium kann hier als überwunden gelten, wenn auch die Entwicklung auf diesem Gebiet als noch voll im Fluß bezeichnet werden muß.

Der Vorteil der direkten Umwandlung der elektrischen Energie in fühlbare Wärme innerhalb der Schmelze unter Umgehung der mit der Brennstoffbeheizung anfallenden Abgaswärme und der für ihre Nutzung notwendigen Einrichtungen ist unbestritten. Die Entwicklung der vollelektrischen Anlagen geht, wie man der Literatur [3 bis 8] entnehmen kann, dahin, die Wärmeverluste einzuschränken, die Haltbarkeit der feuerfesten Baustoffe durch Beschränkung der spezifischen Schmelzleistungen auf maximal 3,0 t/m² 24 h auf eine angemessene Zeit sicherzustellen und eine weitere Steigerung der Schmelzleistung durch zusätzliche Brennstoffbeheizung oberhalb der Gemengedecke zu versuchen.

Wenn auch die elektrische Beheizung der Glasschmelzöfen außerordentlich verlockend ist, so kann doch nicht übersehen werden, daß die Stromerzeugung über Dampfkraftwerke mit einem Wirkungsgrad von nur 30% erfolgt, was sich im Strompreis niederschlägt. Noch immer kosten 1000 kcal aus Heizöl nur $\frac{1}{5}$ oder weniger als dieselbe Wärmeenergie über den elektrischen Strom. Berücksichtigt man außerdem, daß moderne Regenerativwannen unter günstigen Bedingungen bereits Gesamtwirkungsgrade von nahezu 50% erreichen, so wird deutlich, daß die Ölbeheizung immer noch wirtschaftlicher ist. Es scheint deshalb zweckmäßig, hier nach Verfahren zu suchen, die eine weitere Steigerung von Schmelzleistung und Gesamtwirkungsgrad der flammenbeheizten Glasschmelzöfen versprechen.

Eine über das bisher Erreichte hinausgehende Verbesserung läßt sich, wie die Erfassung des wärmetechnischen Verhaltens von Glasschmelzwannenöfen mit Hilfe eines Rechenmodells [9, 10] zeigt, durch die Steigerung der spezifischen Wärmeenergiebelastung der Glasbadoberfläche erreichen. Eine Steigerung ist, wie bereits durchgeführte Versuche erkennen lassen, durch den Einsatz von Sauerstoff zur Verbrennung auch in Glasschmelzwannen ohne Gefährdung des feuerfesten Materials zu verwirklichen.

1. Veröffentlichungen über den Einsatz von Sauerstoff zur Verbrennung

Über den Einsatz von Sauerstoff in Siemens-Martin-Öfen gibt es bereits zahlreiche Veröffentlichungen. Einer zusammenfassenden Arbeit von BARTU und Mitarbeitern [11] kann man z. B. entnehmen, daß bei Einsatz von 35 Nm³ Sauerstoff/t Stahl eine Mehrerzeugung von nahezu 80 t Stahl/h erreicht wurde. Der technologische Prozeß der Stahlschmelze in SM-Öfen läßt sich jedoch nicht mit dem des Glasschmelzens vergleichen, da das Einschmelzen von Schrott und das Frischen der Schmelze unter wärmetechnisch günstigeren Voraussetzungen abläuft als die Gemengeschmelze und die Läuterung des Glases.

Der erste Versuch mit Sauerstoff an einer Glasschmelzwanne wurde 1948 in Frankreich [12] durchgeführt, er leitete eine Reihe von Untersuchungen ein, die bis zum Jahre 1952 gemeinsam von der Compagnie de Saint-Gobain und der L'air Liquide durchgeführt wurden. Über die Ergebnisse hat MICHAUD [13] anlässlich des IV. Internationalen Kongresses für Industrielle Heizung 1952 in Paris berichtet.

Drei Kurzzeitversuche in den Glaswerken Gravelle, Rantigny und Chalon-sur-Saône und ein über acht Wochen reichender Versuch im Glaswerk Cognac dienten der Erprobung der Versuchstechnik und der Untersuchung der erzielbaren Schmelzleistungssteigerung. Bereits bei diesen frühen Versuchen wurde der Einfluß der Lage der Sauerstoffdüsen nachgewiesen und ihrer Anordnung unter den Ölzerstäubern bzw. Gasdüsen der Vorzug vor der konzentrisch um die Brennstoffstrahlen liegenden O₂-Zufuhr gegeben. Der Langzeitversuch in

Cognac erbrachte eine Steigerung der spezifischen Schmelzleistung von 1,46 auf 2,33 t/m² 24 h, wobei der spezifische Brennstoffverbrauch von 0,31 auf 0,198 kg Öl/kg Glas sank. Es handelte sich um eine querbeheizte Wanne mit zwei Brennerpaaren, der O₂-Zusatz wurde auf das im Gemengebereich liegende 1. Brennerpaar beschränkt. Dabei konnte eine Absenkung der Gewölbetemperatur um 100 grd beobachtet und daraus eine Steigerung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades abgeleitet werden. Angaben über die Abgas- und Luftvorwärmtemperaturen fehlen. Die mit diesen Versuchen erreichte Steigerung der Schmelzleistung einer Anlage um 60% mit einem nur geringfügigen Brennstoffmeherverbrauch (2,3%) ist bemerkenswert im Vergleich zu den zu jener Zeit allgemein erreichten Leistungen. Der Sauerstoffbedarf lag bei 0,044 Nm³/kg Glas.

Man darf jedoch nicht übersehen, daß sich die Ausgangsbasis für die Sauerstoffanwendung in Glasschmelzöfen inzwischen durch die Weiterentwicklung der Glasschmelzwannen sehr stark verschoben hat. Auch ohne Sauerstoffeinsatz werden spezifische Schmelzleistungen von 2,0 bis 2,5 t/m² 24 h erreicht, und statt mit 3000 kcal/kg Glas arbeitet man mit einem spezifischen Wärmeverbrauch, der um die Hälfte niedriger liegt. Es ist jedoch zu vermuten, daß sich auch diese Verhältnisse durch die Zugabe von Sauerstoff lokal stark verbessern lassen. Entsprechende Versuche werden jedoch dadurch erschwert, daß man sich dabei einem Temperaturniveau nähert, das bereits als kritisch für die Beständigkeit der feuerfesten Baustoffe angesehen werden muß. Hier bietet das Verfahren, den Sauerstoff zwischen Flamme und Bad einzuführen, zweifellos einen erfolgversprechenden Ausweg. Es ist das Verdienst der „Internationalen Stiftung zur Erforschung der Flammenstrahlung“ in Ijmuiden, die Änderung des Verbrennungsablaufes und der für die Wärmeübertragung verantwortlichen Eigenschaftswerte abhängig von der Art der Sauerstoffzufuhr an Öl- und Gasflammen unter definierten Verhältnissen an einer Versuchsbrennstrecke untersucht zu haben.

Über die Ergebnisse wurde von KISSEL und MICHAUD [14], BEÉR und LEE [15] und CHEDAILLE [16, 17] berichtet. Von besonderem Interesse sind die Versuchsergebnisse, die den Einfluß der Anordnung der Sauerstoffdüse bzw. des Einmischens des Sauerstoffs in die Verbrennungsluft im Vergleich zur Verbrennung ohne Sauerstoffzusatz erkennen lassen.

Bild 1 zeigt den Verlauf der maximalen Flammentemperatur und der maximalen Flammenstrahlung längs der Flamme nach KISSEL und MICHAUD [14]. Die Größe d gibt den Abstand der Sauerstoffdüse zum darüberliegenden Heizölzerstäuber an. Für $d = 0$ wird der Sauerstoff aus einer konzentrisch um die Zerstäuberdüse angeordneten Sauerstoffdüse eingeführt mit einer die Verbrennungsgeschwindigkeit stark steigernden Wirkung. Mit zunehmendem Abstand d verschiebt sich das Maximum der Gastemperatur und der Flammenstrahlung erwartungsgemäß zu größeren Abständen vom Brenner. Die Zufuhr reinen Sauerstoffs ist wirkungsvoller als seine Zumischung in die Verbrennungsluft. Gegenüber der nur mit Verbrennungsluft brennenden Heizölflamme liegt die maximale Gastemperatur um etwa 400 grd höher, die Flammenstrahlung erreicht im Maximum in 2 m Abstand vom Brenner für 14,5 cm Abstand der O₂-Düse vom Ölzerstäuber fast den doppelten Wert. Die höhere Gastemperatur der mit Sauerstoff-

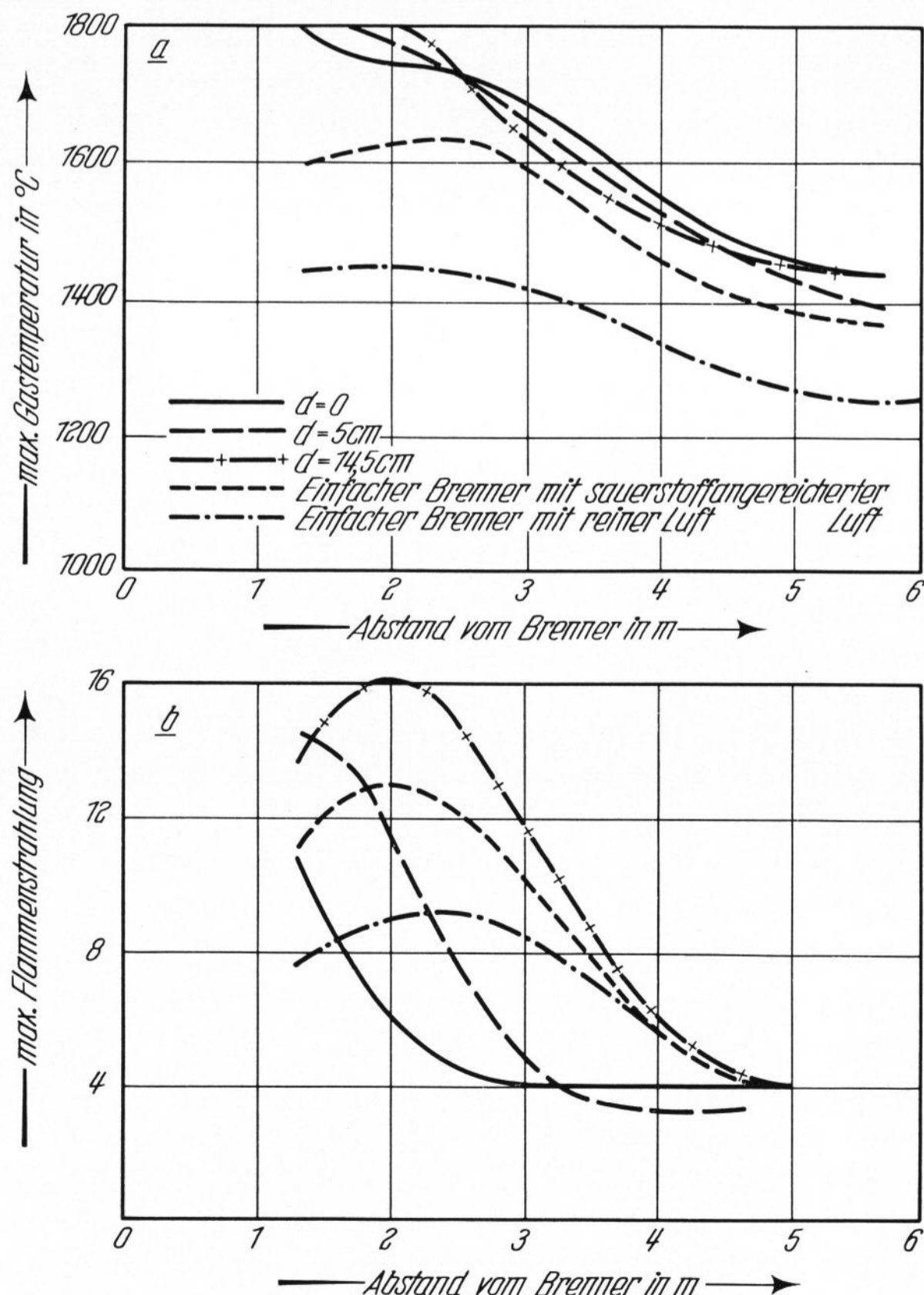


Bild 1. Maximale Gastemperatur (a) und maximale Flammenstrahlung (b) in Abhängigkeit vom Abstand der O₂-Düse nach KISSEL und MICHAUD [14].

zusatz brennenden Flammen gegen das Flammenende hin zeigt jedoch, daß die erhöhte Flammenstrahlung in der Versuchsbrennstrecke nicht ausgenutzt wird, sondern z. T. über die Eigenstrahlung der Wände und die an ihnen reflektierte Flammenstrahlung an die Flamme zurückfließt.

Die zusätzliche Wirkung der Sauerstoffzufuhr unter die Flamme liegt aber, wie Bild 2 erkennen läßt, in der Erzeugung unsymmetrischer Flammen mit einem relativ heißen über dem Wärmgut liegenden und einem relativ kalten etwa oberhalb der Brennerachse liegenden Teil. Auch hier zeigt sich, daß der Abstand der Sauerstoffdüse zur Ölzerstäuberdüse einen erheblichen Einfluß auf die beobachtete Asymmetrie der Flammen besitzt.

2. Übertragung der Versuchsergebnisse auf die Verhältnisse in einer Glasschmelzwanne

Ebenso wie in Ijmuiden ist nur eine Anreicherung des O₂-Gehaltes der Verbrennungsluft auf 30% in Betracht zu ziehen. Hierzu sind 7,5 Nm³ Luft/kg Öl über die Kammern zuzuführen, entsprechend einer Luftüberschußzahl $\lambda = 1,0$. Bei pneumatischer Zerstäubung des Öls werden ohnedies etwa 3 bis 5% der Verbrennungsluftmenge über die Zerstäuberluft zugeführt, so daß sich ein ausreichender Luftüberschuß ergibt. Bei der weitverbreiteten Anordnung der Zerstäuber in einer Stufe der Brennerbank dient der üblicherweise eingestellte Luftüberschuß von 10 bis 20% der Sicherstellung des Ausbrandes in den badnahen Bereichen der Flamme. Einer O₂-Anreicherung auf 30% entsprechen 0,85 Nm³ O₂/kg Öl, die, zwischen Brennstoffstrahl und Badoberfläche eingeführt, einen Luftüberschuß überflüssig machen, da der für die Verbrennung benötigte Sauerstoff zu 62% aus der Verbrennungsluft und zu 38% (im badnahen Bereich) aus den O₂-Düsen stammt.

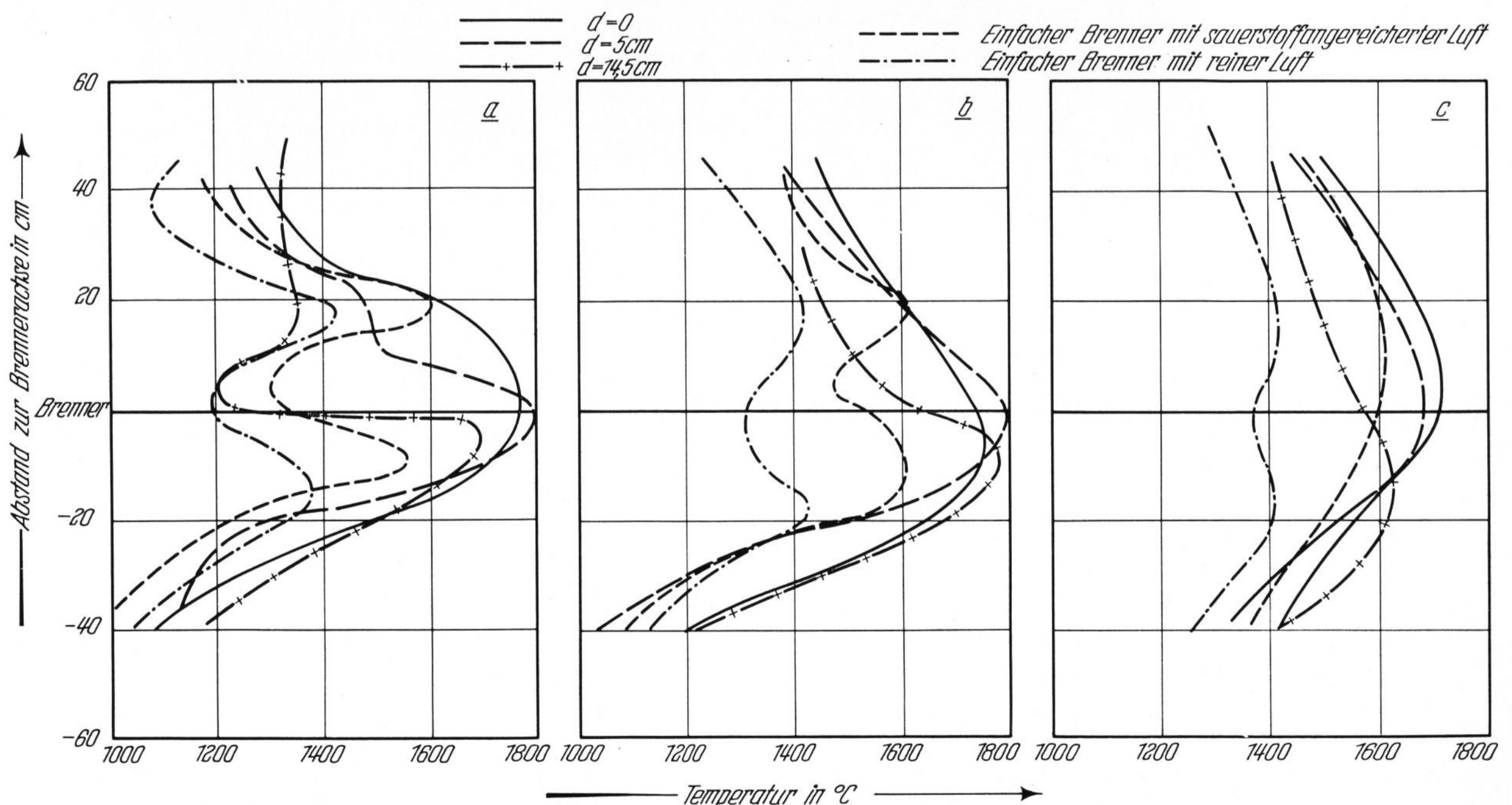
Die zuvor erwähnten Versuchsergebnisse geben als optimale Lösung für die Anordnung der Sauerstoffdüsen einen Abstand von 14,5 cm an. Für den prak-

tischen Versuch in einer Glasschmelzwanne kann dies nur als Anhalt dienen. Der günstigste Abstand und der Winkel zwischen Zerstäuber und O₂-Düse werden vermutlich so bemessen, daß der Sauerstoffstrahl erst in etwa 1 m Abstand vom Zerstäuber in den Brennstoffstrahl eindringt.

Schwer vorherzubestimmen ist die tatsächliche Zunahme der Flammenstrahlung durch den Einfluß der Sauerstoffzugabe. Die Strahlungswärmeübertragung in einem bestimmten Abschnitt des Verbrennungsraumes ist durch die Temperaturen und Emissionsgrade der Flamme, des Bades und des Gewölbes sowie durch die Geometrie von Flamme und Umgebung festgelegt. Selbst die vergleichende Berechnung zwischen einer mit und ohne O₂-Zusatz brennenden Flamme ist so kompliziert, daß zahlreiche vereinfachende Annahmen getroffen werden müssen.

Eine derartige vergleichende Berechnung muß sich auf den Verlauf der Flammentemperatur unter Bezug auf die in Ijmuiden ermittelten Daten (Bilder 1 und 2) unter Berücksichtigung der Vorwärmung der Verbrennungsluft auf z. B. 1000 °C stützen. Aus optischen Messungen der maximalen Flammentemperatur und der Temperatur der Abgase am abziehenden Brenner mit dem Absaugethermoelement läßt sich unter Beachtung der Verbrennungscharakteristik der Ölfammen der Temperaturverlauf der ohne Sauerstoffzusatz in einer Glasschmelzwanne brennenden Ölfamme abschätzen. Sehr viel unsicherer ist die Abschätzung des Temperaturverlaufes für eine mit Sauerstoff brennende Ölfamme im Glasschmelzofen, und man ist deshalb zu besonders vorsichtigen Annahmen gezwungen. Sie bestehen z. B. darin, daß man die in Ijmuiden gemessene Temperaturerhöhung von 400 grd im Gemengebereich einer Glasschmelzwanne nur als zur Hälfte realisierbar annimmt.

Ebenso unsicher ist die Annahme des Verlaufs für den Emissionsgrad ϵ_F der Flammen mit und ohne Sauerstoffzusatz, und man muß sich auch hier auf die in Ijmuiden ermittelten Ergebnisse stützen.



Bilder 2a bis c. Gastemperaturverteilung in der vertikalen Ebene durch die Brennerachse bei verschiedenem Abstand zum Brenner nach KISSEL und MICHAUD [14],
a) 1,25 m, b) 2,00 m, c) 2,75 m.

Während über die Abhängigkeit des Emissionsgrades des Silikagewölbes von den Strahlungseigenschaften der Flamme (leuchtend oder nichtleuchtend) Meßergebnisse [18] vorliegen, fehlen diese für das einschmelzende Gemenge bisher. Wärmeflußmessungen in Glasschmelzwannen deuten jedoch darauf hin, daß im Gemengebereich ein sehr viel höherer Absorptionsgrad vorhanden ist als im Schaumbereich. Auf Grund der Ähnlichkeit im Aufbau zwischen verglasten Silikasteinen und einschmelzendem, in überwiegendem Maß aus Sand bestehendem Gemenge scheint es erlaubt, die für Silikasteine gemessenen Emissionsgrade auch für das Gemenge zu übernehmen.

Die größten Schwierigkeiten bietet aber unzweifelhaft die Berücksichtigung der geometrischen Verhältnisse, da Flammenabmessung und Flammenform sowie ihr Abstand zur Badoberfläche und zum Gewölbe den Strahlungswärmeaustausch entscheidend beeinflussen. Die Berücksichtigung der Geometrie der Flamme und ihrer Umgebung macht, wie die Modellbetrachtung des Strahlungswärmeaustausches zwischen Flamme und Bad [19] bereits zeigte, eine exakte Berechnung äußerst schwierig.

Um die sich daraus ergebenden Schwierigkeiten zu umgehen, wurde für eine Berechnung die für die Praxis nicht vertretbare Vereinfachung getroffen, daß die Flamme eine Abmessung von $2 \times 2 \times 6$ m, analog den Abmessungen der Versuchsbrennstrecke in Ijmuiden, besitzt und dabei an der Glasbadoberfläche und dem Gewölbe auf ihrer ganzen Länge anliegt. Die Flamme wurde für die Rechnung in sechs Würfel gleicher Länge unterteilt und jedem Würfel eine mittlere homogene Temperatur und Emissionsgrad aus dem über die Flammenlänge abgeschätzten Verlauf dieser Größen zugeordnet.

Mit diesen stark vereinfachten Annahmen läßt sich die von der Flamme an das Bad abgegebene Wärme aus der Bilanz der vom Glasbad absorbierten Flammenstrahlung, der von der Flamme absorbierten Eigenstrahlung des Bades und der an der Badoberfläche reflektierten Flammenstrahlung nach der Beziehung

$$q_{FB} = \epsilon_B C_s \left\{ \epsilon_F \left(\frac{\Theta_F}{100} \right)^4 - \left[\epsilon'_F \left(\frac{\Theta_B}{100} \right)^4 + \left(\frac{1}{\epsilon_B} - 1 \right) \epsilon_F \left(\frac{\Theta_F}{100} \right)^4 \right] \right\} \quad (1)$$

ermitteln (ϵ'_F = Absorptions- und Emissionsgrad der Flamme bei der Strahlungstemperatur des Bades).

Dieselbe Beziehung läßt sich analog für die Wärmeabgabe der Flamme an das Gewölbe aufstellen, um auch den Einfluß der Gewölbestrahlung auf das Bad zu berücksichtigen.

Während jedoch in der Praxis zwischen Flamme und Gewölbe ein Abstand eingehalten wird, der den direkten Strahlungsaustausch des Gewölbes mit dem Glasbad sicherstellt und damit eine Überhitzung des Gewölbes verhindert, kann das Gewölbe bei anliegender Flamme seine Wärme nur durch diese hindurch abgeben. Dieser Fall wird angenähert erreicht, wenn das Glasbad völlig von der Flamme bedeckt würde, also kein Zwischenraum zwischen den Flammen vorhanden wäre. Der in der Praxis vorhandene Abstand zwischen Flamme und Gewölbe ermöglicht den Strahlungswärmeaustausch des Gewölbes mit dem Bad aber auch dann durch die Flammenpartien geringeren Emissionsgrades, d.h. größe-

rer Durchlässigkeit, hindurch. Allerdings zeigt die Bildung von Streifen höherer Temperatur im Gewölbe von ölbeheizten Glasschmelzwannen [19], daß die Einstrahlung der Ölflammen an die darüber befindlichen Gewölbeartien diese auf eine verhältnismäßig hohe Gleichgewichtstemperatur zwischen Ein- und Abstrahlung erhitzt.

Bei anliegender Flamme ergibt die Rechnung maximale Gewölbetemperaturen, die bei Flammen ohne Sauerstoffzusatz etwa 1750°C , bei solchen mit Sauerstoffzusatz etwa 1900°C erreichen, d. h. den Schmelzpunkt des Silikamaterials bei weitem überschreiten. Die rechnerische Betrachtung dieses ungünstigsten Falles der anliegenden Flamme zeigt sehr deutlich, welche erhebliche Bedeutung dem ausreichenden Abstand zwischen Ölflamme und Gewölbe für die Praxis ganz allgemein und besonders für die Versuche mit Sauerstoffzusatz zukommt. Hierbei gewinnt die bereits in Ijmuiden erprobte Erzeugung „unsymmetrischer Flammen“ mit bevorzugt in Badnähe stärker strahlenden Zonen besonderes Gewicht.

Für die Betrachtung der von der Flamme an das Glasbad nach Gleichung (1) übertragenen Wärme sei noch auf den Einfluß des Emissionsgrades der Glasbadoberfläche hingewiesen. Bei dem quantitativ nicht bekannten, aber durch Wärmeflußmessungen belegten, die Wärmeübertragung hemmenden Einfluß der Schaumschicht wächst der Anteil der am Bad reflektierten Flammenstrahlung stark an, womit die Temperatur am Flammenende bzw. am Austritt aus dem Verbrennungsraum beträchtlich höher liegen muß als bei gemengebedeckter Badoberfläche. Um diesen Verhältnissen Rechnung zu tragen, wurde ein erster Versuch mit Sauerstoffzusatz an einer querbeheizten Glasschmelzwanne auf den Gemengebereich beschränkt.

3. Ergebnisse eines Versuches mit Sauerstoffzusatz zur Verbrennung an einer Hohlglaswanne

An einer nach fünf Betriebsjahren vor ihrer Löschung stehenden Hohlglaswanne mit vier Brennerpaaren wurde an den beiden ersten Brennerpaaren Sauerstoff zur Verbrennung zugesetzt. Jedes Brennerpaar war mit zwei Ölzerstäubern ausgerüstet. Zur Schonung der bereits stark angegriffenen Stirnwand über dem Einlegevorbau wurden nur der zweite Ölzerstäuber des ersten und am zweiten Brennerpaar beide Ölzerstäuber mit darunterliegenden Sauerstoffanlagen bestückt. Wegen des Zustandes der Wanne war es nicht möglich, den Abstand oder den Neigungswinkel zwischen Zerstäuber- und O_2 -Düsenachse zu verändern.

Für den Versuch wurde flüssiger Sauerstoff in Straßentankwagen angeliefert und in den Vorratsbehälter einer Kaltvergaseranlage mit nachgeschaltetem Verdampfer umgefüllt (Bild 3). Für den Versuchszeitraum von fünf Tagen waren $30\,000 \text{ Nm}^3$ Sauerstoff bereitzustellen.

Um eine Vergleichsbasis zu schaffen, wurden zunächst die für die wärmetechnische Beurteilung der Anlage notwendigen Messungen für den Betrieb ohne Sauerstoff und unmittelbar anschließend mit Sauerstoff durchgeführt.

Für die wärmetechnische Beurteilung wurden Ölverbrauch, Abgaszusammensetzung und -temperatur, Luftvorwärmung, Verlauf der Gewölbetemperatur und stichprobenweise die Temperatur der Brennereinfassungen festgehalten. Wegen der für jeweils vier Brenner

jeder Ofenseite gemeinsamen, nicht unterteilten Regenerativkammer war es nicht möglich, die Verbrennungsluftmenge an den mit O₂-Zusatz arbeitenden Brennern den für die Verbrennung günstigsten stöchiometrischen Verhältnissen anzupassen.

In Anlehnung an die in Ijmuiden verwendete Versuchstechnik war für die erste Stufe des O₂-Zusatzes eine Strahlgeschwindigkeit von ≈ 200 m/s vorgesehen worden. Bei einem Öldurchsatz von 124 kg/h und Zerstäuber waren der gewünschten Sauerstoffanreicherung auf global 30% O₂ entsprechend 100 Nm³ O₂/h und Düse zuzuführen. Die dabei erzeugten Flammen waren sehr kurz und stark strahlend. Um ein dadurch zu erwartendes ungleichmäßiges Abschmelzen des Gemenge Teppichs auszugleichen, wurde die Feuerstellung innerhalb von jeweils 15 min gewechselt.

Nach Erfassung der zu dieser Einstellung gehörenden wärmetechnischen Daten wurde nach zwei Versuchstagen die Eintrittsgeschwindigkeit der Sauerstoffstrahlen durch Verwendung von Sauerstoffdüsen größeren Durchmessers auf die Hälfte (≈ 100 m/s) reduziert. Hierdurch änderte sich das Flammenbild kaum, was vermutlich auf die Mischwirkung der mit Drallvorrichtungen ausgerüsteten Ölzerstäuber und auf das Auftreffen der Sauerstoffstrahlen auf Anhäufungen von abgeplatzttem feuerfestem Material auf der vorgelagerten Brennerbank zurückzuführen ist, welche die O₂-Strahlen in die darüberliegenden Brennstoffstrahlen ablenkten.

Als einzige Möglichkeit zur Verlängerung der Flammen und in Verbindung damit zur Steigerung des Wärmeangebotes blieb die Erhöhung des Öldurchsatzes. Im Einvernehmen mit der Geschäftsführung des betreffenden Glaswerks wurden die drei Ölzerstäuberdüsen jeder Ofenseite aufgebohrt und deren Öldurchsatz auf Kosten der übrigen Zerstäuber erhöht, ohne Veränderung des Gesamtölverbrauchs der Anlage. Damit ergab sich die in Tabelle 1 angegebene Verteilung auf die einzelnen Zerstäuber:

Tabelle 1. Öldurchsatz nach Aufbohren der Zerstäuberdüsen 2, 3 und 4

	Brennerpaar							
	I		II		III		IV	
Düse	1	2	3	4	5	6	7	8
Ölmenge kg/h	90	226	186	186	90	90	90	90
verändert um kg/h	-42	+94	+54	+54	-42	-42	-42	-42
verändert um %	-32	+71	+40	+40	-32	-32	-32	-32

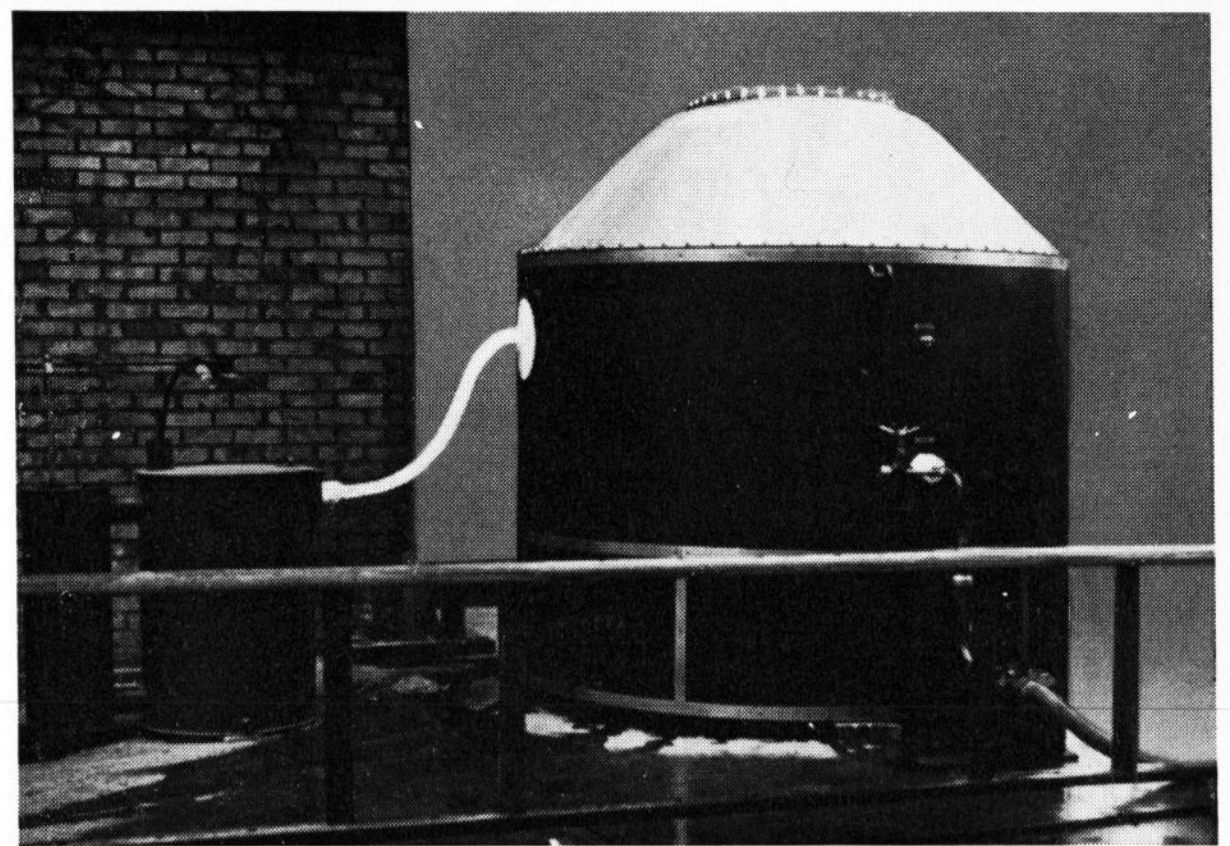
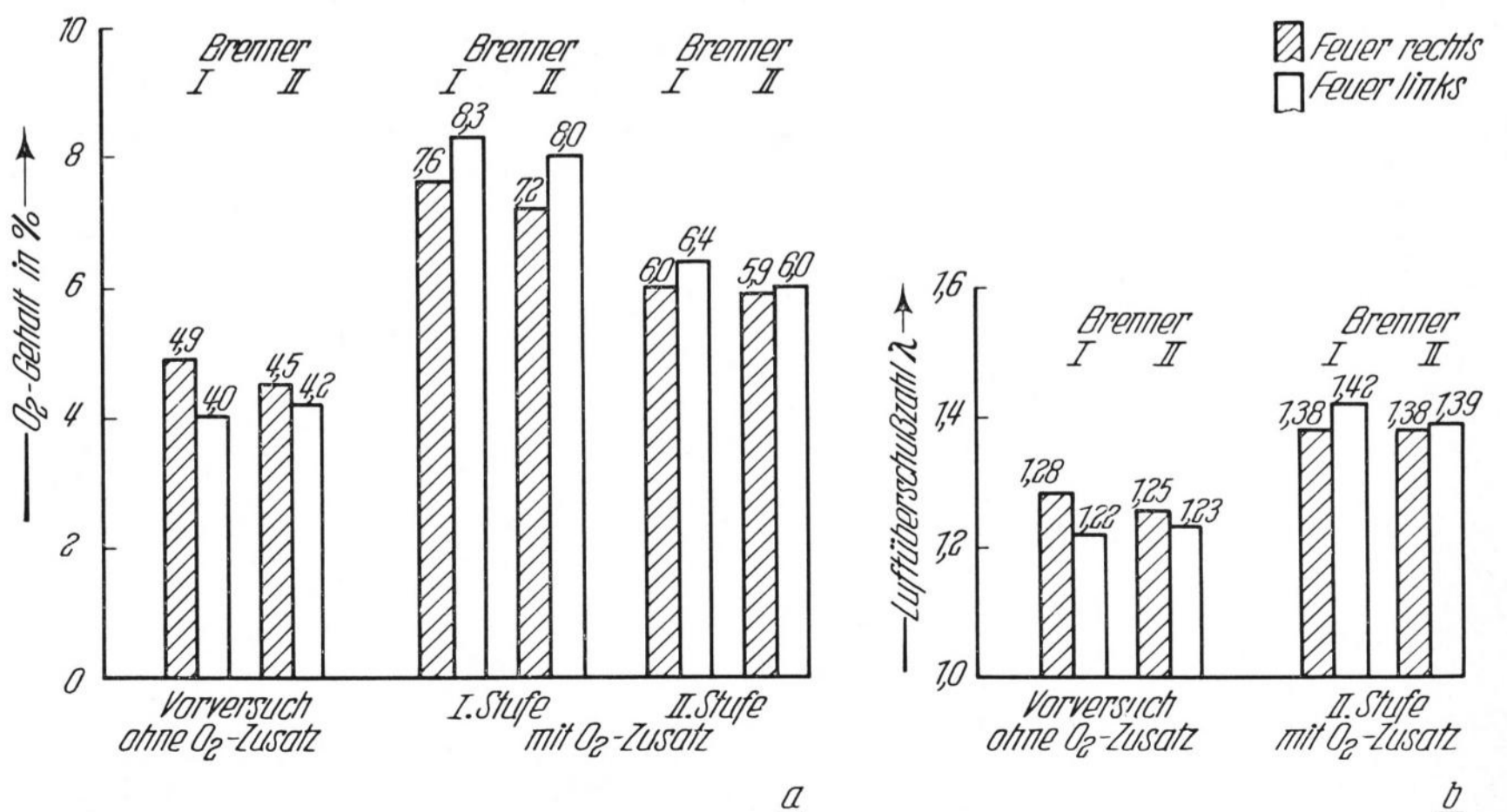


Bild 3. Kaltvergaseranlage mit nachgeschaltetem Verdampfer.

Die für die Aufstellung einer Wärmebilanz am ersten und zweiten Brennerpaar ermittelten Daten und Ergebnisse sind als Säulendiagramme in den Bildern 4 und 5 dargestellt.

Bild 4 zeigt den Sauerstoffgehalt im Abgas des abziehenden Brenners und den daraus berechneten Luftüberschuß. Der Luftüberschuß bei normalem Ofenbetrieb ohne O₂-Zusatz ist so eingestellt, daß die Flammen bei der gewählten Brennerbelastung im Verbrennungsraum gerade ausbrennen. In der ersten Stufe des O₂-Zusatzes ohne Erhöhung des Brennstoffdurchsatzes war der Luftüberschuß stark angestiegen, da der Gesamtluftanteil mit Rücksicht auf die Brenner III und IV bei ungeteilter Kammer nicht zurückgenommen werden konnte. Interessant ist der am ersten und zweiten Brennerpaar weiter erhöhte Luftüberschuß trotz Aufbohrens der Zerstäuberdüsen und Beibehaltung der am Wechsel zugeführten Verbrennungsluftmenge. Die Nachrechnung ergab, daß als Folge des höheren Strahlimpuls der Zerstäuberdüsen, verstärkt durch den Impuls der Sauerstoffdüsen, am I. Brennerpaar eine um etwa 30% und am II. Brennerpaar um 34% größere Luftmenge aus dem Sammelraum der Kammern angesaugt wurde. Diese Erscheinung deutet darauf hin, daß es auch bei gleichen Brennerquerschnitten und ungeteilten Kammern über den Strahlimpuls, d. h. die Belastung der Zerstäuber, möglich ist, eine gewisse Angleichung des Verbrennungsluftbedarfs an den an bestimmten Brennern erhöhten Öldurchsatz zu erzielen.



Bilder 4a und b. O₂-Gehalt im Abgas und daraus berechneter Luftüberschuß,
a) O₂-Gehalt, b) Luftüberschußzahl λ.

Für die Sauerstoffversuche erwies sich die verstärkte Verbrennungsluftbeaufschlagung als nachteilig, da sie als Ballast wirkt und den Abgasverlust erhöht, d. h. den feuerungstechnischen Wirkungsgrad herabsetzt.

In Bild 5 sind die durch den Sauerstoffzusatz veränderten Abgas- und Luftvorwärmtemperaturen zu erkennen. Sie sind in Nähe der Brennermündungen mit Absaugthermoelementen gemessen, die durch Öffnungen in den Brennergewölben eingeführt wurden.

Die Abgastemperaturen sind in mehrfacher Hinsicht aufschlußreich. Die Flammen des ersten Brennerpaares liegen über der noch fast geschlossenen Gemengedecke, im Bereich des zweiten Brennerpaares ist die Gemengefläche aufgelockert und bereits von größeren Schaumflächen durchsetzt. Aus dem Vergleich der am ersten und zweiten Brenner gemessenen Abgastemperaturen kann die erhebliche Bedeutung der Strahlungseigenschaften der Badoberfläche (siehe Abschnitt 3.) für die übertragene Wärme belegt werden.

Am ersten Brennerpaar wurde die Abgastemperatur mit 1430 °C bei Verbrennung ohne Sauerstoffzusatz ermittelt, sie fällt bei Sauerstoffzusatz ohne erhöhten Brennstoffdurchsatz um 40 grd ab und liegt nach Erhöhung des Brennstoffdurchsatzes am Zerstäuber 2 des ersten Brennerpaares (um über 70%) noch immer um 20 grd unter der Vergleichstemperatur von 1430 °C. Diese Senkung der Abgastemperatur wurde trotz Vergrößerung der Abgasmenge von 3490 Nm³/h auf 4380 Nm³/h, also um 25%, als Folge des hohen Luftüberschusses und der höheren Brennerbelastung erreicht. Sie ist nicht, wie eventuell zu vermuten ist, auf die Wirkung des Luftüberschusses zurückzuführen, durch den Flammen- und Abgastemperatur reduziert werden, da nach Bild 4 die Luftüberschuszahlen abhängig von der Feuerstellung an beiden Brennerpaaren wenig oder nicht voneinander abweichen. Auch am zweiten Brennerpaar müßte also eine Senkung der Abgastemperaturen zu erwarten sein, was nicht zutrifft.

Durch den Sauerstoffzusatz und die Erhöhung des Brennstoffdurchsatzes wurde nicht nur ein höheres Wärmeangebot erzielt, sondern auch eine bessere Aus-

nutzung dieser Wärme, d. h. eine anteilig gesteigerte Wärmeübertragung erreicht. Dies ist auch am feuerungstechnischen Wirkungsgrad

$$\eta_F = \frac{Q_0}{Q_z} \quad (2)$$

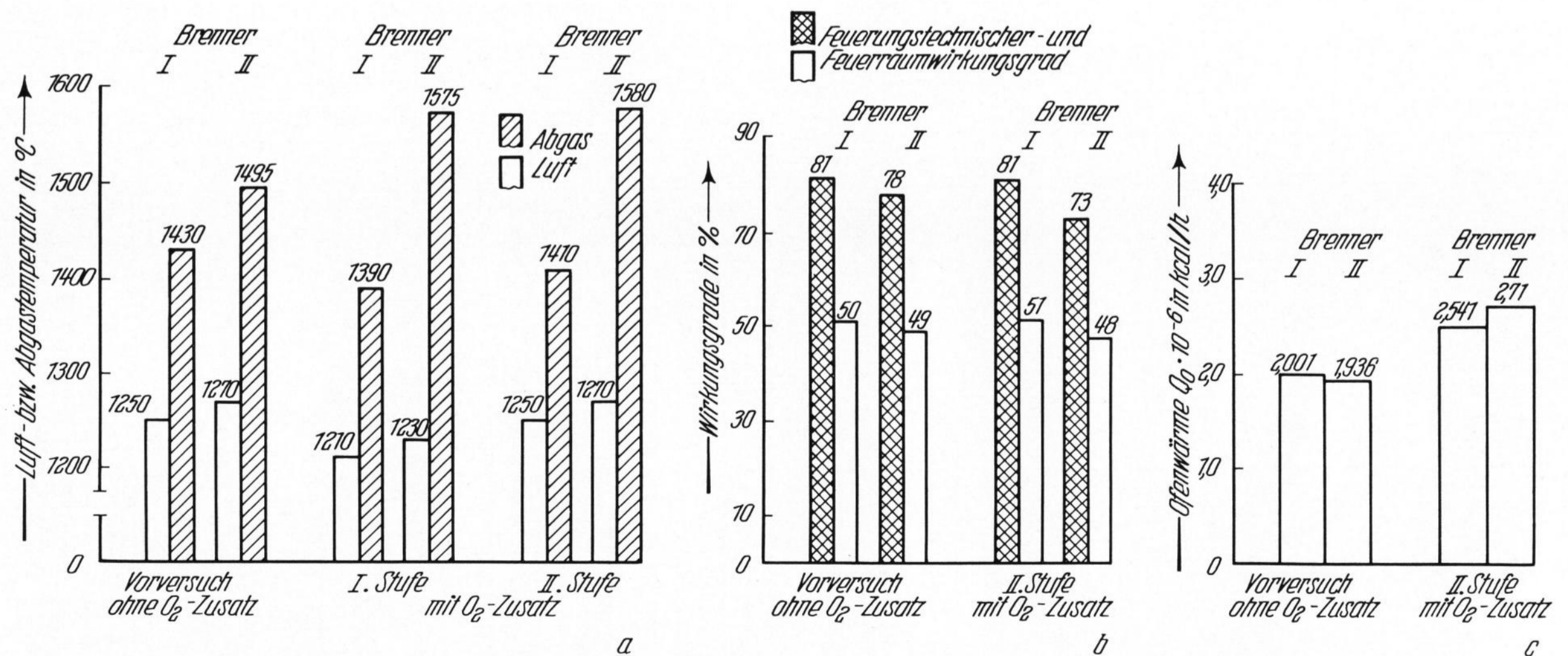
und am Feuerraumwirkungsgrad

$$\eta'_F = \frac{Q_0}{Q_z + Q_r} \quad (3)$$

nach Bild 5 zu erkennen, wobei Q_0 die im Ofenraum an Wärmegut und Wandungen abgegebene, Q_z die mit dem Brennstoff zugeführte und Q_r die durch Luftvorwärmung eingebrachte Wärme darstellen.

Der feuerungstechnische Wirkungsgrad blieb bei um 27% erhöhter Ofenwärme und um 25% erhöhter Abgasmenge konstant, der Feuerraumwirkungsgrad verbesserte sich sogar geringfügig. Dies ist ein außerordentlich wichtiges Ergebnis, da eine spürbare Steigerung der Brennerbelastung, d. h. der spezifischen Wärmebelastung der Badoberfläche im Bereich des Gemenges ohne Verschlechterung des feuerungstechnischen Wirkungsgrades möglich scheint.

Am zweiten Brennerpaar lag die Vergleichstemperatur (ohne O₂-Zusatz) mit 1495 °C bereits um 65 grd höher als am ersten Brennerpaar. Diese Differenz vergrößerte sich in der ersten Stufe des O₂-Zusatzes ohne gleichzeitige Erhöhung des Brennstoffdurchsatzes auf 185 grd bzw. auf 170 grd bei erhöhtem Brennstoffdurchsatz. Dabei muß man jedoch berücksichtigen, daß die Gemengegrenze im Vergleich zum Betrieb ohne Sauerstoff in Richtung auf den Einlegevorbau hin zurückging, da wegen des Produktionsprogramms lediglich eine Schmelzleistungssteigerung um 15% in Anspruch genommen wurde. Man muß somit annehmen, daß zunehmende Schaumflächen auf der Glasbadoberfläche die Wärmeübertragung behindern, was auch am Sinken des feuerungstechnischen Wirkungsgrades von 78 auf 73% erkennbar wird. Der nahezu gleichbleibende Feuerraumwirkungsgrad beruht darauf, daß der Anteil der Regenerationswärme im Vergleich zu Q_z kleiner geworden ist.



Bilder 5a bis c. Verbrennungsluft- und Abgastemperaturen, feuerungstechnischer und Feuerraumwirkungsgrad, Ofenwärme, a) Luftvorwärmung und Abgastemperaturen (Mittelwerte für beide Feuerstellen), b) feuerungstechnischer und Feuerraumwirkungsgrad, c) Steigerung der im Oberofen abgegebenen Wärme.

In diesem Zusammenhang sei noch auf die im Ofengewölbe zwischen Brenner III und IV gemessene Temperatur hingewiesen, die bei unveränderter Brennstoffbeaufschlagung der Brenner und O₂-Zusatz von 1520 auf etwa 1500 °C abfiel. Ursache ist die Verkürzung der Flammen im Gemengebereich durch die O₂-Zufuhr und der dadurch verstärkte Strahlungsaustausch zwischen Gemenge und Gewölbethermoelement. Auch der von MICHAUD [13] an einer Wanne mit nur zwei Brennerpaaren bei O₂-Zusatz am ersten Brennerpaar beobachtete Temperaturabfall um mehr als 100 grd am Gewölbethermoelement dürfte so zu erklären sein.

Neben den wärmetechnischen Daten gibt auch der optische Eindruck der Flammen einen Hinweis auf die verstärkte Strahlungsintensität. Außerdem konnte man die Änderung der Flammenabmessungen klar erkennen. Es wurde versucht, das Bild der Flammen fotografisch festzuhalten. Wegen der z. T. kleinen Öffnungen und der zu kleinen Brennweite des Objektivs der benutzten Kamera ist der Bildausschnitt z. T. ungünstig.

Bild 6 zeigt die Flammenentwicklung in Zerstäubernähe, beobachtet durch den Schlitz im Düsenstein. Der aus der obenliegenden Zerstäuberdüse austretende Brennstoffstrahl zeigt einen gleichmäßig hellen Flammensaum, was auf scharfe Mischung mit dem Sauerstoffstrahl (Flammendrall, Ablagerungen auf der Brennerbank) schließen läßt. Die Unebenheiten am Umfang der ungekühlten Sauerstoffdüse werden durch den abblätternden Belag aus Gemengestaub und Kupferoxid hervorgerufen.

Bild 7 zeigt den Blick gegen die am ersten Brenner der rechten Ofenseite eintretenden Flammen des ersten Zerstäubers (ganz rechts 90 kg Öl/h ohne O₂-Zusatz) und links daneben des mit O₂-Zusatz arbeitenden zweiten Zerstäubers (226 kg Öl/h). Die Flamme des um über 150% höher belasteten Zerstäubers brennt klar und ohne Rauchentwicklung, die des niedriger belasteten zeigt an der Unterseite und zum Einlegevorbau (rechter Bildrand) Rauchschwaden. Die optisch nach Abstellen des Feuers an den Düsensteinen gemessene Temperatur beträgt 1420 °C.

Bild 8 zeigt die bei O₂-Zusatz und bei um 40% gesteigertem Öldurchsatz sich entwickelnden Flammen der Zerstäuber 3 und 4 im Brenner II der rechten Ofenseite. Die Flammen sind verhältnismäßig kurz und brennen klar und rauchfrei.



Bild 6. Verstärkung der Verbrennung in Zerstäubernähe.

Es wurde außerdem versucht, die Flammen des ersten Brenners senkrecht zur Flammenachse durch die sehr nahe am Glasspiegel liegende Beobachtungsöffnung in der Stirnwand links neben dem Einlegevorbau aufzunehmen.

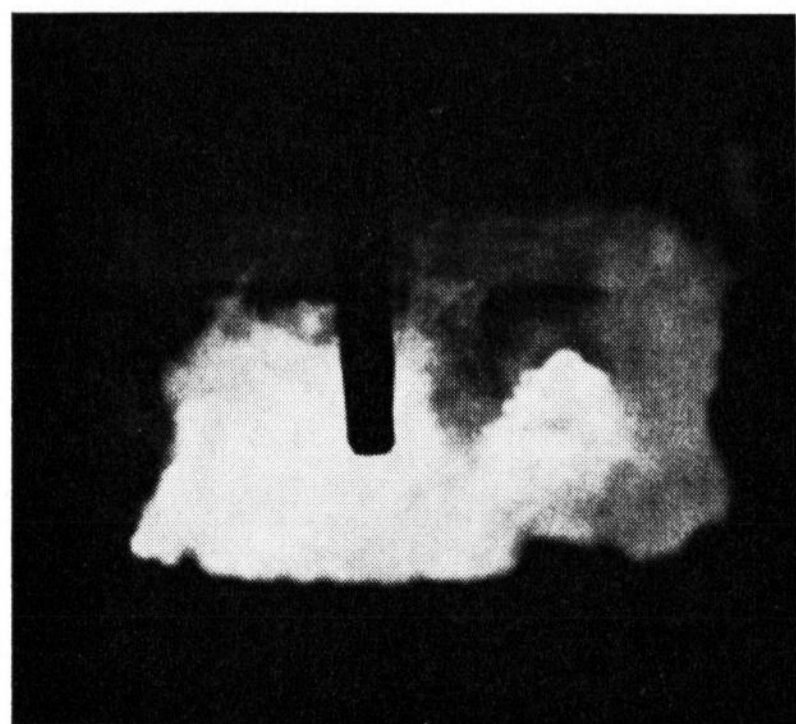
Bild 9 läßt deutlich sehr starke Temperaturunterschiede zwischen der nahe der Stirnwand und dadurch im Bild höher liegenden Flamme des Zerstäubers 1 — ohne Sauerstoffzusatz — und der dahinter-, d. h. im Bild darunterliegenden hellen Flamme am Zerstäuber 2 — mit O₂-Zusatz — erkennen.

In Bild 10 ist der Zerstäuber 1 zur Aufnahme abgestellt und die Flamme des Zerstäubers 2 mit Blick gegen die Brennermündung aufgenommen. Die Flamme brennt auch an ihrer Unterseite stark leuchtend und völlig rauchfrei. Feuerstellung ist für beide Aufnahmen links.

Die Temperaturen der dunkleren Zonen des Bildes 9 wurden mit dem Teilstrahlungs-pyrometer zu etwa 1650 °C, die der mit O₂-Zusatz brennenden Flamme zu etwa 1830 °C bestimmt. In beiden Fällen handelt es sich um schwarze Temperaturen, die abhängig vom unbekanntem Emissionskoeffizienten der Flammen bei der für die Messung benutzten Wellenlänge $\lambda = 0,65 \mu\text{m}$ um einen entsprechenden Betrag niedriger liegen als die wahre Flammentemperatur.

4. Folgerungen

Die Ergebnisse des beschriebenen Versuchs erbrachten verfahrenstechnische und wärmewirtschaftliche Un-



7)



8)



9)

Bild 7. Flammenbild, Brenner I, rechts.

Bild 8. Flammenausbildung, Brenner II, rechts.

Bild 9. Flammenausbildung von der Stirnwand her beobachtet, obere Partie Flamme ohne Sauerstoff, unterer Teil Flamme mit Sauerstoff.



Bild 10. Flamme am Zerstäuber 2 mit Sauerstoff bei abgestelltem Zerstäuber 1.

terlagen, die den Einsatz von Sauerstoff bei überlegtem Vorgehen ohne Schwierigkeiten möglich und lohnend erscheinen lassen. Die Beobachtung der Ofenraumtemperatur ließ erkennen, daß eine verstärkte Beanspruchung des feuerfesten Materials auch bei einer erheblichen Steigerung des Brennstoffwärmeangebots nicht zu befürchten ist, wenn die freigesetzte Verbrennungswärme an das einschmelzende Gemenge übertragen werden kann. Im Gegensatz zur in Ijmuiden beobachteten Erhöhung der Abgastemperatur bei unverändertem Brennstoffzusatz gelang es, trotz Steigerung der Wärmebelastung der Gemengeoberfläche von 320 000 auf 556 000 kcal/m² h und bei Vergrößerung der Abgasmenge um 25% die Abgastemperatur von 1430 auf 1390 °C zu senken. Über die Verkürzung der Flammen wurde auch der Strahlungswärmeaustausch zwischen Gewölbe und Gemenge verbessert, so daß auch die Gewölbetemperatur im Läuterbereich abnahm. Dennoch muß eine lokale Steigerung der Wärmeeinstrahlung auf das Gewölbe angenommen werden, da es nicht gelang, die maximale Strahlung der Flammen auf den Bereich in Badnähe zu konzentrieren. Sie führte deshalb nicht zur Überhitzung des isolierten Gewölbes, weil der zwischen Flamme und Gewölbe liegende Zwischenraum eine ungehinderte Abstrahlung des Gewölbes an das Gemenge zuließ.

Für die Fortführung der Versuche scheint es lohnend, den Einfluß der lokal veränderlichen Sauerstoffzuführung auf die Flammenstrahlung zu untersuchen und die bei optimalen Verhältnissen erreichbare Schmelz-

leistungssteigerung voll auszunutzen. Dabei ergibt sich die Notwendigkeit, die über der Produktionsleistung der Maschinen liegende, also überschüssige Glasmenge meßbar abzuziehen und abzutransportieren, was die Wahl kleinerer Anlagen mit entsprechend niedriger Ausgangsschmelzleistung erforderlich macht. Eine Schmelzleistungssteigerung um z. B. 100% würde bei einer 100 t-Wanne erhebliche zusätzliche Kosten für den Abtransport des ablaufenden Glases bringen. Hinzu kommt, daß mit dem verstärkten Glaszustrom in die Arbeitswanne deren Temperatur und die Temperatur am Eintritt in den Speiservorherd ansteigen und besondere Maßnahmen zur Kühlung notwendig werden.

Für die Fortsetzung der Versuche ist eine kleine U-Flammenwanne aus mehreren Gründen vorzuziehen. Dazu gehören: einfache Anpassung des Verbrennungsluftbedarfs, abhängig vom O₂-Zusatz, da nur ein Brennerpaar vorhanden, geringerer absoluter Brennstoffdurchsatz und damit O₂-Bedarf, Möglichkeit der Sauerstoffzugabe unter die Flamme in verschiedenem Abstand zum Brenner von den zugänglichen Seitenwänden her und einfachere Bestimmung der im Ofenraum abgegebenen Wärmemenge durch Kontrolle der Stoffströme und Temperaturen am ein- und abziehenden Brenner bei jeder Feuerstellung.

Eine Fortführung der Versuche in der skizzierten Form ist vorgesehen, um die verfahrenstechnischen und wärmewirtschaftlichen Unterlagen bereitzustellen, die zur Beurteilung der Bedeutung des Sauerstoffzusatzes zur Verbrennung in Glasschmelzöfen benötigt werden. Es ist zu hoffen, daß mit der erzielbaren Steigerung der Schmelzleistung durch den Einsatz von Sauerstoff nicht nur der Gesamtwirkungsgrad der Anlagen verbessert und damit die Schmelzkosten gesenkt werden können, sondern auch ein elastischerer, den wirtschaftlichen Erfordernissen leichter anzupassender Wannenbetrieb erreicht wird. Gegenüber der Elektroschmelze dürften sich bei höheren Schmelzleistungen wirtschaftliche Vorteile ergeben.

Die Versuche wurden mit Hilfe der Firma Messer Griesheim GmbH, Abteilung Industriegase, Düsseldorf, durchgeführt, die auch die für die Bereitstellung und Verteilung des Sauerstoffs benötigten Einrichtungen zur Verfügung stellte. Ihr sei auch an dieser Stelle besonders für die gewährte Unterstützung gedankt. Ebenso sei der Geschäftsführung der Glashütte Budenheim für die Bereitstellung der Glasschmelzwanne und der erforderlichen Ausrüstung und den Ingenieuren der HVG für ihren Einsatz bestens gedankt.

5. Literatur

- [1] GÜNTHER, R.: Brenneruntersuchungen. I. Bauformen der Generatorgasbrenner für Wannenöfen. II. Mischung und Verbrennung in Wannenofenbrennern. IV. Zusammenfassung der bisherigen Arbeiten — Vergleich zwischen Modell- und Betriebsuntersuchungen. Glastechn. Ber. **26** (1953) S. 53—60, 97—110; **27** (1954) S. 192 bis 198.
- [2] PLUMAT, E., ELOY, P., DUTHOIT, J. und BARBIER, J. C.: Neue Tendenzen im Glasschmelzofenbau. Glastechn. Ber. **40** (1967) S. 411—425.
- [3] CORNELIUS, Y. R.: Electric melting of glass. Glass Ind. **29** (1948) S. 71—72, 96, 98. [Ref. Glastechn. Ber. **22** (1948/49) S. 438.]
- [4] GELL, A.: Some observations on the design and operation of an all-electric glass melting furnace. Glass **33** (1956) S. 269—276. [Ref. Glastechn. Ber. **29** (1956) S. 444.]
- [5] BOREL, E.: La fusion électrique du verre en Suisse. In: O. Verf.: Symposium sur la fusion du verre, Bruxelles 6—10 octobre 1958. Comptes rendus. S. 657—675. [Ref. Glastechn. Ber. **33** (1960) S. 32.]
- [6] O. Verf.: All electric melting boosts quality, saves time and costs. Ceram. Ind. **74** (1960) S. 106—108. [Ref. Glastechn. Ber. **34** (1961) S. 229.]
- [7] PENBERTHY, L. und SCARFE, F.: All-electric melting of glass. Glass Ind. **40** (1959) S. 69—70, 96. [Ref. Glastechn. Ber. **35** (1962) S. 485.]
- [8] SCARFE, F.: The increasing use of electro-heat in glass-melting. VI. Internationaler Elektrowärme-Kongreß, 13. bis 18. Mai 1968 in Brighton, England, Bericht Nr. 201.
- [9] TRIER, W. und VOSS, H.-J.: Wärmetechnisches Verhalten von Glasschmelzwannenöfen. Glastechn. Ber. **41** (1968) Nr. 6, S. 217—229.
- [10] TRIER, W. und VOSS, H.-J.: Wärmetechnisches Verhalten von Glasschmelzwannenöfen. Teil II. Einfluß der Brennstoffverteilung auf den Wärmeverbrauch. Glastechn. Ber. **41** (1968) Nr. 12, S. 552—556.

- [11] BARTU, F., SCHWEGEL, J. und RANNER, M.: Der heutige Stand der Sauerstoffanwendung im SM-Ofen. Berg- und Hüttenm. Monatsh. **108** (1963) Nr. 5, S. 197–205.
- [12] BEAUSEIGNEUR, G. und MICHAUD, M.: Essais de sur-oxygénation de l'air dans les fours de verrerie. Verr. et Réfract. **2** (1948) S. 339–343. [Ref. Glastechn. Ber. **22** (1948/49) S. 372.]
- [13] MICHAUD, M.: L'utilisation d'oxygène pour la combustion dans les fours à flamme — Application aux fours de verrerie. In: IV. Congr. Intern. d. Chauff. Industr., Paris 1952, Groupe IV, Section 43, Nr. 124. [Ref. Glastechn. Ber. **26** (1953) S. 22.]
- [14] KISSEL, R. R. und MICHAUD, M.: International Flame Research Foundation: First experiments at Ijmuiden on the combustion of oil using oxygen. J. Inst. Fuel **35** (1962) S. 109–120. [Ref. Glastechn. Ber. **36** (1963) S. 413.]
- [15] BEÉR, J. M. und LEE, K. B.: First results of the Ijmuiden trial on the heat transfer from oxygen enriched oil and gas flames. Doc. Nr. K 20/a/10 of the Int. Flame. Res. Found., Ijmuiden, 21. Aug. 1963.
- [16] CHEDAILLE, J.: Injection d'oxygène pur dans les flammes de mazout. Doc. Nr. K 20/a/18, Found. de rech. intern. sur les flammes, Ijmuiden, 20. März 1965.
- [17] CHEDAILLE, J.: Experimental study of the influence on heat transfer of the injection of pure oxygen under industrial oil flames. Doc. Nr. K 20/a/28 of the Int. Flame Res. Found., Ijmuiden, 30. Dez. 1965.
- [18] NAESER, G. und PEPPERHOFF, W.: Die Strahlungseigenschaften von feuerfesten Steinen und Schlacken und deren Einfluß auf den Wärmeübergang. Stahl und Eisen **69** (1949) S. 325–328. [Ref. Glastechn. Ber. **22** (1948/49) S. 265.]
- [19] TRIER, W. und STEIN, A.: Vereinfachtes Rechenmodell des Wärmeaustausches durch Strahlung zwischen Flamme und bestimmten Punkten der Glasbadoberfläche in einem Glasschmelzofen. Glastechn. Ber. **38** (1965) S. 353–361. (48649)

DK 92 Neumann:666.1(234.545)(091):666.151.6:666.1.036.21(091):686.7(091):7.034(430).7

Balthasar Neumann und das Glasgebiet

Von GÜNTHER STEIN, Frankfurt (Main)

(Erweiterte Fassung eines Vortrages auf der 42. Glastechnischen Tagung am 16. Mai 1968 in Würzburg)

(Mitteilung aus der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft, Frankfurt (Main))

(Eingegangen am 9. August 1968)

Die Glasanwendung spielte im baufreudigen Barock eine besondere Rolle. Dem Streben nach Effekt und Illusion kamen bestimmte optische Glaseigenschaften besonders entgegen, wie z. B. Spiegelkabinette beweisen.

BALTHASAR NEUMANN nutzte als Architekt die Glasanwendung, als Ingenieur wandte er sich auch der Glasherstellung zu und führte eine Glashütte im Steigerwald zu großer Blüte. Im Mittelpunkt der Erzeugung stand das nach dem Mondglasverfahren hergestellte Flachglas. Das Schleichacher Mondglas erlangte besondere Berühmtheit.

Auf der 42. Glastechnischen Tagung in Würzburg nahm die Deutsche Glastechnische Gesellschaft im Rahmen der Öffentlichen Sitzung des Fachausschusses V Gelegenheit, BALTHASAR NEUMANNs, des bedeutenden Architekten des Spätbarocks, zu gedenken. Diese Reverenz galt weniger dem künstlerischen Gesamtschaffen dieses „technischen Genius des Frankenlandes“ als vielmehr dem Wirken des Glashüttenpächters BALTHASAR NEUMANN (Bild 1).

Den speziellen Kennern und kunsthistorischen Forschern bedeutet die Tatsache, daß er auch eine Glashütte im Steigerwald geleitet hat, zwar kaum etwas Neues, aber im Rahmen seines umfangreichen künstlerischen Gesamtwerkes letzten Endes nur eine Randerscheinung [1, 2 und 3]. Im heimatgeschichtlichen Schrifttum früherer [4] und neuerer [5] Zeit ist das Thema gelegentlich erörtert oder wenigstens gestreift worden. Doch ist diesem Schrifttum im allgemeinen nur eine lokal begrenzte Ausstrahlung beschieden. Um so dankenswerter war es daher, daß vor wenigen Jahren WERNER HÜBSCHMANN die infolge der kriegsbedingten Archivverluste erschwerte Forschung über BALTHASAR NEUMANN und seine Glashütte im Steigerwald wieder aufgegriffen und eine breitere Öffentlichkeit darüber unterrichtet hat [6].

Von technikgeschichtlichem Interesse ist es, daß es sich bei dieser Steigerwaldhütte im wesentlichen um eine Mondglashütte handelte [7], die zu NEUMANNs Zeit und nochmals im 19. Jahrhundert eine Hochblüte erlebte, als sich die Mondglasherstellung als Flachglasverfahren gegenüber der Fabrikation des Zylinder- oder Walzen-

glases, ferner gegenüber dem Spiegelgußverfahren auf dem europäischen Kontinent auf dem Rückzug befand.

Im folgenden soll erläutert werden, welche Motive dem Interesse BALTHASAR NEUMANNs an der Glasherstellung und an der Glasanwendung zugrundelagen.

1. Das Barock und die Stellung des Flachglases

Zur Zeit des Barocks herrschte, nicht zuletzt an den Fürstenhöfen, eine große Bauleidenschaft [8]. Außer den großen Fürsten ließen vor allem die kleineren Potentaten Schlösser bauen, die sich durch reiche Raumphantasie auszeichneten. Diese Duodezfürsten träumten sich gleichsam in einer gewissen Selbstverzauberung in gewaltige Machtdimensionen hinein.

Es gehört zum Wesen des Barocks, in freispielender Phantasie den Effekt der Verblüffung und Überraschung zu suchen. Der gesamte Bau wird gleichsam in eine auf-rauschende, mit Kräften geladene Bewegung versetzt. Im Spätbarock läßt sich eine Auflösung der Monumentalität des Hochbarocks beobachten, die sich in eine Überfülle von Formen und Ornamenten wandelt. Die Teilräume stehen in einem vielverspannten Verhältnis zum Hauptraum und verursachen die Illusion, daß er aus dem Begrenzten herauswächst und gleichsam den unbegrenzten Raum, den kosmischen, anstrebt.

Es ist offensichtlich, daß nur umfassende, technisch besonders vorgebildete Persönlichkeiten, die außerdem von der Natur mit einer besonderen Begabung begnadet waren, so hochgestellte Architekturaufgaben übernehmen und mit Erfolg lösen konnten.