

- [7] EADIE, G. P.: Influence du tracé et des caractéristiques aérodynamiques du four sur le comportement des brûleurs. Verres et Réfract., Articles originaux **24** (1970) S. 11 – 15.
- [8] MICHELS, H.: Erdgasdüsen mit Druckluftzusatz zur Beheizung von Glasschmelzwannen. Glastechn. Ber. **40** (1967) S. 340 – 344.
- [9] GLASER, W. und BOGGUM, P.: Thermische Isolierungen an Glasschmelzöfen. Sprechsaal **99** (1966) S. 211 – 218. [Ref. Glastechn. Ber. **40** (1967) S. 105.]
- [10] LANGE, M. H. DE: Einsatz des Erdgases in der Glasindustrie. Glastechn. Ber. **40** (1967) S. 337 – 340.
- [11] BUSCHMANN, H.: Erdgas in der Glasindustrie. Glastechn. Ber. **38** (1965) S. 86 – 92.
- [12] RICHTER, H.: Einwirkung der Ölaschen auf das feuerfeste Material von Glaswannen. Öl u. Gas **10** (1965) Nr. 10, S. 26.
- [13] LUDERA, L. M.: Betrachtungen und Untersuchungen über die Heizölaschen-Korrosion der feuerfesten Materialien. Silikattechn. **19** (1968) S. 188 – 191. [Ref. Glastechn. Ber. **43** (1970) S. 295.]
- [14] FENSTERMACHER, J. E., LESSER, R. C. und RYDER, R. J.: A study of water content of container glasses. Glass Ind. **46** (1965) S. 518 – 521. [Ref. Glastechn. Ber. **40** (1967) S. 161.]

72-0405

DK 666.1.031.2-621.2:666.1.031.24:662.612:662.614:66.012.32:662.767

Erfahrungen mit erdgasbeheizten Glasschmelzwannenöfen für Behälterglas in Holland

Von CORNELIS JACOBUS NAARDING, Groningen (Niederlande)

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

(Mitteilung aus der Nederlandse Gasunie, Groningen)

(Eingegangen am 7. Juli 1971)

Es wird über Messungen berichtet, die in zwei neu gebauten, erdgasbeheizten Glasschmelzöfen, und zwar in einem U-Flammenwannenofen und einem querbeheizten Wannenofen, durchgeführt wurden, um quantitative Daten über die Betriebsergebnisse der Schmelzöfen, soweit sie durch die Brennstoffwahl bestimmt sind, zu erhalten. In beiden Wannenöfen wird Flaschenglas geschmolzen.

Die optischen Charakteristiken der Flammen sind in beiden Öfen sehr unterschiedlich. In der U-Flammenwanne ist die Flamme schwach strahlend, während in dem quer-

beheizten Wannenofen eine stark leuchtende Flamme erzeugt werden kann.

Die Ergebnisse der durchgeführten Messungen beziehen sich in erster Linie auf a) Luftüberschuß und Verbrennungsqualität, b) Wärmebilanz des Schmelzprozesses, c) Wärmeverbrauch für das Schmelzen von 1 kg Glas. Für die U-Flammenwanne beträgt der spezifische Wärmeverbrauch 1300 kcal/kg Glas bei einer Produktion von 150 t/24 h. Der querbeheizte Ofen weist einen höheren Brennstoffverbrauch aus. Wie die Ergebnisse zeigen, können erdgasbeheizte Öfen ausgezeichnete Resultate liefern.

Experience with natural gas fired tanks for production of container ware in the Netherlands

Measurements are reported for two newly built natural gas fired container glass tanks, one horseshoe fired and one cross-fired, the data relating to operating conditions as well as choice of fuel.

The optical characteristics of the flame are very different in the two furnaces. The horseshoe fired tank has a weakly radiating flame but a highly luminous flame can be produced in the cross-fired tank.

The data recorded concern primarily a) excess air and quality of combustion, b) heat balance for the melting process, c) heat consumption per kg of glass. When producing 150 t/24 h the specific heat consumption of the horseshoe fired tank is 1300 kcal per kg of glass. The cross-fired tank showed a higher fuel consumption. The data demonstrate that natural gas fired furnaces can give very satisfactory results.

Observations concernant des fours à bassin chauffés au gaz naturel et utilisés en Hollande pour la production de verre creux

On traite des mesures effectuées sur deux fours de construction récente chauffés au gaz naturel (un four à boucle et un four à brûleurs transversaux) en vue d'obtenir des renseignements quantitatifs sur leur rendement en fonction du choix du combustible. Les deux fours fondent du verre pour bouteilles.

Les caractéristiques optiques des flammes sont très différentes d'un four à l'autre. Dans le four à boucle, la flamme est faiblement rayonnante tandis que le four à brûleurs transversaux permet par contre d'obtenir une flamme très éclairante.

Les résultats des mesures effectuées concernent au premier chef: a) l'air excédentaire et la qualité de la combustion, b) le bilan thermique du processus de fusion, c) la chaleur consommée pour fondre 1 kg de verre. La consommation spécifique de chaleur est de 1300 kcal par kg de verre dans le cas du four à boucle, pour une production de 150 t/24 h. La consommation de combustible du four à brûleurs transversaux est plus élevée. Les données obtenues montrent que les fours chauffés au gaz naturel peuvent donner d'excellents résultats.

Im Rahmen der vom zentralen holländischen Erdgasversorgungsunternehmen durchgeführten Untersuchungen auf dem Gebiet der industriellen Erdgasanwendung wurden in Zusammenarbeit mit zwei Glashütten Messungen an einer U-Flammenwanne und an einer querbeheizten Wanne vorgenommen. Beide Öfen sind neu gebaut für Erdgas als Brennstoff. Vergleichende Meßergebnisse mit Öl als Brennstoff sind daher nicht verfügbar.

Die Öfen haben eine Nennleistung von je 150 t/24 h bei einer Herdfläche von etwa 70 m². In beiden Wannen wird Behälterglas hergestellt.

Die durchgeführten Messungen erbrachten Daten über den spezifischen Wärmeverbrauch und die Wärmebilanz der beiden Anlagen. Weiter wurden qualitative Angaben über andere Betriebsergebnisse dieser erdgasbeheizten Öfen erhalten, wie Regelbarkeit, Anpassung der Belastung, Ablagerungen in den Regeneratoren,

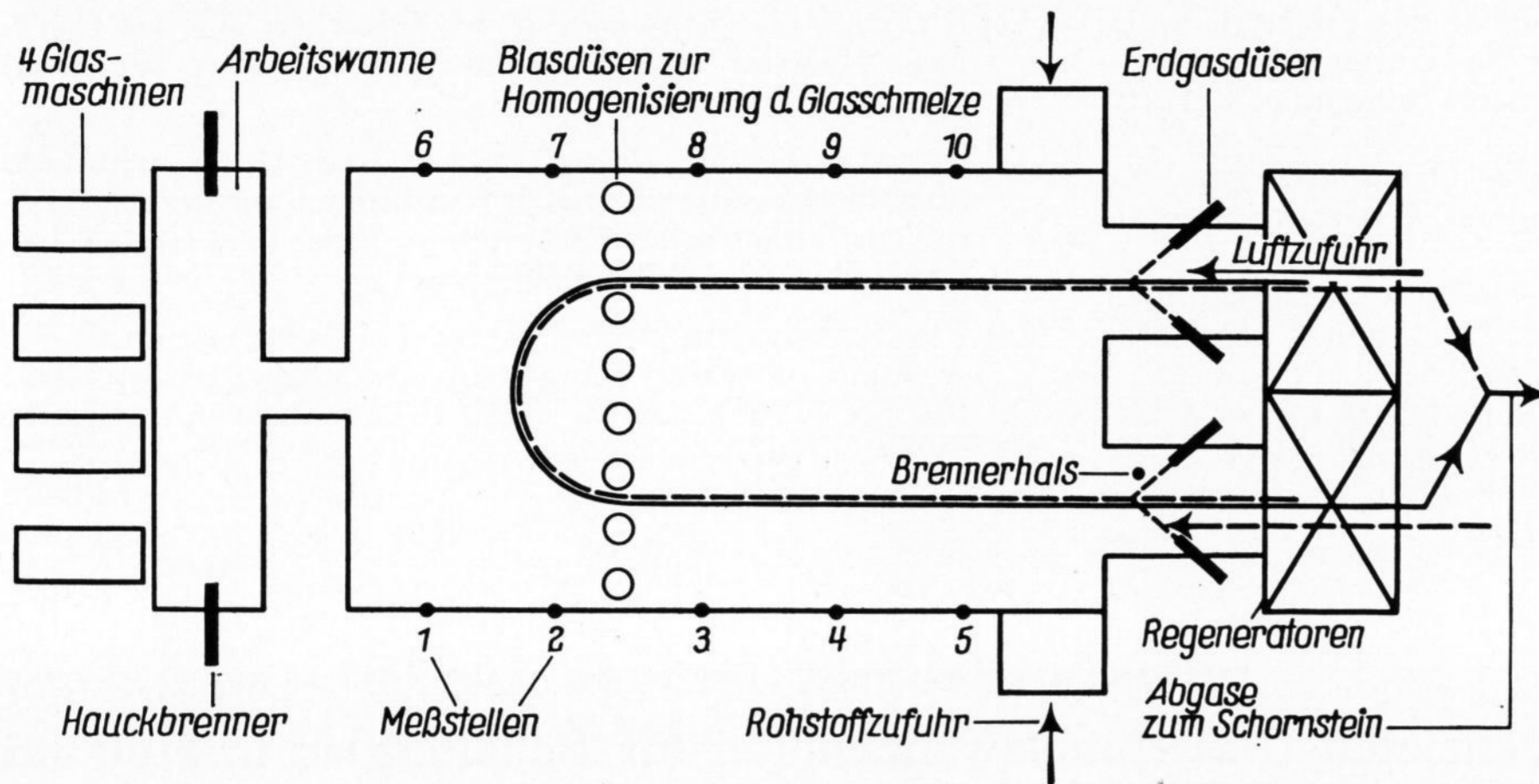


Bild 1. Schematische Darstellung der U-Flammenwanne.

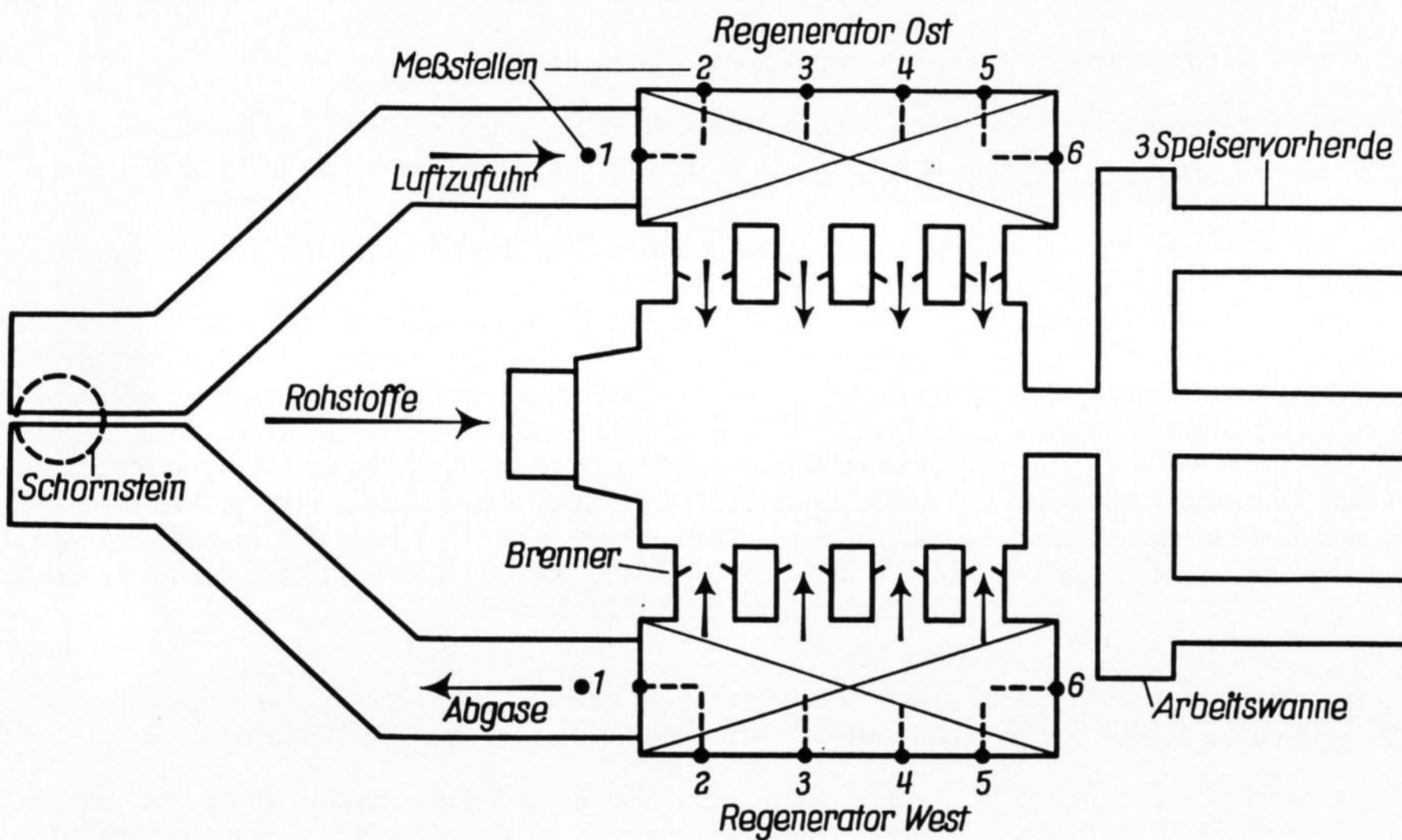


Bild 2. Schematische Darstellung der querbeheizten Wanne.

Korrosion und Lebensdauer der Ofenauskleidung und der Brenner.

1. Beschreibung der Anlagen

Es versteht sich, daß sich die vorliegende Untersuchung auf das in der Glasindustrie angewandte Schmelzverfahren beschränkt. Behandelt werden die Beheizungsart der Schmelze, besonders die Konstruktion und Betriebsweise der Feuerungseinrichtungen, sowie der Wärmeverbrauch. Aus diesem Grunde werden hier nur die Angaben über die Anlage und die Öfen gemacht, die mit diesen Aspekten des Glasschmelzens in Zusammenhang stehen.

Bild 1 zeigt eine schematische Darstellung der U-Flammenwanne, Bild 2 eine solche des querbeheizten Ofens. Aus Bild 3 ist die Brenneranordnung der querbeheizten Wanne zu ersehen. In Tabelle 1 sind die weiteren charakteristischen Abmessungen und Daten der beiden Öfen zusammengestellt. Die Gasbrenneranordnung im Detail zeigt Bild 4. Ähnliche Aufnahmen der U-Flammenwanne wurden leider nicht zur Veröffentlichung freigegeben.

Als Erdgasdüsen wurden einfache Stahlrohre mit einem feuerfesten Endstück verwendet, das als kreisförmige Ausflußöffnung ausgebildet ist. Bei der U-Flamme ist um dieses Düsenrohr herum ein luftgekühlter Mantel angeordnet, bei der querbeheizten Wanne da-

gegen wird von außen Kühlluft auf das Rohr geblasen. Die Düsen sind in einer beweglichen Haltevorrichtung befestigt, wodurch die Richtung in zwei Ebenen einstellbar ist.

Es sei noch erwähnt, daß der Flammencharakter in beiden Öfen stark variiert. In der querbeheizten Wanne dient die Düsenausbildung und -betriebsweise der Erzeugung einer stark leuchtenden Flamme, wogegen die Flamme in der U-Flammenwanne nur schwach strahlend und größtenteils nahezu durchsichtig ist.

Die Hauptdaten des verwendeten Erdgases sind allgemein bekannt. Die Zusammensetzung entspricht derjenigen des niederländischen und auch nach Deutschland ausgeführten Erdgases.

Während die U-Flammenwanne seit Februar 1969 in Betrieb ist, wurde die querbeheizte Wanne erst im November 1970 in Betrieb genommen. Die Angaben für den erstgenannten Ofen sind daher ausführlicher und in gewissem Maße auch zuverlässiger als die des querbeheizten Ofens. Es ist beabsichtigt, beide Meßreihen, wenn möglich, noch weiter auszudehnen, um eine möglichst vollständige Einsicht in die Betriebsergebnisse dieser beiden gasbeheizten Glasöfen zu gewinnen.

Besonders im Fall der querbeheizten Wanne ist zu erwarten, daß auch Variationen in der Brenneranordnung in die Untersuchung einbezogen werden. Natur-

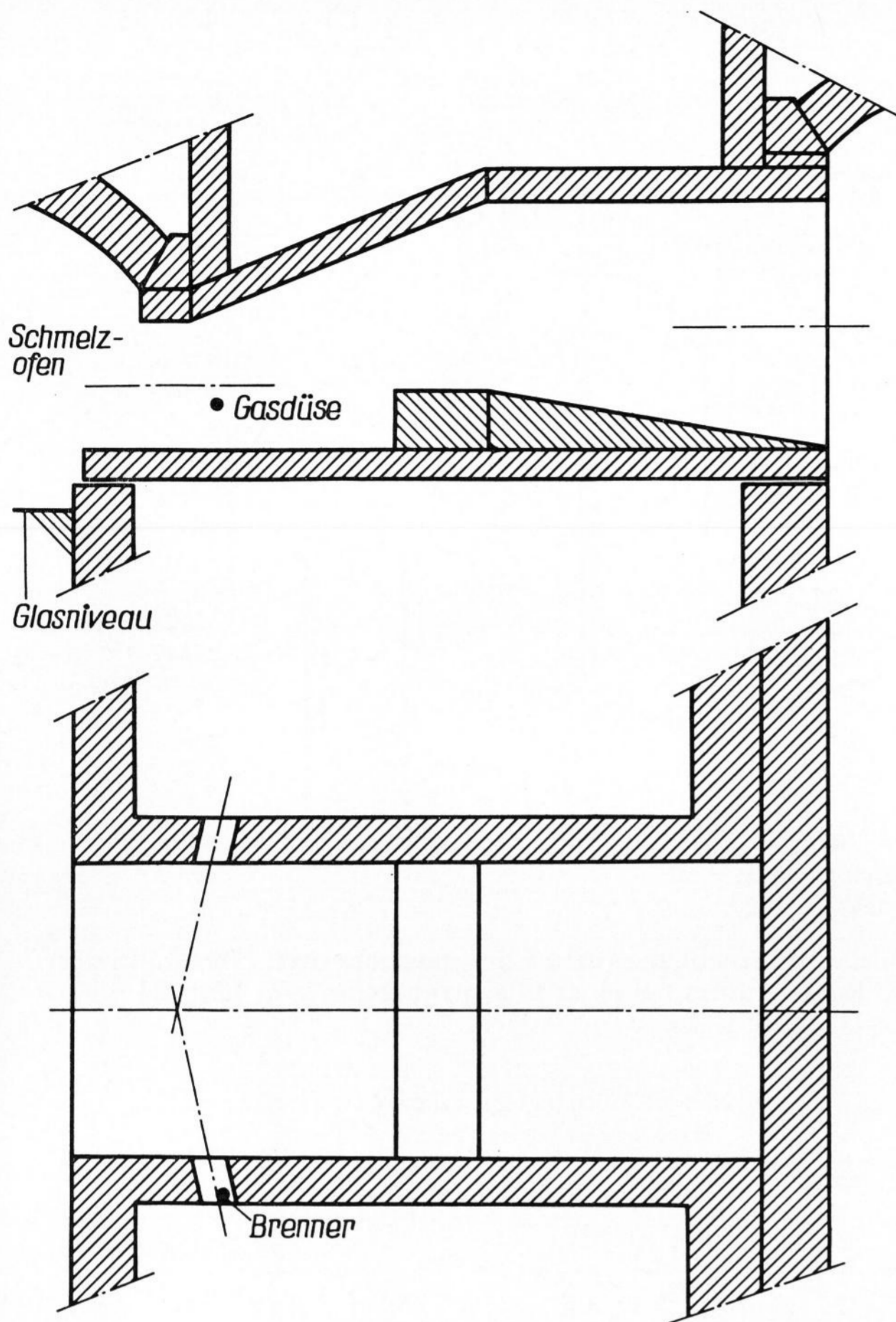


Bild 3. Brenneranordnung der querbeheizten Wanne.

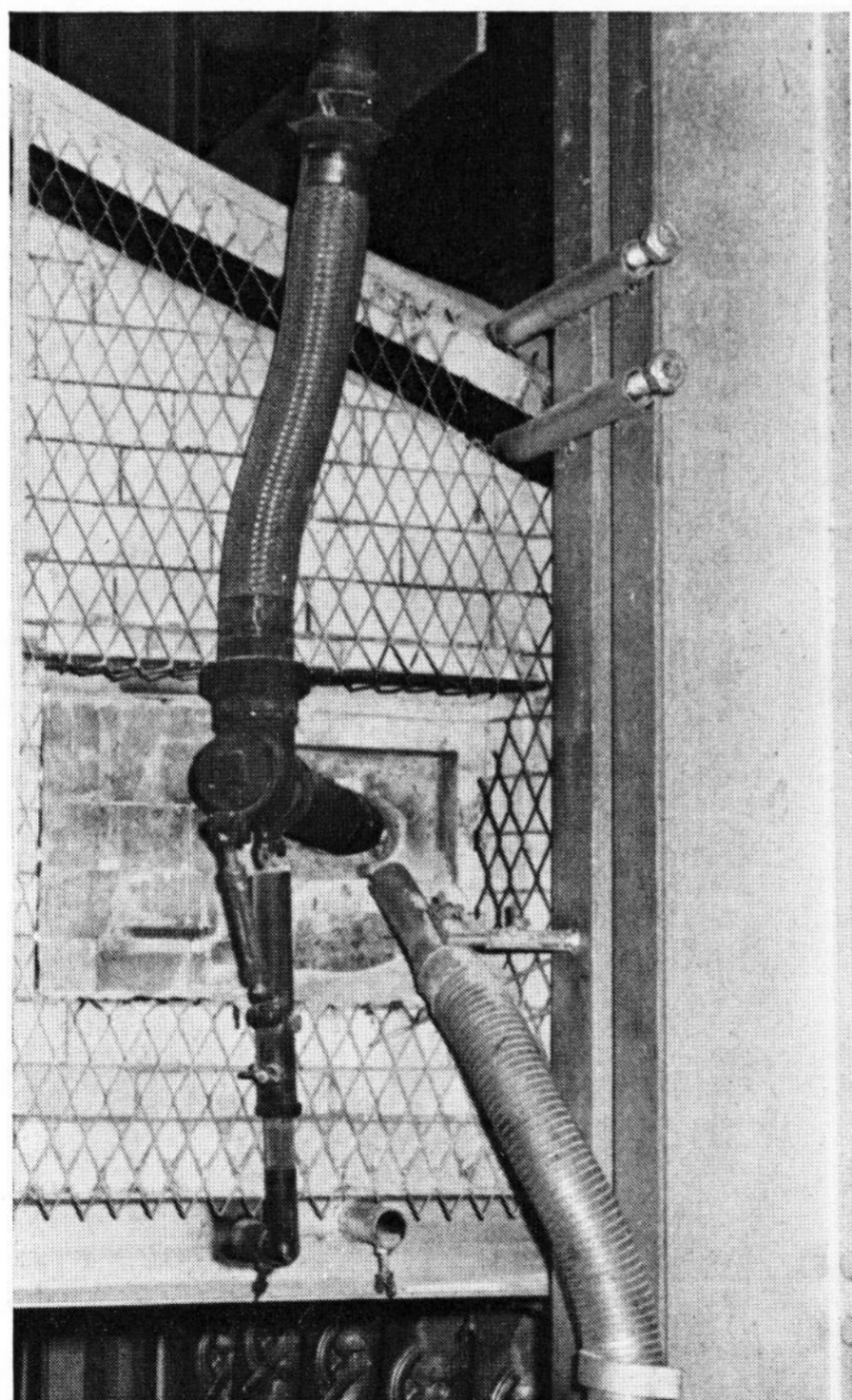


Bild 4. Detailaufnahme der Gasbrenneranordnung.

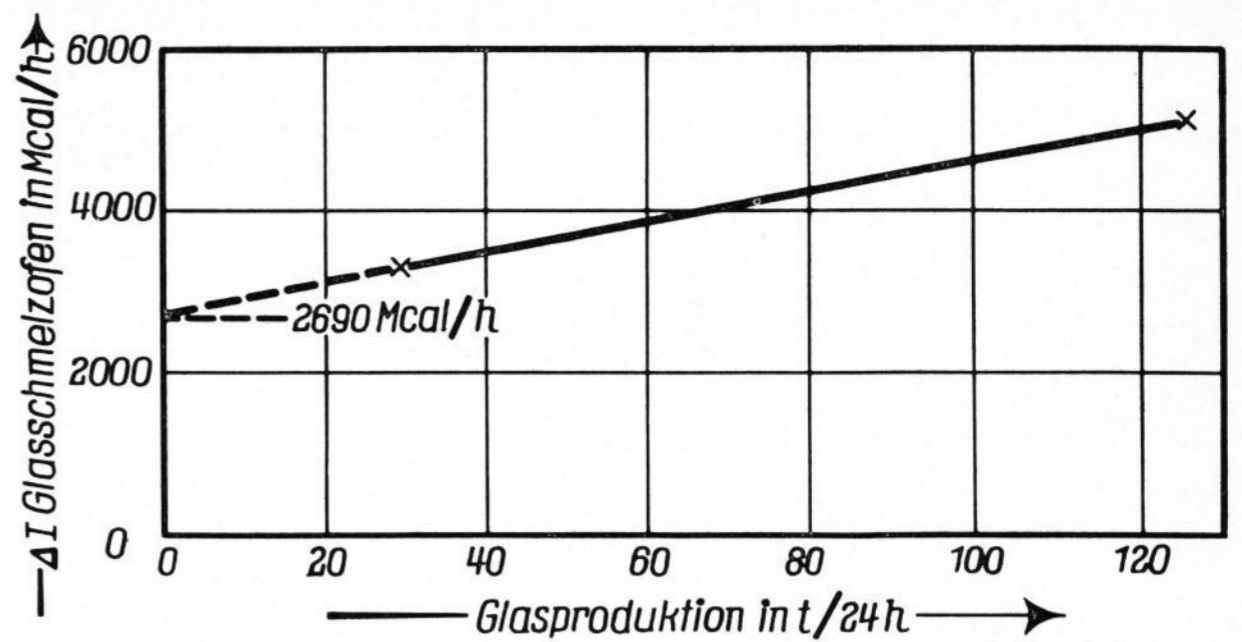


Bild 5. Von der U-Flammenwanne aufgenommene Wärmemenge als Funktion der Glasproduktion.

Tabelle 1. Charakteristische Abmessungen und Daten der untersuchten Glasschmelzöfen

	U-Flammenwanne	querbeheizte Wanne
Wannenoberfläche in m ²	72 (12 × 6)	74,1 (11,4 × 6,5)
Glastiefe in m	—	etwa 1,3
Inhalt des Verbrennungsraums in m ³	154	124
Entwurfskapazität in t/24 h	150	150
spezifische Belastung in t/24 h m ²	2,08	2,02
Zahl der Brenner	2	8 (2 × 4)
Außenabmessungen des Regenerators L × B × H in m	—	11,9 × 3,2 × 9,7
Gesamtinhalt des Gitterwerks in m ³	—	190
Schaltzyklus in min	20	20
Rohstoffdaten in %		
Sand	61,5	60,8
Soda	18,6	20,0
Kalkstein	17,2	14,6
Rest	2,7	4,6

gemäß können von diesem Ofen erst auf längere Sicht Angaben über Lebensdauer und Verschleiß gemacht werden.

2. Beschreibung der Messungen und Meßergebnisse

Wie bereits erwähnt, war die an der U-Flammenwanne durchgeführte Meßserie hinsichtlich bestimmter Aspekte etwas ausführlicher als die an der querbeheizten Wanne. Vor allem sind in ersterem Fall mehr Messungen im Verbrennungsraum der Glasschmelzwanne vorgenommen worden. Es liegt auf der Hand, daß es leichter ist, die Eigenschaften einer U-Flamme zu erfassen als die der vier Flammen in einem querbeheizten Ofen.

Die erste Messung an der U-Flammenwanne erfolgte bei einer Tagesproduktion von 125,3 t, die zweite bei der sehr niedrigen Produktion von nur 29,2 t/24 h. Diese beiden Messungen wurden benutzt, um einen Eindruck vom Nullastverbrauch des Glasofens zu gewinnen (Bild 5). Zu einem späteren Zeitpunkt konnten einige Meßresultate bei einer Produktion von 170 t/24 h ermittelt werden (entsprechend einer spezifischen Belastung von 2,36 t/24 h m²). Diese Produktionskapazität hat sich inzwischen ohne Schwierigkeiten als möglich erwiesen. Pläne, bei dieser hohen Belastung eine voll-

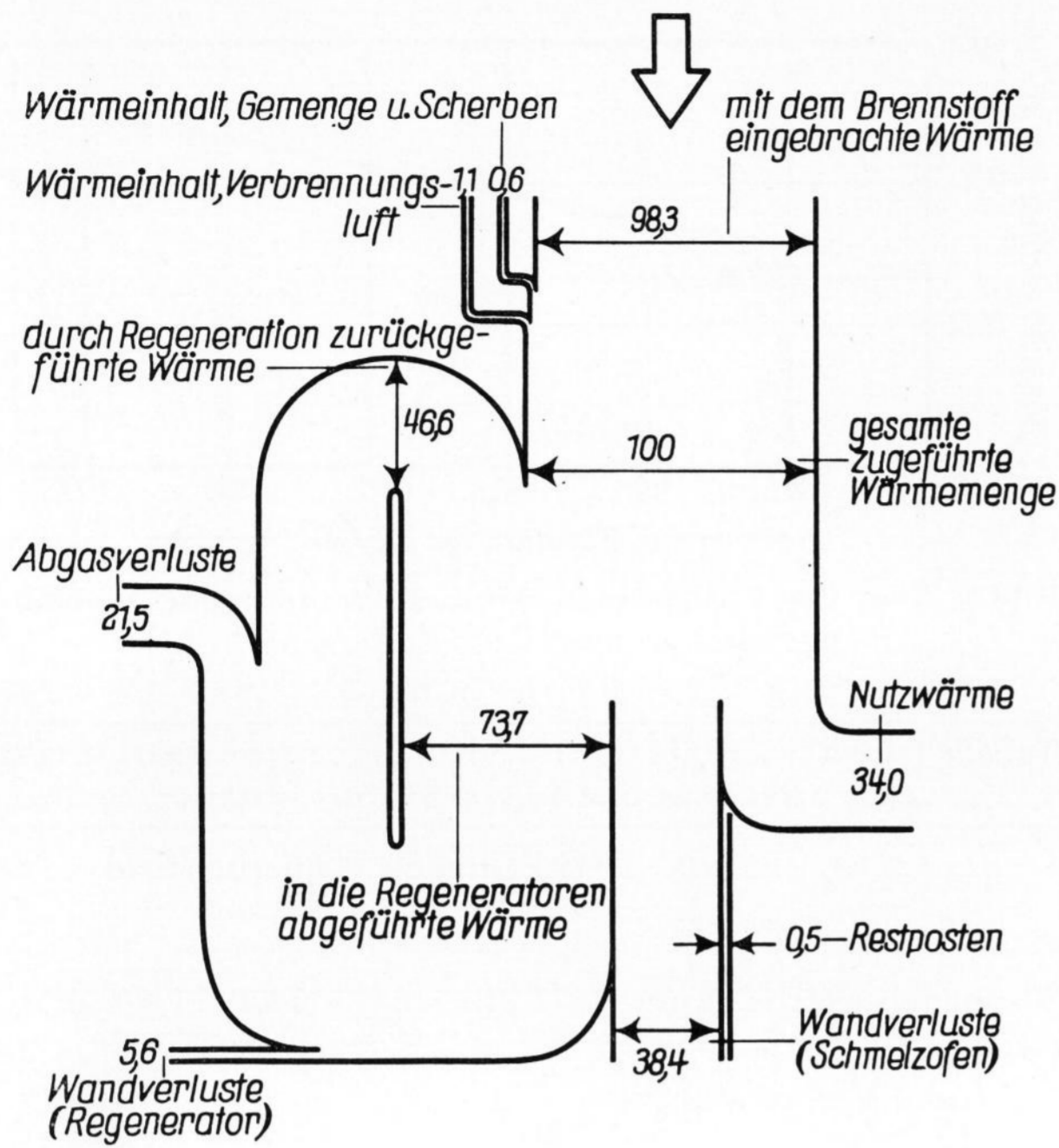


Bild 6. Wärmebilanz (in %) des U-Flammenofens und des Regenerators bei einer Glasproduktion von 125 t/24 h.

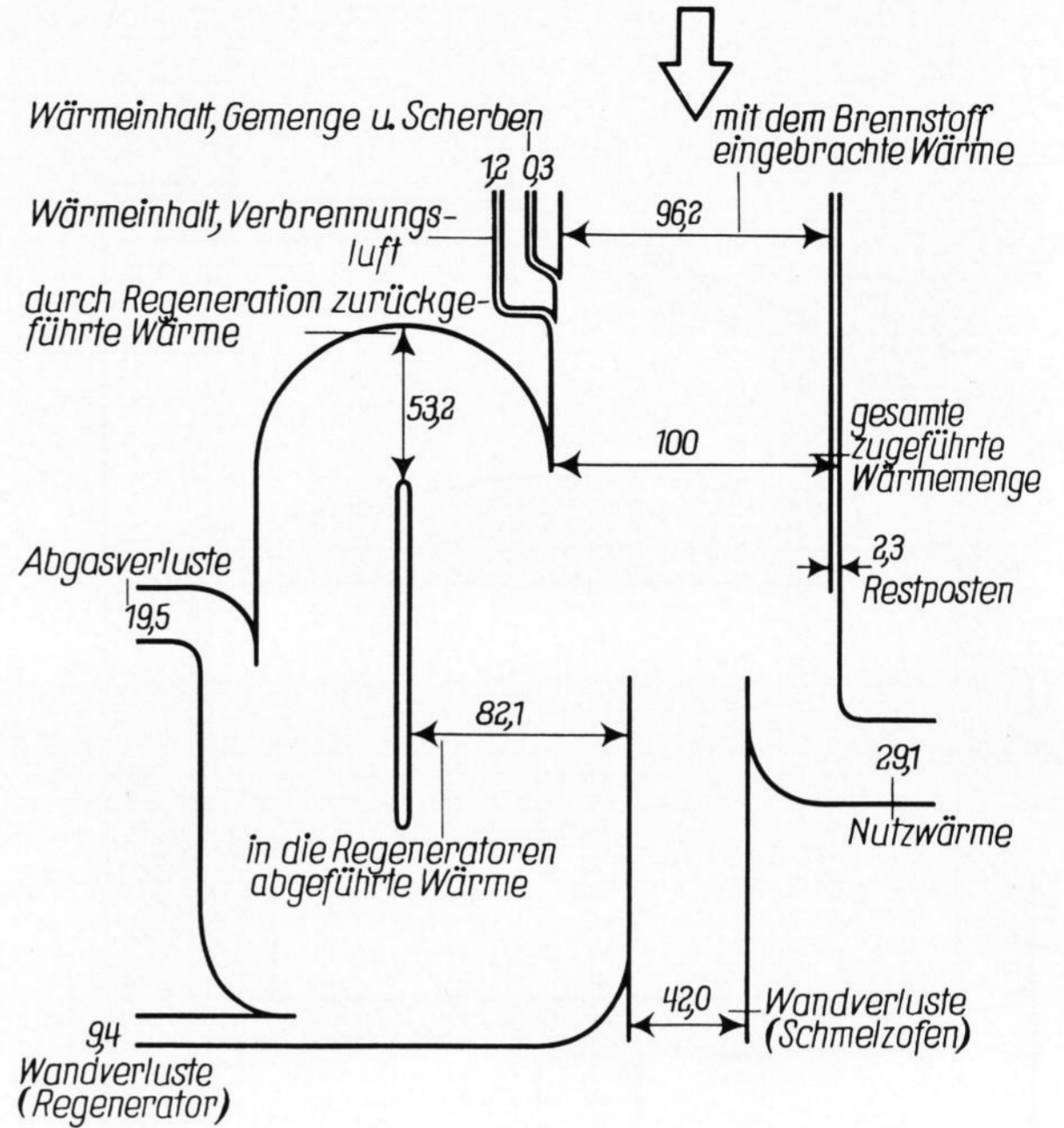


Bild 7. Wärmebilanz (in %) des querbeheizten Ofens und des Regenerators bei einer Glasproduktion von 121 t/24 h.

Tabelle 2. Wichtigste Meßergebnisse des U-Flammenofens

	Ofenbelastung in t Glas/24 h	
	29,3	125
Gemengezufuhr in t/24 h	34	144
Regenerator		
Luft		
Lufttemperatur beim Eintritt in °C	30,5	30,5
Luftmenge in m ³ /h ¹⁾	8280	7950
Durchschnittstemperatur beim Austritt in °C	1130	1211
Abgas		
Durchschnittstemperatur beim Eintritt in °C	1350	1434
Temperatur beim Austritt in °C	360	436
Schmelzofen		
den Brennern zugeführte Gasmenge in m ³ /h	598	912
Nutzwärmemenge in kcal/kg Glas	460	458

¹⁾ m₀³ = m³ bei 0 °C und 1013 mbar.

Tabelle 3. Wichtige Meßergebnisse des querbeheizten Ofens

	Ofenbelastung in t Glas/24 h			
	121	143	149	161
Gemengezufuhr in t/24 h	140	163	171	184
Regenerator				
Luft				
Lufttemperatur beim Eintritt in °C	30	30	30	30
Luftmenge in m ³ /h	11100	10900	11130	17140
Durchschnittstemperatur beim Austritt in °C	1168	1146	1148	1130
Abgas				
Durchschnittstemperatur beim Eintritt in °C	1373	1345	1324	1384
Temperatur beim Austritt in °C	340	335	394	395
Schmelzofen				
den Brennern zugeführte Gasmenge in m ³ /h	1101	1267	1275	1449
Nutzwärmemenge in kcal/kg Glas	500	500	500	500

ständige Messung vorzunehmen, konnten bis jetzt noch nicht realisiert werden.

In der querbeheizten Wanne wurden kurz nacheinander drei Meßreihen durchgeführt, und zwar bei Produktionskapazitäten von 121, 143 und 161 t/24 h sowie eine weitere mit abgeänderter Brenneranordnung bei 149 t/24 h m².

Für die Durchführung der Temperaturmessungen wurden bei den hohen Werten (> 400 °C) Absaugthermoelemente verwendet, die, falls erforderlich, mit Wasser gekühlt wurden. Mit Orsatgeräten und Servomex-O₂-Messern wurden die Abgasanalysen gemacht.

Bei den Messungen stellte sich heraus, daß infolge der Umschaltung der Brenner nach jeweils 20 min nach Verlauf von etwa 7 min innerhalb des Zyklus ein statio-

närer Wert der Verhältnisse im Ofen erzielt wurde. Die zur Beschreibung des Gleichgewichtszustandes verwendeten Größen wurden daher immer zwischen der 7. und 20. Minute des Zyklus gemessen. Die Verbrennungsluftmenge wurde im Brennerhals durch eine Pitotrohrmessung ermittelt. Die Gasmenge konnte mit den vorhandenen Betriebsmeßgeräten festgestellt werden. An den Regeneratoren wurden an verschiedenen Stellen Oberflächentemperaturmessungen vorgenommen, um durch deren Auswertung einen Eindruck von der von den Regeneratoren direkt an die Umgebung abgegebenen Wärmemenge zu gewinnen.

Die Zahlenwerte einiger bei den im U-Flammenofen ermittelten Meßergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt. Aus den Meßergebnissen geht deutlich die gute symmetrische Form der Flamme beim Heizen auf dem

linken bzw. rechten Brenner hervor. Messungen des Verlaufs des CO_2 -Gehaltes über die Länge der Flamme ergaben, daß das zugeführte Gas nach maximal etwa 9 m ausgebrannt war.

Die an Hand der verschiedenen Messungen ermittelten Wärmebilanzen des Ofens und des Regenerators sind aus Bild 6 ersichtlich. Hieraus ist u. a. zu entnehmen, daß bei einer Produktion von 125 t/24 h etwa 34% der mit dem Brennstoff zugeführten Wärme benutzt werden, um das Glas zu schmelzen und auf Verarbeitungstemperatur zu bringen. Der Regeneratorwirkungsgrad beträgt etwa 63% $\left(\frac{46,2}{73,7} \cdot 100\%\right)$.

In Tabelle 3 ist eine Übersicht über die wichtigsten Resultate der Messungen am querbeheizten Ofen aufgenommen. Die für diesen Ofen berechnete Wärmebilanz ist in Bild 7 dargestellt, und zwar für eine Ofenbelastung von 121 t/24 h, eine vergleichbare Belastung zu der in Bild 6 dargelegten Situation der U-Flammenwanne.

In diesem Fall beträgt bei der erwähnten Belastung die dem Glas zugeführte Nutzwärme 29,1% der mit dem Brennstoff zugeführten Wärme, während der Regeneratorwirkungsgrad bei 66,8% liegt $\left(\frac{53,2}{79,7} \cdot 100\%\right)$.

Übrigens ist der Gasverbrauch für die gleiche Belastung im Fall der querbeheizten Wanne um 24% höher als bei der U-Flammenwanne. Dieser Unterschied im Wärmeverbrauch zeigt sich auch deutlich aus der grafischen Darstellung (Bild 8), in der der Wärmeverbrauch in kcal/kg Glas (auf Heizwert H_0) über der Ofenproduktion in t/24 h der beiden Öfen aufgetragen ist. Für die U-Flammenwanne wird daraus bei einer nominellen Ofenkapazität von 150 t/24 h ein spezifischer Wärmeverbrauch von 1290 kcal/kg Glas gefunden gegenüber dem querbeheizten Ofen mit etwa 1600 kcal/kg Glas. Nach Abänderung der Brenneranordnung in letzterem sank der Wärmeverbrauch auf 1550 kcal/kg Glas.

Für die festgestellten Unterschiede können verschiedene Ursachen verantwortlich gemacht werden. So ist z. B. die Zusammensetzung der Rohstoffe in beiden Öfen nicht gleich, der Prozentsatz an Scherben betrug im Fall des U-Flammenofens 25% gegenüber 15% im Fall des querbeheizten Ofens. Auch die Ofenisolation dürfte in beiden Fällen sicher nicht dieselbe sein. Die Meßergebnisse deuten darauf hin, daß die Isolierung der querbeheizten Wanne nicht so gut wie die der U-Flammenwanne war. Der Luftüberschuß der ersteren lag höher als der der letzteren. Dafür war die Wärmereneration des querbeheizten Ofens wieder etwas besser als die des U-Flammenofens. Ein aussagekräftiger Vergleich ist jedoch kaum möglich, da sowohl die Öfen als auch die in beiden Fällen angewandten Brennersysteme zu unterschiedlich sind. Hinzu kommt noch die Tatsache, daß die U-Flammenwanne zur Zeit der Messungen viel länger in Betrieb war als die querbeheizte Wanne.

3. Zusammenfassung

Obwohl Erdgasflammen nicht die Strahlungskraft von Ölfammen besitzen, wird bei Erdgaseinsatz zum Glasschmelzen ein Wärmewirkungsgrad erzielt, der dem mit Öl erreichbaren nahekommt. Sehr viele vergleichbare ölbeheizte Öfen werden einen Wärmeverbrauch der gleichen Größenordnung haben. Schließlich sei die Über-

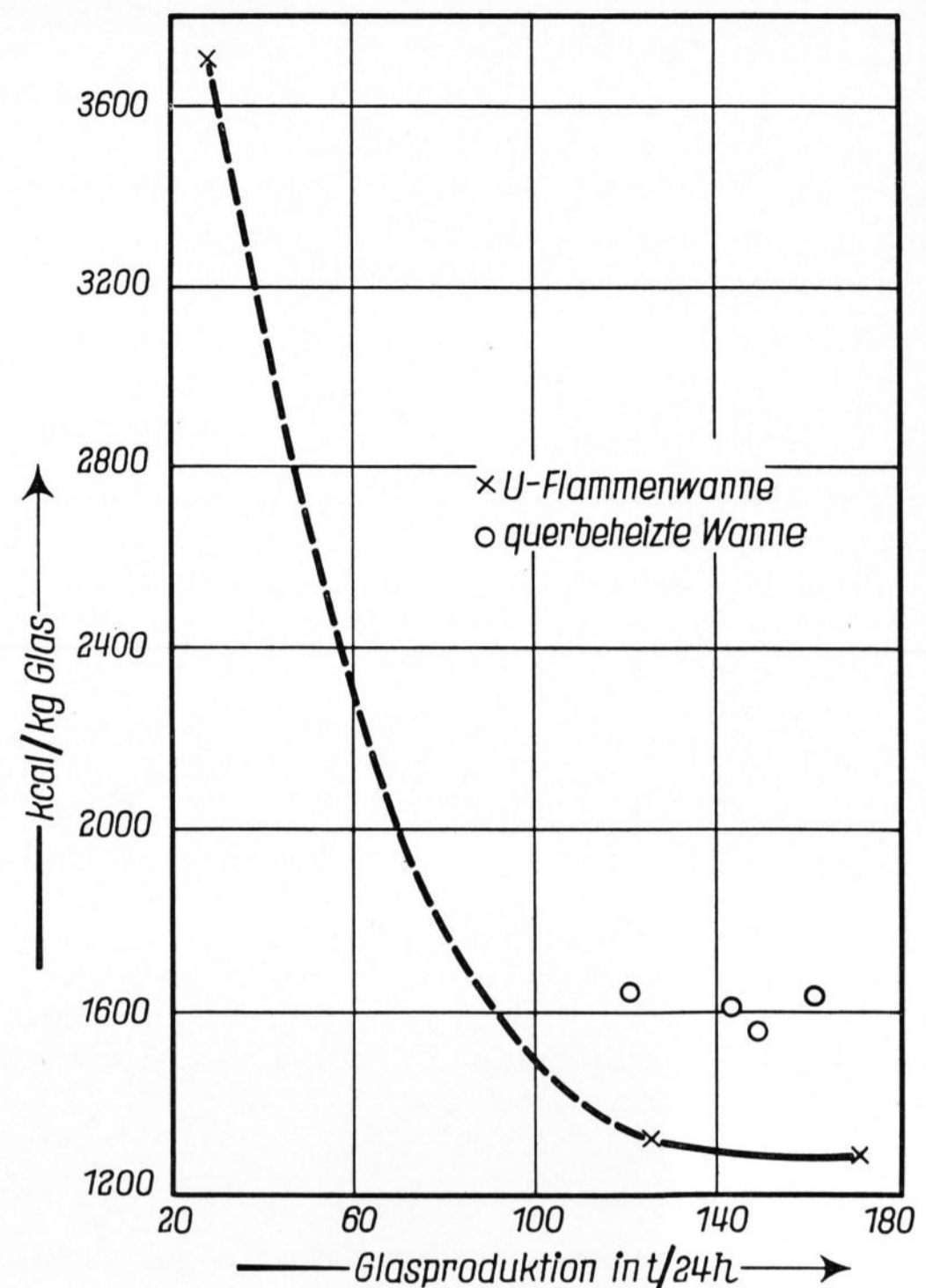


Bild 8. Benötigte Bruttowärmemenge in kcal/kg Glas als Funktion der Glasproduktion.

zeugung ausgesprochen, daß die Erfahrung mit dem querbeheizten Ofen in Zukunft zu einem niedrigeren spezifischen Wärmeverbrauch führen wird. Von sicher gleich großer Bedeutung wie der Wärmeverbrauch sind die übrigen Betriebsergebnisse, wie die Produktionskapazität des Ofens, die Qualität der Erzeugnisse, die Betriebssicherheit und die Störimpfindlichkeit, die Lebensdauer des Ofens usw.

Die Produktionskapazität hat sich in beiden untersuchten Fällen als beträchtlich höher als die Nennleistung der Öfen erwiesen (U-Flammenwanne 170 t/24 h, querbeheizte Wanne bis jetzt 161 t/24 h).

Mit Rücksicht auf die sehr kurze Betriebserfahrung mit dem querbeheizten Ofen kann im Hinblick auf andere Aspekte hier noch nichts ausgesagt werden. Naturgemäß gelten jedoch auch bei diesem Ofentyp die allgemeinen Vorteile von Gas über Öl, wie leichte Regelbarkeit, keine Lagerung und keine Brennstoffaufbereitung. Die Lebensdauer der Brenner ist bis jetzt gut: 7 Monate nach Inbetriebnahme des Ofens war noch kein Brennerwechsel nötig, an der U-Flammenwanne hat man dagegen bereits einige Male Brenner austauschen müssen.

Die Betriebserfahrung mit Erdgas in der U-Flammenwanne hat bisher noch weitere Vorteile ergeben: eine ausgezeichnete Glasqualität, die Möglichkeit einer guten und schnellen Anpassung an die Belastung, ein voraussichtlich geringerer Verschleiß des Ofens und eine deutlich geringere Verschmutzung des Regenerators und demzufolge weniger Wartungskosten.

Der Autor dankt Herrn Dipl.-Ing. R. MEISTER für die redaktionelle Überarbeitung des Manuskriptes sowie den Vorständen der Kristalunie, Maastricht, der N. V. Vereenigde Glasfabrieken und der PLM Glasindustrie, Dongen, für ihre Bereitschaft, die in dieser Arbeit erwähnten Daten zur Veröffentlichung freizugeben.