

8.2. Glasmaschinen.

HODKIN, F. W.: Introduction to the symposium on machinery for the fabrication of glass containers. *J. Soc. Glass Technol.* **37** (1953) S. 27–31. [Ref. *Glastechn. Ber.* **27** (1954) S. 179.]

WYSS, A.: Die Roirant-Maschine. *Sprechsaal* **63** (1930) S. 368. [Ref. *Glastechn. Ber.* **8** (1930) S. 413.]

SEVERIN, H.: Die Entwicklung der Roirant-Maschine „A 6“. *Glastechn. Ber.* **20** (1942) S. 65–71.

Ohne Verf.: New bottle machine by Lynch Corporation. *Glass Ind.* **12** (1931) S. 113 u. S. 119–124. [Ref. *Glastechn. Ber.* **10** (1932) S. 104.]

MOODY, D. M.: O'Neill machines. *J. Soc. Glass Technol.* **37** (1953) S. 44–47. [Ref. *Glastechn. Ber.* **27** (1954) S. 179.]

HUNTER, F. W.: O'Neill and Lynch machines. *J. Soc. Glass Technol.* **37** (1953) S. 76–79. [Ref. *Glastechn. Ber.* **27** (1954) S. 179.]

MITCHELL, W. B.: Mitchell feeder-fed glass forming machines. *J. Soc. Glass Technol.* **37** (1953) S. 41–43. [Ref. *Glastechn. Ber.* **27** (1954) S. 179.]

PLATT, T.: Mitchell machines. *J. Soc. Glass Technol.* **37** (1953) S. 71–75. [Ref. *Glastechn. Ber.* **27** (1954) S. 179.]

Ohne Verf.: The Hartford-Empire I.S.-machine. *Glass* **24** (1947) S. 143. [Ref. *Glastechn. Ber.* **22** (1948/49) S. 306.]

WARDLEY, T. A.: Hartford feeder, lynch machines and the Hartford I.S.-machine. *J. Soc. Glass Technol.* **37** (1953) S. 32–40. [Ref. *Glastechn. Ber.* **27** (1954) S. 179.]

CREASER, I., CREASER, L. G. und HODKIN, F. W.: Suction and feeder-fed bottle-making machines. *J. Soc. Glass Technol.* **37** (1953) S. 48–56. [Ref. *Glastechn. Ber.* **27** (1954) S. 179.]

DENSEM, N. E.: A contribution to the symposium on machines for the fabrication of glass containers. *J. Soc. Glass Technol.* **37** (1953) S. 57–60. [Ref. *Glastechn. Ber.* **27** (1954) S. 179.]

NICHOLS, N. A.: Improvements needed in glass-making machines. *J. Soc. Glass Technol.* **37** (1953) S. 61–70. [Ref. *Glastechn. Ber.* **27** (1954) S. 179.]

MOORSHEAD, W. A.: A contribution to the symposium on machines for the fabrication of glass containers. *J. Soc. Glass Technol.* **37** (1953) S. 80–87. [Ref. *Glastechn. Ber.* **27** (1954) S. 179.]

Ohne Verf.: The symposium on machines for the fabrication of glass containers, Discussion. *J. Soc. Glass Technol.* **37** (1953) S. 88–96.

ALT, H.: Getriebetechnik bei Glasverarbeitungs-
maschinen. *Glastechn. Ber.* **24** (1951) S. 200–201.

8.3. Glasformen.

GIEGERICH, W.: Wärmetechnische Probleme der Gestaltung von Glasformen. *Glastechn. Ber.* **23** (1950) S. 161–169.

WILLE, R.: Methoden der Formenkühlung an Glasverarbeitungs-
maschinen. *Glastechn. Ber.* **28** (1955) S. 351 bis 359.

SCHRECK, C.: Beitrag zur Ermittlung des Wärmeflusses in den Wänden von Glasformen. *Glastechn. Ber.* **28** (1955) S. 359–368.

TRIER, W.: Temperaturmessungen an Glasformen. *Glastechn. Ber.* **28** (1955) S. 336–351.

GIEGERICH, W. und OBERLIES, F.: Formenwerkstoffe und Vorgänge in Glasformen. I. Teil. *Glastechn. Ber.* **26** (1953) S. 335–371.

8.4. Flaschenfertigung.

JEBSSEN-MARWEDEL, H.: *Glastechnische Fabrikationsfehler*. Berlin: Springer 1936.

GIEGERICH, W.: Die Oberfläche der Formenwand und ihr Einfluß auf die Strömung des Glases. *Glastechn. Ber.* **26** (1953) S. 333–341.

GENZEL, L.: Wärmefuß im Kübel. (Fachausschußreferat.) *Glastechn. Ber.* **27** (1954) S. 356.

NEUROTH, N.: Der Einfluß der Temperatur auf die spektrale Absorption von Gläsern im Ultraroten. *Glastechn. Ber.* **25** (1952) S. 242–249.

GENZEL, L.: Zur Berechnung der Strahlungsleitfähigkeit der Gläser. *Glastechn. Ber.* **26** (1953) S. 69–71.

BOOW, J. und TURNER, W. E. S.: The viscosity and working characteristics of glass. I. Teil: *J. Soc. Glass Technol.* **26** (1942) S. 215–237. [Ref. *Glastechn. Ber.* **25** (1952) S. 115.] II. Teil: **27** (1943) S. 94–112. [Ref. *Glastechn. Ber.* **24** (1951) S. 161.] III. Teil: **27** (1943) S. 207–237. [Ref. *Glastechn. Ber.* **22** (1948/49) S. 265.]

IV. Teil: **29** (1945) S. 199–232. [Ref. *Glastechn. Ber.* **24** (1951) S. 163.] V. Teil: **29** (1945) S. 233–249. [Ref. *Glastechn. Ber.* **24** (1951) S. 162–163.]

HAHNEL, K.: Fließvorgänge bei der Herstellung von Flaschen. (Fachausschußreferat.) *Glastechn. Ber.* **29** (1956) S. 32.

KRÜSSMANN, G.: Vorgänge bei der Formgebung der Flaschen. (Fachausschußreferat.) *Glastechn. Ber.* **28** (1955) S. 82.

EITEL, W.: Studien über die Strömungsvorgänge bei der vollautomatischen Glasverarbeitung. *Glastechn. Ber.* **10** (1932) S. 121–125 und 469–477; **11** (1933) S. 201–205 und **12** (1934) S. 222–227.

WILLE, R.: Fließvorgänge bei der Herstellung von Flaschen. (Fachausschußreferat.) *Glastechn. Ber.* **29** (1956) S. 32.

GRUNDMANN, W.: Arbeitsvorgänge an Glasmaschinen. (Fachausschußreferat.) *Glastechn. Ber.* **25** (1952) S. 426 und **27** (1954) S. 32.

HOLSCHER, H.: Technically speaking about the new Owens-Illinois Technical Center. *Glass Ind.* **36** (1955) S. 627–634, 644 und 654. [Ref. *Glastechn. Ber.* **29** (1956) S. 103.] (29/69)

DK 666.1.031.3:662.614.2

Die Entwicklung der Glasschmelzhafenöfen.

RUDOLF GÜNTHER, WOLFGANG TRIER und KARL HEINZ THEISSL, Frankfurt a. M.

(Nach einem Vortrag von K. H. THEISSL auf der Mitgliederversammlung der Hüttentechnischen Vereinigung der Deutschen Glasindustrie in Braunschweig am 11. Oktober 1955.)

(Eingegangen am 14. Juni 1957.)

Es wird ein Überblick über den heutigen Stand der Entwicklung von Hafenöfen gegeben und über Bauformen, Brenneranordnungen, Wärmerückgewinnung und Brennstoffauswahl berichtet. Weiter werden auf Grund von Betriebsbeobachtungen Angaben über Schmelzleistung und Wärmeverbrauch von 22 Hafenöfen gemacht. Da die Ergebnisse weitgehend von der Ausarbeitung der Häfen abhängen, wird vorgeschlagen, die Angaben über den Wärmeverbrauch auf eine Ausarbeitung von 75% des theoretischen Hafeninhaltes zu beziehen, ein Wert, der etwa der oberen Grenze des technisch Erreichbaren entspricht.

Einleitung.

Während die konstruktive Entwicklung von Wannenöfen und die Verbesserung ihrer Betriebsweise in zahlreichen Veröffentlichungen behandelt wird, wurde den Hafenöfen wenig Beachtung geschenkt. Die einzige größere Veröffentlichung über Glasschmelzhafenöfen

war die Arbeit der WBG aus dem Jahre 1926 [1]. Aus späteren Jahren findet man einige wenige Zeitschriftenarbeiten, die sich teils mit Einzelfragen oder auch mit der konstruktiven Entwicklung befassen [2–7]; Betriebserfahrungen werden kaum mitgeteilt. Zur Beurteilung von Hafenöfen wird deshalb immer noch die

Statistik von 1926 herangezogen. Die darin gegebenen konstruktiven Daten sind auch heute z. T. noch gültig. Die Wärmeverbrauchsdaten sind dagegen überholt.

Daß den Hafenöfen in der Öffentlichkeit nur wenig Aufmerksamkeit gewidmet wird, erklärt sich aus der bevorzugten Benutzung der Wannen für alle in größeren Mengen herzustellenden Gläser. Der Hafenofen wird indessen noch lange Zeit für die Erzeugung von Spezialgläsern, Farbgläsern usw. unentbehrlich bleiben. Seine Bedeutung erkennt man am besten daraus, daß in Westdeutschland zur Zeit neben rund 200 Wannenöfen etwa 150 Hafenöfen in Betrieb sind.

Auf Grund einer Reihe von Betriebsuntersuchungen wird über den augenblicklichen Stand des Hafenofenbaues berichtet und aufgezeigt, welche Verbesserungen sich anbieten, wenn man die neuen Erfahrungen des allgemeinen Ofenbaues und besonders der Wannen-Ofentechnik heranzieht, weiter werden neue Werte von Wärmeverbrauchsdaten mitgeteilt.

1. Konstruktive Merkmale.

Während die Hafenofenschrift der WBG [1] nur drei verschiedene Bauarten, nämlich den Bütenofen, Schlitzofen und Oberflammenofen, erwähnte und die Rekuperativöfen wegen ihrer geringen Bedeutung nicht berücksichtigte, ist heute eine große Zahl verschiedener Bauarten in Gebrauch, die sich aus den unterschiedlichen örtlichen Bedürfnissen heraus nach Ofengröße, Brennstoffart und Art der Wärmerückgewinnung entwickelt haben. Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale der einzelnen Typen sind:

- Anordnung der Brenner,
- Art der Wärmerückgewinnung und
- Art der Beheizung.

Die Möglichkeiten der Abwandlung werden größer, wenn man an die verschiedenen Anordnungsmöglichkeiten der einzelnen Bauteile oder an die Erfordernisse denkt, die sich aus der verschiedenen Anzahl der Häfen (zwischen 1 und etwa 16) ergeben. Tatsächlich bestehen neben einigen Hauptbauarten viele Sonderkonstruktionen. Im folgenden kann nur auf die häufiger angewandten Typen eingegangen werden.

1.1. Anordnung von Brennern und Abzügen.

Brenner und Abzüge von Glasschmelzhafenöfen liegen vielfach in der Ofensohle, sie werden dann als Herdbrenner bezeichnet. Diese Konstruktion geht auf die alten direkt befeuerten Öfen zurück, sie wurde bei den Öfen mit eingebautem Generator und auch später bei den Regenerativöfen beibehalten. Ihr großer Vorteil besteht darin, daß man mit dem Bütenbrenner in einfacher Weise eine Verbindung zwischen Kammern und Ofenraum herstellen kann. Außerdem ist es möglich, bei Hafenbruch oder Übersäumen von Häfen die Brenner gleichzeitig als Abflußweg des Glases zur Glastasche zu benutzen. Man kann bei dieser Konstruktion auch einen recht langen Flammenweg erzielen, da die Flamme in großem Bogen durch den größten Teil des Ofenraumes zieht, ein Vorteil, der bei kleinen generatorgasbeheizten Öfen nicht zu unterschätzen ist. Allerdings beobachtet man bei diesen Öfen häufig sehr lange Flammen, die weit in den abziehenden Brenner reichen. Man scheut sich, zu kurze Flammen einzustellen, da man hiervon Schäden an den Häfen erwartet, und nimmt deshalb (wohl zu Unrecht) lange Flammen in Kauf.

Ein weiterer Nachteil der Herdbrenner liegt in der sehr starken Abnutzung der Brennermündung durch herablaufendes Glas. Nur bei regelmäßiger Reparatur läßt sich ein ordnungsgemäßer Betrieb aufrechterhalten. Trotzdem bleibt der Brenner der schwächste Teil des Ofens und gibt häufig Anlaß zur Löschung der Anlage. Außerdem ist es ein Nachteil der meisten Herdbrenneröfen, daß die Kammern unterhalb des Ofenraumes liegen, so daß Herdglas leicht durch die heiße Hafentank in die Kammer eindringt. Hierdurch entstehen häufig Betriebsstörungen. Oft läuft auch beim Reparieren der Brenner Stampfmasse in die Glastasche, wo sie nur schwer zu entfernen ist.

Man kann diesen Übelständen teilweise abhelfen, indem man Kühlkanäle unterhalb des Herdes anbringt, beeinträchtigt damit aber einen Vorteil des Herdbrennerofens, nämlich den der geringen Wärmeabgabe durch die Herdfläche nach unten. Die sogenannte Grundhitze wird im Hafenofenbetrieb als notwendig angesehen, um die Häfen bis zum Schluß der Arbeitszeit warm zu halten. Der kleine Glasrest, der sich dann noch im Hafen befindet, kann von oben her schlecht aufgeheizt werden; es ist deshalb erwünscht, wenn der Hafen entweder aus den Bankplatten Wärme aufnehmen kann oder zumindest dorthin nicht zuviel Wärme abgeben muß und wenn der untere Teil des Hafens von Flammen oder Abgasen umspült wird. Da diese Bedingung in mehr oder weniger großem Ausmaße von fast allen Bauarten, außer vom reinen Oberflammenofen, erfüllt wird, braucht das Problem der Grundhitze wohl nicht als sehr schwerwiegend betrachtet zu werden. Es mag als Nachteil erscheinen, daß die Herdbrenner einen Teil der Herdfläche in Anspruch nehmen, der dadurch nicht mit Häfen ausgesetzt werden kann, so daß für eine gegebene Leistung ein verhältnismäßig großer Ofen erforderlich wird. Der Wärmeverbrauch ist jedoch ungeachtet dieses größeren Flächenbedarfs günstiger, als wenn die Brenner oberhalb der Herdfläche in der Ofenwand lägen. Solche von außen eingebauten Brenner haben eine größere wärmeabstrahlende Fläche als die Herdbrenner.

Um die Nachteile der Herdbrenner zu vermeiden, versucht man vielfach, die Brenner in der Seitenwand des Ofens unterzubringen und nur die Abzüge in den Boden zu legen, um sie zugleich als Glasabfluß benutzen zu können. Derartige Konstruktionen haben sich bewährt — kommen allerdings wegen der Flammenführung und Temperaturverteilung nur für rekuperativ betriebene Öfen in Frage und sind vornehmlich kleinen Anlagen vorbehalten.

1.2. Wärmerückgewinnung.

1.2.1. Wärmetechnisches Verhalten.

Der Regenerator überwiegt auch heute noch in Deutschland im Hafenofenbau bei weitem gegenüber dem Rekuperator, jedoch spielt hier wohl die Tradition eine größere Rolle als die betrieblichen Vorteile. Der Hauptvorteil des Regenerativsystems, die hohe Vorwärmtemperatur für Gas und Luft, wird bei Hafenöfen nicht in dem Maß wirksam wie bei Wannen, da man mit Rücksicht auf die Haltbarkeit der Häfen die Abgastemperatur nicht beliebig steigern kann. Bei den meisten Bütenöfen traditioneller Bauart werden zudem die mit dem Regenerator gegebenen Möglichkeiten nicht

voll ausgenutzt. Weiter können die Regeneratoren nicht beliebig vergrößert werden, da während des Ausarbeitens des Ofens nur mit schwachem Feuer gearbeitet wird, so daß sich die Regeneratoren abkühlen. Würde man sie zu groß bemessen, so gelänge es nicht, sie während der Schmelzzeit auf ausreichende Temperatur zu bringen. Trotzdem müßte es möglich sein, Vorwärmtemperaturen von etwa 1000° C zu erreichen statt nur 800—900° C, mit denen man sich bisher begnügt hat.

Hafenöfen sind feuerungstechnisch schwerer zu beherrschen als Wannenöfen, da sich die Feueinstellung während der 24stündigen Betriebsperiode mit ihrem Wechsel zwischen Schmelzen, Abstehen, Ausarbeiten und wieder Anheizen fortgesetzt ändert. Da es sich zudem meist um Anlagen mäßiger Größe handelt, liegt es nahe, daß auf ihre Bedienung und Überwachung nicht soviel Sorgfalt verwendet wird, wie dies bei großen Wannen geschieht. Die Hafenöfen sind somit in doppelter Weise im Nachteil; es scheint deshalb verlockend, wenigstens die Schwierigkeiten auszuschalten, die vom Regenerativbetrieb herrühren, d. h. das regelmäßige Umsteuern, die damit verbundenen Schwankungen der Temperatur und der Ofenatmosphäre zwischen den beiden Feuerstellungen usw.

Trotzdem gewinnt der Rekuperativbetrieb im Hafenofen in Deutschland nur langsam an Boden, während im Ausland, z. B. in Schweden und Frankreich, Rekuperativöfen bevorzugt werden. Man erreicht mit solchen Öfen bei Ferngasbetrieb sehr günstige Ergebnisse, aber auch bei Generatorgasbetrieb liegt der Wärmeverbrauch in der gleichen Größenordnung wie der von Regenerativöfen, obwohl das Gas im Rekuperativbetrieb nicht vorgewärmt wird. Der Grund dafür liegt nicht nur in der zweckmäßigen Konstruktion solcher Öfen, sondern auch darin, daß Bedienungsfehler wegfallen, die im Regenerativbetrieb, besonders bei kleinen Anlagen, zu Störungen und zu hohen Wärmeverlusten führen.

Bei einem Vergleich zwischen den Betriebsergebnissen von deutschen und ausländischen Hafenöfen ist zu berücksichtigen, daß im Ausland vielfach mit gedeckten Häfen und kontinuierlichem Ofenbetrieb gearbeitet wird. Die Feueinstellung dieser Öfen bleibt abgesehen von dem periodischen Feuerwechsel bei Regenerativöfen über die gesamten 24 h hinweg gleich. Die Häfen werden in einer bestimmten Reihenfolge ausgearbeitet. Um während des Ausarbeitens die notwendigen Glastemperaturen zu erzielen, werden die großen Vorsetzer entfernt. Diese Betriebsweise ist in Deutschland unbekannt.

1.2.2. Betriebsverhalten.

Eine schwierige Aufgabe bleibt immer die Abdichtung und die Haltbarkeit der Rekuperatoren. Von der stehenden Anordnung mit ihren günstigeren Dichtungsverhältnissen wird nicht sehr häufig Gebrauch gemacht, teils wegen der schwierigen Reinigung dieses Systems, teils aus Raumgründen. Bei der liegenden Anordnung muß man dagegen damit rechnen, daß die Anlage mit der Zeit sehr undicht wird, so daß entweder die Wirtschaftlichkeit erheblich nachläßt oder gar der ganze Ofen wegen des Rekuperators stillgesetzt werden muß.

Ein System, das im Ausland bekannt geworden ist, arbeitet deshalb mit doppelten Kästen, d. h. sowohl

Luft wie Abgas sind in besonderen Rekuperatorröhren geführt. Um den hohen Wärmewiderstand dieser doppelten Röhre etwas auszugleichen, werden Röhre kleinen Querschnittes benutzt. Durch hohe Geschwindigkeit von Luft und Abgas verbessert man den Wärmeübergang sowohl abgas- wie vor allem luftseitig.

Die Temperaturbeanspruchung der Rekuperatoren ist im Hafenoferbetrieb geringer als bei Wannen, da die Abgastemperaturen niedriger liegen. Nachteilig macht sich dagegen der täglich zu durchlaufende Temperaturzyklus bemerkbar, der infolge der Wärmeausdehnung der Rekuperatorröhre Bewegungen hervorruft, welche die Dichtigkeit verschlechtern. Eine Haltbarkeit von zwei bis drei Jahren ist indessen bei erträglicher Dichtigkeit durchaus zu erzielen.

Das Reparieren von Rekuperatoren im Betrieb ist ungleich schwieriger als das Nachsetzen von Kammern. Für extrem lange Ofenreisen eignet sich deshalb der Rekuperator nicht. Es ist aber durchaus zweifelhaft, ob Ofenreisen von sechs und mehr Jahren, wie man sie bei manchen Hafenöfen findet, wirtschaftlich gerechtfertigt sind. Bei Ofenreisen dieser Dauer werden die Ersparnisse, die sich aus dem Hinausschieben der Reparatur ergeben, oft durch die erhöhte Aufwendung für Brennstoff und für die laufende Instandhaltung wieder ausgeglichen. Es ist deshalb nicht nötig, auf derartig lange Ofenreisen hinzuwirken, eher sollte man versuchen, dem Vorbild des Wannenbetriebes folgend, die Reparaturzeit zu verkürzen, wenn kein Reserveofen zur Verfügung steht.

Die Verschmutzung der Gitterwerke und Rekuperatoren ist bei Hafenöfen erheblich. Beim Einlegen mit der Schaufel entwickelt das meist verwendete trockene Gemenge viel Staub, der in die Kammern gelangt. Diese werden häufig nicht so sorgfältig gereinigt, wie das im Wannenbetrieb üblich ist, man zieht es vor, das Gitterwerk nach einem Jahr oder weniger neu zu setzen; bei Rekuperatoren dagegen ist eine regelmäßige Reinigung unerlässlich.

Die Beobachtung einer Reihe von Öfen ergab, daß die Regeneratoren sehr verschieden bemessen wurden. Die Gitterwerksbelastung schwankte zwischen 8000 und 20000 kcal/h und m² Heizfläche der Luftpammern und etwa in der gleichen Größenordnung für die Gaskammern.

Die Größenunterschiede zwischen Gas- und Luftpammer sind manchmal recht gering, gelegentlich sind sogar beide Kammern gleich groß. Diese Lösung befriedigt nicht, es ist ohne Zweifel günstiger, wenn die Gaskammer um 25—40% kleiner ist als die Luftpammer.

1.2.3. Verhalten während des Ausarbeitens.

Eine besondere Schwierigkeit bietet im Regenerativbetrieb die Feuerführung während der Arbeitsperiode. Wechselt man die Feuerstellung wie üblich, so schwanken die Glastemperaturen im Takte des Umsteuerns und das Ausarbeiten wird erschwert. Als Ausweg benutzt man vielfach die sog. Konstantfeuerung — man läßt während der Arbeit an beiden Ofenseiten gleichzeitig Gas und Luft zuströmen und zieht durch ein besonderes Abzugssystem — den Konstantkanal — direkt zum Kamin ab. Bei diesem System kühlen sich die Kammern in der Arbeitsperiode erheblich ab. Wenn man ohne Ventilator arbeitet, gelingt es nicht, während

des Wiederaufheizens der Anlage die nötige Verbrennungsluftmenge zu fördern, der geringe Auftrieb in den abgekühlten Kammern reicht dafür nicht aus. Derartige Öfen arbeiten während des Aufheizens und zu Beginn der Schmelze immer mit Luftmangel. Die Verwendung von Ventilatoren während des Aufheizens hat sich bewährt. Der allgemeinen Verbreitung stehen wohl mehr traditionelle als wärmewirtschaftliche Gründe gegenüber.

Ein bisher wenig begangener Ausweg aus dieser Schwierigkeit besteht darin, daß man keinen Konstantkanal benutzt, sondern in der Mitte des Ofens einen Hilfsbrenner anlegt, der zugleich als Glastasche dient. Dieser Brenner wird während des Ausarbeitens mit kaltem Gas und kalter Luft betrieben, die Abgase ziehen dann durch alle Kammern gleichzeitig ab. Die Kammern bleiben dadurch genügend warm und können bei Beginn des Aufheizens eine ausreichende Luftmenge fördern. Ohne Zweifel arbeitet aber während der Arbeitsperiode ein Rekuperativofen am günstigsten, denn er bringt ohne zusätzliche Einrichtungen eine konstante Beheizung der einzelnen Häfen.

Es bleibt festzuhalten, daß für die Hafenöfen der Rekuperator beträchtliche Vorteile bietet und bei guter Wirtschaftlichkeit eine Lebensdauer von 2–3 Jahren erreicht. Am Hafenofer ist der Rekuperator dem Regenerator nahezu gleichwertig, die Wahl hängt von den Besonderheiten des Einzelfalles ab, nicht zuletzt vom Brennstoff. Bei Ferngas- und Ölbetrieb wird man sich leichter zum Rekuperator entschließen als bei Generatorgas.

1.3. Art der Beheizung.

Auch heute noch werden die meisten Hafenöfen mit Generatorgas beheizt, da an ihrem Standort oft kein

Ferngas zur Verfügung steht. Hat man aber die Auswahl zwischen Koksofen- und Generatorgas, so wird dem ersteren ungeachtet der wesentlich höheren Kosten häufig der Vorzug gegeben, da es eine gleichmäßigere Betriebsführung gewährleistet und eine eigene Generatorgasanlage entbehrlich wird. Die Neigung zur Einführung des Ferngasbetriebes ist im allgemeinen um so größer, je kleiner eine Anlage und je niedriger der Brennstoffkostenanteil an den Gesamtkosten der Produktion des Werkes ist.

Ölfeuerung wird an Hafenöfen bisher noch selten benutzt, da die beiden Hauptvorteile dieser Brennstoffart, nämlich Leistungssteigerung und Kostenersparnis, für den Hafenofer nicht so sehr ins Gewicht fallen wie bei Wannen und da der Schwefelgehalt des Öls für hochwertige Gläser unerwünscht ist. Die Leistung eines Hafenoferns liegt durch den nutzbaren Hafeninhalte weitgehend fest. Man könnte zwar die Dauer eines vollständigen Arbeitszyklus, der meist 24 Stunden beträgt, durch Ölheizung etwas verkürzen, wegen der begrenzten Haltbarkeit der Häfen ist das jedoch nur in gewissen Grenzen möglich. Mit Rücksicht auf die Arbeitseinteilung besteht auch kein großes Interesse daran, die ganze Betriebsperiode auf weniger als 24 Stunden einzuschränken, da man ohnehin mit einer Arbeitsschicht nur wöchentlich sechs Schmelzen ausarbeiten kann. Nur bei einer größeren Anzahl von Öfen könnte man mit abgestufter Arbeitszeit Vorteile erreichen.

Die Beheizung von Hafenöfen mit Öl bereitet außerdem bautechnisch größere Schwierigkeiten als die von Wannen, da die Mehrzahl der Hafenöfen mit Herdbrennern ausgerüstet ist, die für den Ölbetrieb wenig geeignet sind. Will man derartige Öfen mit Öl betreiben, dann wird eine einschneidende Änderung der Flammenführung notwendig. Das Öl muß von oben oder von

Tabelle 1. Bauarten von Hafenöfen.

	Bez.	Bezeichnung	Lage d. Brenner	Lage d. Abzüge	Geeignet für		Schema d. Flammenweges	Art der Wärmerückgewinnung	Brennstoffe			Bemerkungen
					Hafen-zahl	Herdfäche [m²]			Gen.-Gas	Fern-gas	Öl	
Herdbrenner-öfen	a	Büttenofen	Herd		6—14	10—20		Regen.	ja	+	+	—
	b	Schlitzofen	Herd		6—14	15—20		Regen.	ja	+	+	—
	c	Ofen mit Über-schlagender Flamme	Herd*)		2 oder 4	3—8		Regen.	ja	ja	+	auch als Zellenofen
	d	Oberflammenofen mit übersch. Flamme	Herd °)		6—10	8—15		Regen.	ja	ja	+	—
Seitenbrenner-öfen	e	Oberflammenofen	Stirnwand		bis 20	bis 60		Regen.	ja	ja	ja	—
	f	Längsflamme nach unten abziehend	Stirnwand	Herd	1—3	—6		Rekup.	ja	ja	ja	auch als Zellenofen
	g	Gegenflammenofen	Stirnwand	Herd	2—4	—8		Rekup.	ja	ja	ja	—
	h	Ofen mit liegender U-Flamme	Stirnwand	Stirnwand	2—6	—10		Regen.	ja	ja	ja	—
	i	Ofen mit stehender U-Flamme	Stirnwand	Stirnwand	4—6	—10		Rekup.	ja	ja	ja	—
Rund-öfen	k	Rundofen	Herd*)	Herd	6—10	8—14		Rekup.	ja	ja	+	—
	l	Halbrundofen	Herd*)	Herd	3—5	5—9		Rekup.	ja	ja	+	—

+ Möglich, Brennstoffzufuhr grundlegend anders als bei Generatorgas.
 *) Auch oberhalb der Herdfäche und dadurch gegen Glaseintritt geschützt.
 °) Mit Feuerbrücke.

der Seite so in den Ofenraum eingespritzt werden, daß es sich mit dem aus dem Herdbrenner kommenden Luftstrom gut vermischt und die einzelnen Öltröpfchen völlig ausbrennen können. Ein Einführen der Ölzer-

Angaben, für welche Anzahl von Häfen bzw. für welche Herdflächengrößen die einzelnen Bauarten geeignet sind. Ferner wird aufgeführt, an welcher Stelle des Ofens die Brenner bzw. die Abzüge liegen, welche Art der Wärmerückgewinnung in Betracht kommt und für welche Brennstoffe sich das jeweilige System eignet.

Die einzelnen Typen sind in drei Gruppen zusammengefaßt:

Herdbrenneröfen,
Seitenbrenneröfen und
Rundöfen.

Bei den Rundöfen liegen zwar die Brenner zum Teil auch in der Herdfläche, meistens jedoch nach einer besonderen Konstruktion oberhalb des Herdes. Deshalb und auch ihres ganz andersartigen Aufbaues wegen wird diese Gruppe besonders behandelt.

Man findet in der Tabelle zunächst den bekannten Bütenofen (Bild 2), der lange Zeit der Normalofen der Hohlglashütten war und, mit 6–14 Häfen und 2–4 Sätzeln ausgerüstet, Kelchglas, Wirtschaftsglas aller Art, Beleuchtungsglas und chemisch-technisches Hohlglas erzeugte. Die alte Bezeichnung Siemens-Ofen bezieht sich auf den einfachen

Bütenofen, als Siemens-Siebert-Öfen werden Bütenöfen mit Konstantkanal bezeichnet.

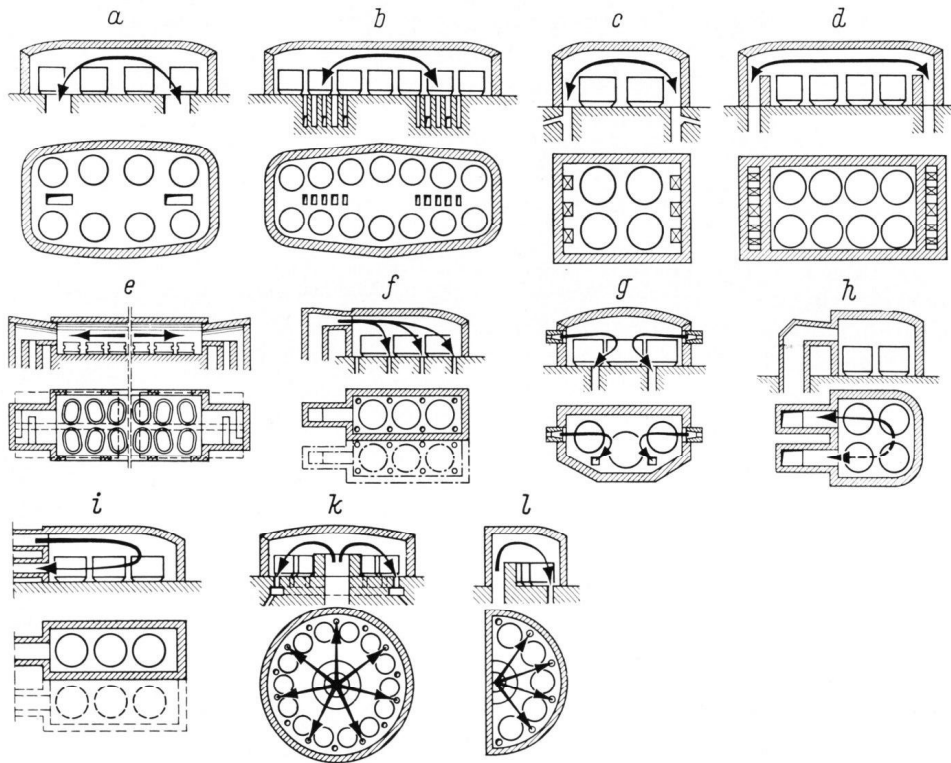


Bild 1. Bauarten von Hafenoefen (schematisch), a: Bütenofen; b: Schlitzofen; c: Ofen mit überschlagender Flamme; d: Oberflammenofen mit überschlagender Flamme; e: Oberflammenofen mit Stirnbrennern; f: Längsflammenofen mit Abzug nach unten; g: Gegenflammenofen; h: Ofen mit liegender U-Flamme; i: Ofen mit stehender U-Flamme; k: Rundofen; l: Halbrundofen.

stäuber durch oder unter dem Ofengesäß in den Herdbrenner ist prinzipiell zwar möglich, aber derart umständlich, daß bisher kaum Gebrauch davon gemacht wurde. Die entstehende Ölflamme muß zudem einen gewissen Abstand von den Hafenwänden haben, um lokale Überhitzungen zu vermeiden. Das Glas darf durch auftreffende Ölkoksteilchen und sonstige Rückstände nicht verunreinigt werden.

Insgesamt ist zu sagen, daß der Hafenoefen mit Herdbrennern prinzipiell auch mit Öl betrieben werden kann. Hochwertige Gläser können dabei aber nur mit gedeckten Häfen erschmolzen werden.

All diese Gründe dürften dafür verantwortlich sein, daß die Ölheizung bisher für Hafenoefen noch nicht die Bedeutung erlangt hat, die sie bei den Wannen besitzt. Ohne Zweifel ist aber die Ölheizung für viele Betriebe allein schon wegen des Wegfalls der Generatoren interessant. Auch in der Ofenbedienung hat das Öl gegenüber dem Generatorgas mancherlei Vorteile. Abzuwarten bleibt, ob die Ölvergasung sich für den Betrieb regenerativ beheizter Hafenoefen eignet, bei Rekuperativheizung hat sie sich schon bewährt.

2. Die wichtigsten Bauarten von Hafenoefen und ihre Verbreitung.

In Tabelle 1 und dem dazugehörigen Bild 1 sind die in Deutschland bevorzugten Bauarten der Hafenoefen zusammengestellt. Man findet dort eine schematische Darstellung des Flammenweges im Ofen, weiter

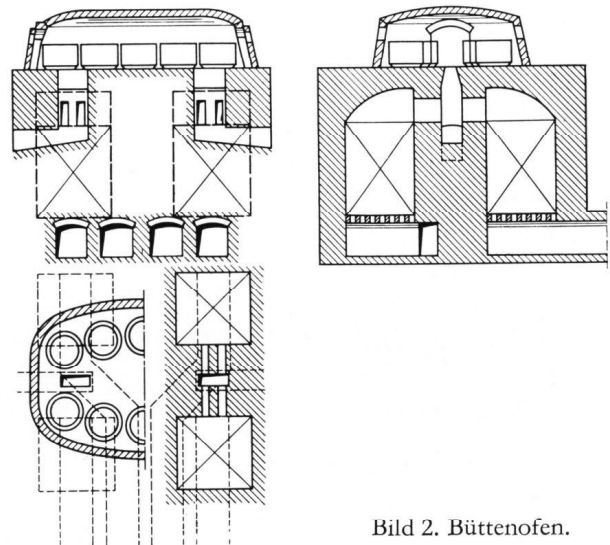


Bild 2. Bütenöfen.

Die einzelnen Ausführungen unterscheiden sich vorwiegend durch die Lage der Kammern. Gas- und Luftkammern werden entweder jeweils auf der gleichen Ofenseite oder über Kreuz angebracht; weiter unterscheidet man „liegende“ und „stehende“ Kammern, im Gegensatz zum Wannenofen werden aber die liegenden Kammern hier nicht mit Glattschachtgittern ausgerüstet. Man benutzt immer Rostgitter. Die Be-

zeichnungen „liegend“ und „stehend“ geben nur an, ob die senkrechte oder waagerechte Ausdehnung größer ist. Der Unterschied zwischen Länge und Höhe ist meist gering, das Gitterwerk wird schräg durchströmt und schlecht ausgenutzt. Ähnlich wie im Wannenbau könnte man mit hohen stehenden Kammern oder mit mehrzügigen, liegenden Glattschachtkammern Verbesserungen erzielen.

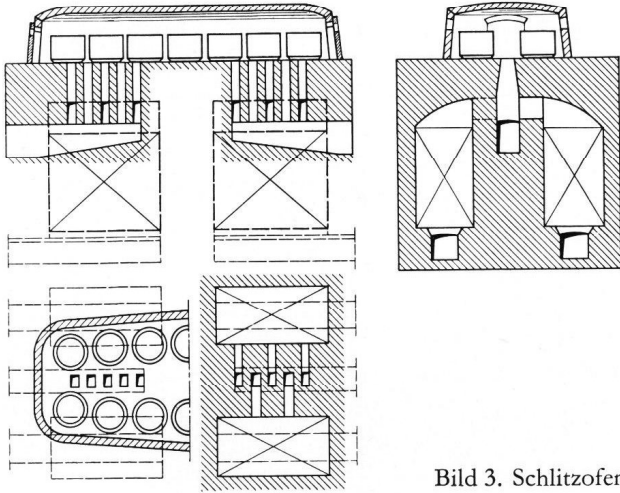


Bild 3. Schlitzofen.

Die Flammenentwicklung wird von der Bütenkonstruktion beeinflusst, insbesondere von Zahl, Größe und Anordnung der als „Stromlöcher“ bezeichneten Zuleitungen von den Kammern zur Büte. Einige Ausführungen zeigt Bild 2.

Eine Abart des Bütenofens ist der heute kaum noch gebräuchliche Schlitzofen (Bild 3). Die Mischung von Gas und Luft soll bei diesem Ofen nicht im Brenner, sondern erst im Herdraum stattfinden. Die Flamme wird dadurch lang, so daß sich die Bauart in erster Linie für sehr große Öfen eignet. Schlitzöfen wurden hauptsächlich zur Tafelglasschmelze benutzt, sind aber auch vereinzelt in Hohlgeschütten in Gebrauch. Büten- und Schlitzöfen sind Generatorgasöfen, sie lassen sich nicht ohne weiteres auf andere Brennstoffe umstellen. Das Vordringen des Ferngases und des Öles ist mit dafür verantwortlich, daß immer mehr andere Ofenkonstruktionen in Gebrauch kommen und der Bütenofen an Bedeutung verliert.

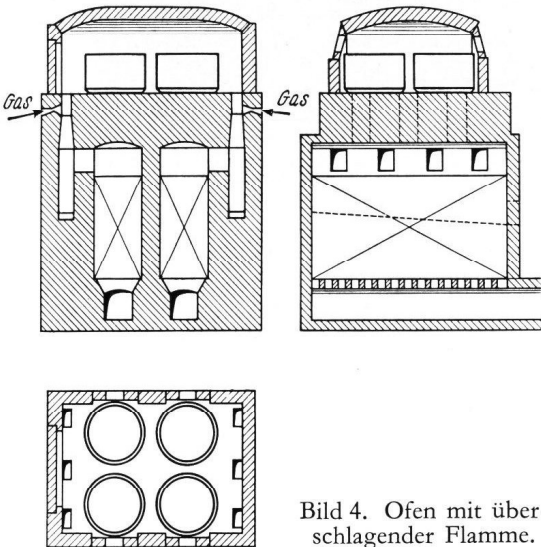


Bild 4. Ofen mit überschlagender Flamme.

Eine Abwandlung des Büten- oder Schlitzofens für Kleinanlagen ist der Ofen mit überschlagender Flamme (Bild 4), bei dem die Herdbrenner nicht zwischen den Häfen, sondern an der Ofenwand liegen. Die Flamme

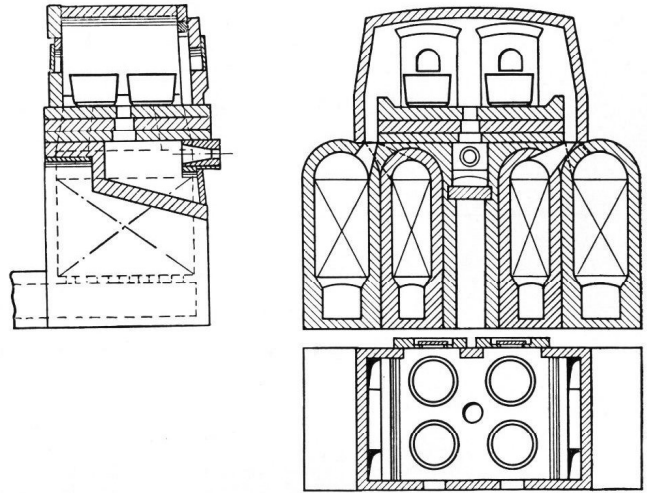


Bild 5. Ofen mit überschlagender Flamme mit Konstantfeuer aus einem Herdbrenner.

zieht an der Seitenwand aufwärts, wird am Gewölbe umgelenkt und an der Gegenwand wieder nach unten geführt. Vielfach werden die Brenner etwas erhöht gelegt, um Glaseintritt zu vermeiden. Man braucht dann

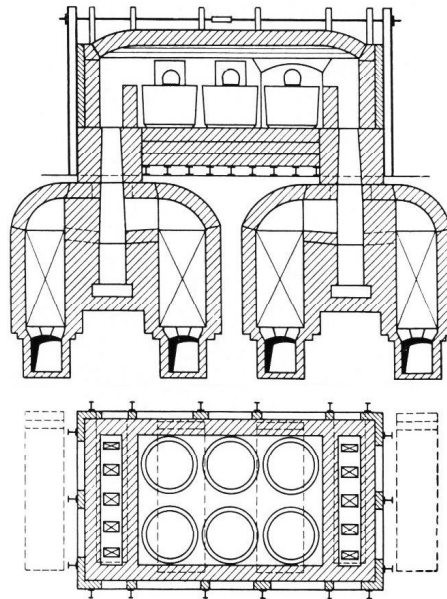


Bild 6. Oberflammenofen mit überschlagender Flamme (Bismarck-Ofen).

eine besondere Glastasche, die in einzelnen Fällen in der Mitte des Ofens liegt und während der Arbeitsperiode als Brenner benutzt werden kann (Bild 5).

Es ist bei solchen Öfen nicht ganz leicht, die Gewölbewiderlager, Arbeitslöcher und Hafentore in passender Weise unterzubringen. Trotzdem gibt es Ausführungen, bei denen zwei gegenüberliegende Seitenwände völlig geschlossen sind, so daß man eine ganze Anzahl dieser Öfen zum Zellenofen aneinanderreihen kann, um darin Gläser verschiedener Farbe oder verschiedenen Schmelzverhaltens zu erzeugen.

Eine Abart dieses Ofens ist der Oberflammenofen mit überschlagender Flamme (Bild 6), welcher zwar Herd-

brenner besitzt, aber durch Feuerbrücken dafür sorgt, daß die Flamme nicht unmittelbar auf die Randhäfen trifft. Als Nachteil wird gewöhnlich die fehlende Grundhitze genannt, da die Flamme die Häfen nur an der Oberkante berührt. Man baut ihn deshalb vorzugsweise für die Herstellung großer Gegenstände, bei denen die Häfen in relativ kurzer Zeit weitgehend ausgearbeitet werden. Auch steht der Produktion kleiner Artikel die geringere Anzahl von Werkstellen gegenüber, die an den geraden Seitenwänden unterzubringen sind, da die

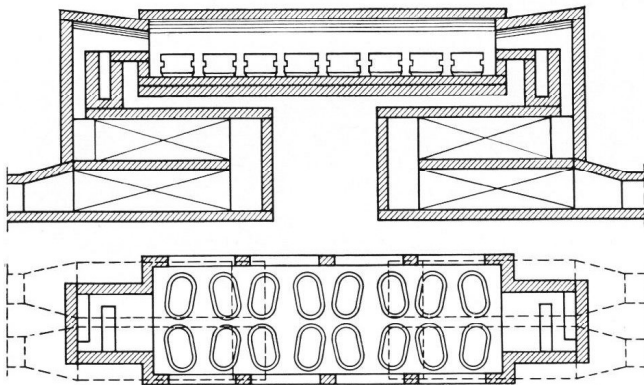


Bild 7. Oberflammenofen mit Stirnbrennern.

Stirnseiten von den Brennern beansprucht werden. Arbeitet man große Stücke, so bereitet die Glas-temperatur keine ernstlichen Schwierigkeiten.

Der Ofen wird meist für sechs oder acht Häfen gebaut, bei längeren Öfen gelingt es nicht mehr, die Temperatur genügend gleichmäßig zu verteilen. Unter der Gruppe der Seitenbrenneröfen ist zunächst der Oberflammenofen (Bild 7) zu nennen, der ähnlich wie ein Siemens-Martin-Ofen oder wie eine Längsbrennerwanne nur zwei Brenner an den beiden Stirnseiten besitzt. Dieses System wird heute ausschließlich für Spiegelglashafenöfen benutzt, d. h. für Anlagen mit 50–60 m² Herdfläche. Dieser Ofen war bis zur Einführung des Spiegelglaswalzens aus der Wanne der Normalöfen der Spiegelglasindustrie. Heute ist er nur noch in wenigen Exemplaren für die Herstellung von Spiegelglas besonderer Zusammensetzung bzw. Farbe oder für sonstige Spezialzwecke in Gebrauch. Derartige Öfen unterscheiden sich sehr von den Hohlglasöfen, z. B. durch die Größe der Häfen (Inhalt bis 2 t) und deren ovale Form, die es gestattet, sie zum Guß mit einer Kranzange aus dem Ofen zu nehmen. Der Ofen besitzt für je zwei Häfen ein großes Hafentor mit Hubtür, während der Hohlglasöfen nur wenige Hafentore zum Entfernen der unbrauchbar gewordenen und zum Eintragen der neuen Häfen aufweist.

Seitenbeheizte Hohlglasöfen werden vorwiegend als Längsflammenöfen mit nach unten abziehender Flamme gebaut (Bild 8), ein System, das in erster Linie für Kleinanlagen in Betracht kommt, in Doppelausführung aber auch bis zu sechs Häfen aufnehmen kann. Da bei kleinen Öfen der Aufbau der Werkstellen keine Schwierigkeiten macht, läßt sich ein Teil der Ofenwand für das Unterbringen der Brenner erübrigen. Solche Öfen werden in den verschiedensten Varianten gebaut, sei es, daß man zwei Brenner etwa nach dem Prinzip des Gegenflammenofens anordnet, oder die Grundfläche in der verschiedensten Weise abwandelt, auch Übergänge zu dem später erwähnten Halbgrundofen sind möglich.

Die Hafenzahl ist auf sechs begrenzt, da es schwerfällt, mit einer Flamme mehr als drei in einer Reihe stehende Häfen gleichmäßig zu beheizen, mit zwei Abteilungen kommt man also auf sechs Häfen. Der Ofen ist für Rekuperativbetrieb eingerichtet, Brenner und Abzüge liegen unsymmetrisch. Die Abgasströme durch eine Glastasche, die unterhalb des Ofens liegt.

Als Brennstoff kommt Öl oder Koksofengas in Frage, beide Brennstoffe haben sich für Öfen dieses Typs bewährt. Generatorgas ist wegen Fehlens der Vorwärmung weniger geeignet.

Selten gebaut wird der Hafenofen mit liegender U-Flamme, der etwa einer kleinen U-Flammenwanne gleicht. Die Feuerführung bei derartigen Anlagen ist schwierig, sowohl während der Schmelze wie besonders während des Ausarbeitens. Auch ist die stehende U-Flamme schwer zu beherrschen; der im Bereich der Häfen liegende abziehende Ast läßt sich nur schlecht führen. Man findet deshalb die beiden letztgenannten Bauarten nur vereinzelt.

Der Rundofen (Bild 9) ist in Frankreich als Schwaller-Ofen und in den nordischen Ländern als Hermanssen-Ofen sehr verbreitet. Der Brenner ist oft als zylindrischer Aufbau bis zur Hafenoberkante geführt, so daß die Flamme nach allen Seiten über die Häfen hinwegziehen kann und die Abgase den Hafen, vor allem an der kalten Außenseite, umspülen, da sie zwischen den Häfen und der Ofeninnenwand abgezogen werden.

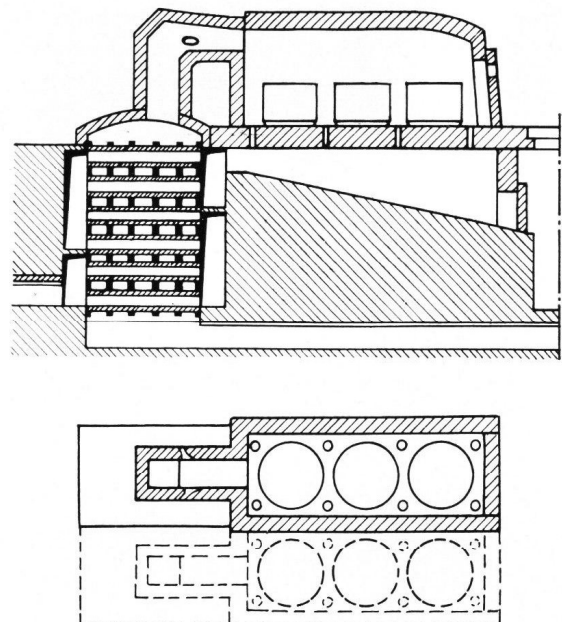


Bild 8. Längsflammenofen mit nach unten abziehender Flamme.

Der Ofen wird gewöhnlich als Rekuperativofen gebaut und bringt günstige Wärmeverbrauchszahlen, selbst mit Generatorgas aus Braunkohlen-Briketts, trotzdem man in diesem Fall gezwungen ist, auf die Gasvorwärmung zu verzichten. Allerdings läßt sich die Herdfläche nur dann zweckmäßig ausnutzen, wenn man die Zahl der Häfen auf 6–10 begrenzt; bei größeren Öfen wird zum Schaden der Wirtschaftlichkeit das unausgenutzte Mittelfeld recht groß. Man kann diesen Nachteil zwar durch Benutzung ovaler Häfen entgegenarbeiten, schmälert damit aber

wieder einen anderen Vorteil des Ofens, nämlich das günstige Verhältnis von Umfang zu Glasspiegelfläche, welche

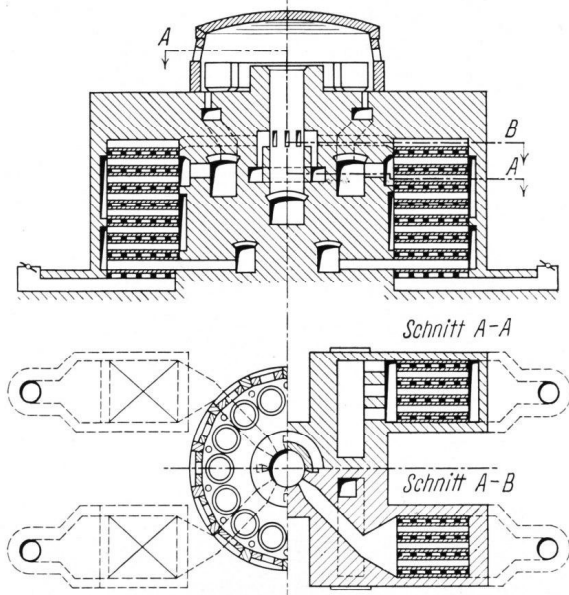


Bild 9. Rundofen.

es gestattet, viele Werkstellen unterzubringen, so daß der Rundofen als Kelchglasöfen besonders geschätzt wird.

Das günstige wärme-wirtschaftliche Verhalten des Ofens ist wohl darauf zurückzuführen, daß die Flamme wegen der Aufspaltung in viele kleine Einzelzweige gut ausbrennt, wobei die Abgase die einzelnen Häfen an der Außenseite umspülen; sie können also ihren Wärmeinhalt noch im Ofenraum wirkungsvoll abgeben. Als besonderer Vorteil des Rundofens gilt es, daß man die Flammenverteilung beeinflussen kann. Der Ofen wird je nach Größe mit zwei oder vier Rekuperatoren gebaut, welche getrennte Abgasschieber erhalten. Man kann die einzelnen Rekuperatoren nach Bedarf verschieden stark mit Abgas beaufschlagen und dementsprechend auch die Flammenverteilung im Herdraum beeinflussen. Ein völlig symmetrischer Gang ist bei großen Öfen schwer zu erreichen, jedoch läßt sich die Unsymmetrie in dem technisch zulässigen Rahmen halten.

Eine Abart dieses Systems für kleinere Anlagen wird als Halbrundofen gebaut, hat jedoch nicht alle Vorteile des Rundofens, da die Außenfläche relativ groß und der Wärmeverbrauch entsprechend hoch ist.

In der Hafenofernschrift der WBG [1] sind 61 Öfen aufgeführt, darunter 25 für Tafel- und Spiegelglas, der

Rest für Hohlglas. Unter den 36 Hohlglasöfen sind 30 Bütenöfen, 5 Schlitzöfen und 1 Oberflammenofen. Heute sind viel mehr Bauarten in Gebrauch, jedoch überwiegen auch jetzt noch die Bütenöfen bei weitem. Die neueren Bauarten, besonders der Kleinofen mit überschlagender Flamme und der Rundofen, setzen sich nur allmählich durch.

3. Wärmetechnik der Hafenofernen.

3.1. Wärmebilanz.

In der gesamten Glasliteratur findet man nur eine Wärmebilanz eines Hafenoferns, — sie wurde 1949 von NORDENSSON und MÖRKEBERG veröffentlicht [3]. Die Aufstellung einer Bilanz wird durch die periodische Betriebsweise erschwert; man kann entweder eine Durchschnittsbilanz über eine ganze Betriebsperiode von 24 Stunden oder getrennte Bilanzen z. B. für die Schmelz- und Arbeitsperiode aufstellen. Die schwedischen Autoren wandten beide Methoden an — sie zeigten, daß der Gesamtwirkungsgrad der Anlage mit etwa 7% Nutzeffekt recht niedrig liegt. Größere Hafenofernen liegen im allgemeinen günstiger, sie erreichen je nach Ausarbeitung Wirkungsgrade von 8–15%.

Versucht man, die Vorgänge der Wärmez- und -abfuhr und der Wärmespeicherung genauer zu erfassen, so erhält man ein Wärmeflußbild nach Bild 10.

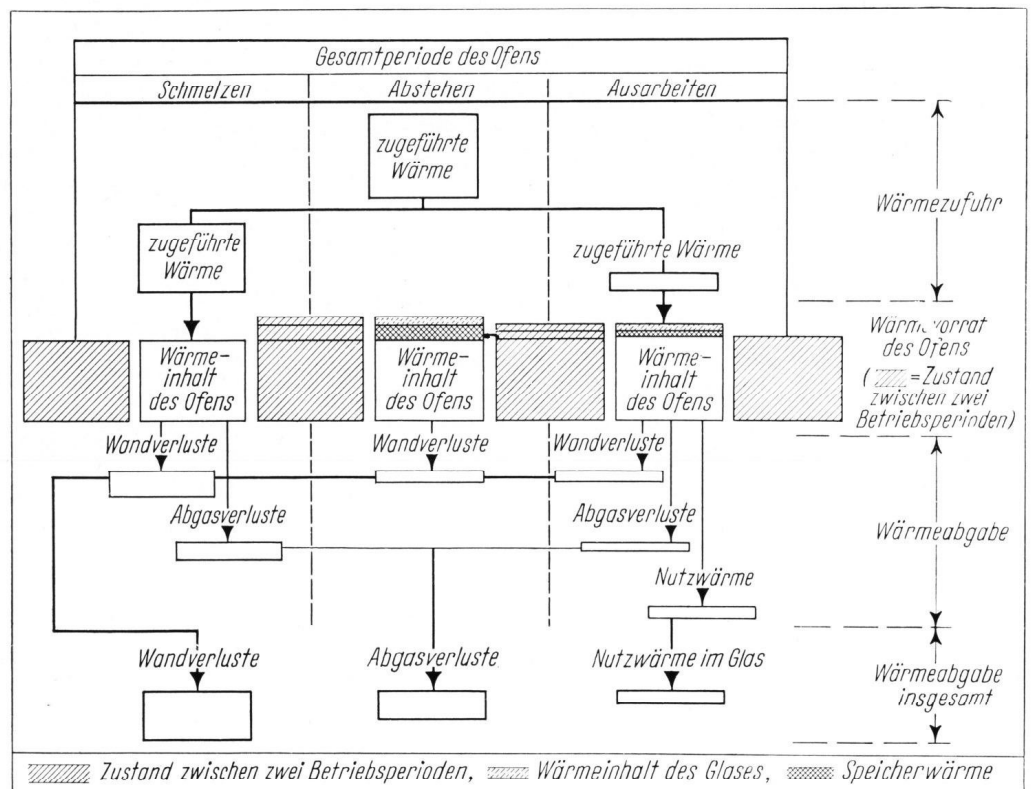


Bild 10. Wärmebilanz getrennt für Schmelz-, Abste- und Arbeitsperiode.

Leider ist in den meisten Betrieben die Aufstellung von Wärmebilanzen nahezu unmöglich, da gewöhnlich mit ungereinigtem Generatorgas gearbeitet wird, das von einer zentralen Anlage aus an viele Stellen des Betriebes geleitet wird, so daß exakte Verbrauchsmessungen nicht möglich sind; bei den ferngasbeheizten Öfen läßt sich jedoch eine Bilanz ohne große Mühe aufstellen. Sie führt im allgemeinen zu dem Ergebnis, daß die Wandverluste und vor allen Dingen die Abstrahlungsverluste des Ofens sowie die Verluste durch Falschlufteintritt eine

große Rolle spielen, während die Wärmerückgewinnung einen geringeren Effekt hat als beim Wannenofen.

Bild 11 zeigt die Wärmebilanz eines Büttensofens und bringt als Vergleich die entsprechenden Zahlen einer Wanne.

Ohne Zweifel sind die wärmetechnischen Betriebsergebnisse vieler Hafenoefen verbesserungsfähig, vor allen Dingen durch zweckmäßigere Ausgestaltung der Regeneratoren oder Rekuperatoren sowie Isolierung der Wände und des Gewölbes. Bei den mäßigen Be-

an die Güte des Glases (Schlieren) und vom Standort des Hafens im Ofen ab. Will man daher verschiedene Hafenoefen in wärmewirtschaftlicher Hinsicht miteinander vergleichen, dann muß der von Ort zu Ort verschiedene Grad der Ausarbeitung in geeigneter Weise berücksichtigt werden. Hierfür bieten sich verschiedene Möglichkeiten an.

Setzt man den Inhalt des leeren neuen waagrecht stehenden Hafens, bis zur Oberkante gerechnet (V_{100}), gleich 100%, und beträgt das Volumen des tatsächlich ausgearbeiteten Glases (V_{Glas}) z. B. 60%, dann spricht man von einer Ausarbeitung von 60%. Das Volumen des tatsächlich ausgearbeiteten Glases, bezogen auf den Gesamthalt des Hafens, in Prozent ausgedrückt, gibt ein gutes Maß für die Ausarbeitung. Es ist in Tabelle 2 mit a_{100} bezeichnet und durch die Beziehung

$$a_{100} = 100 \frac{V_{\text{Glas}}}{V_{100}} [\%] \quad \text{definiert.}$$

Im allgemeinen wird die ausgearbeitete Glasmenge gewichtsmäßig, z. B. in kg, angegeben. Es empfiehlt sich jedoch, nach der oben angegebenen Definition mit dem Volumen zu arbeiten, da die Gläser unterschiedliche Dichten besitzen und das Volumen des Hafens eine feste gegebene Größe ist.

Die Definition des Wertes a_{100} ist klar und eindeutig, hat jedoch den großen Nachteil, daß eine hundertprozentige Ausarbeitung nach dieser Definition technisch nicht möglich ist. Die Häfen stehen ein wenig schräg, sie können außerdem beim Einschmelzen nie randvoll gefüllt werden, da sonst beim Läutern das Glas überläuft, weiter muß wegen der Kränze und der Technik des Anfangens ein Rest des Glases im Hafen verbleiben. Unter normalen Verhältnissen rechnet man damit, daß höchstens 75% des theoretischen Hafeninhaltes V_{100} ausgearbeitet werden können.

Will man den Begriff der Ausarbeitung so fassen, daß er die tatsächlich ausgearbeitete Glasmenge zu der bestmöglichen Ausarbeitung in Verhältnis setzt, dann empfiehlt es sich, nur 75% des Hafeninhaltes in Ansatz zu bringen und die Ausarbeitung durch die Beziehung

$$a_{75} = 100 \cdot \frac{V_{\text{Glas}}}{V_{75}} [\%] \quad \text{zu definieren.}$$

Man muß dabei allerdings berücksichtigen, daß unter besonderen Bedingungen des Hafeninhaltes, beispielsweise beim Arbeiten von Stangen, 80% und mehr ausgearbeitet werden können. Der Wert a_{75} kann somit in Einzelfällen größer als 100% werden.

Der letzte Teil der Tabelle enthält Angaben über den Wärmeverbrauch der Öfen. Man findet zunächst den Gesamtverbrauch in 10^6 kcal/24 h. Diese Werte beruhen bei den Ferngasöfen auf genauen Mengenmessungen, bei den übrigen Öfen auf möglichst sorgfältigen Schätzungen unter Berücksichtigung der hierfür in Betracht kommenden Hilfsmittel wie Verbrauchsunterschiede bei Inbetriebnahme und Stillsetzung des betreffenden Ofens usw. In einzelnen Fällen konnte die Verbrennungsluftmenge gemessen werden, um einen Anhaltspunkt über den Wärmeverbrauch zu gewinnen. Durch Umrechnung wurde der spezifische Wärmeverbrauch in kcal/kg geschmolzenes Glas gefunden und durch weitere Um-

Wärmebilanz einer Glasschmelzwanne

Wärmebilanz eines Glasschmelzhafenoefens

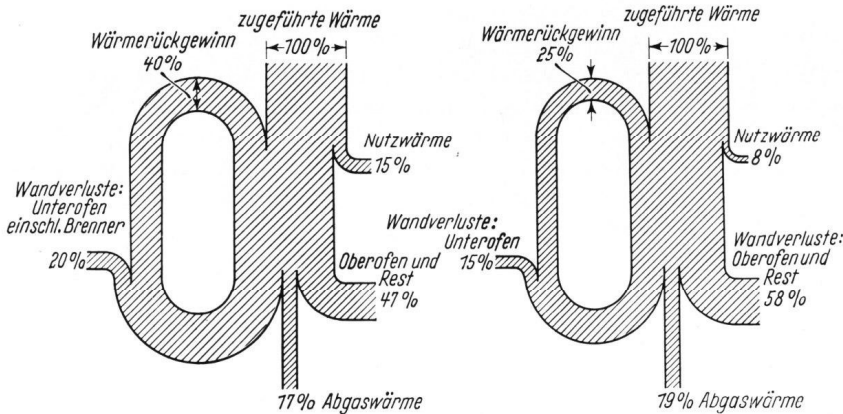


Bild 11. Wärmebilanz eines Büttensofens (rechts) und einer Wanne (links).

triebstemperaturen der Hafenoefen ist eine Isolierung ohne Bedenken möglich, wenn man die vom Wannenofenbau her bekannten Grundsätze der Auswahl des Materials beachtet.

3.2. Betriebsergebnisse neuerer Hafenoefen.

In Tabelle 2 sind die Betriebsergebnisse von 22 Hafenoefen zusammengefaßt, welche in den letzten beiden Jahren von Mitarbeitern der HVG untersucht oder beobachtet worden sind. Der gefundene Querschnitt kann als repräsentativ gelten, lediglich die Öfen mit Seitenbrenner und nach unten abziehender Flamme sowie einige seltener vorkommende Sonderkonstruktionen fehlen. Die Liste enthält:

- 10 Büttensöfen,
- 1 Schlitzofen,
- 5 Öfen mit überschlagender Flamme,
- 1 Oberflammenofen mit überschlagender Flamme,
- 1 Ofen mit stehender U-Flamme und
- 4 Rundöfen.

Die Herdbrenneröfen überwiegen also bei weitem.

Die Tabelle enthält Angaben über Anzahl und Größe der im Ofen aufgestellten Häfen und Sätze, ferner die Gesamtherdfläche der Öfen sowie die freie Glasspiegelfläche der Häfen. Man findet außerdem eine Verhältniszahl, welche angibt, wieviel Prozent der gesamten Herdfläche von den Glasspiegelflächen der Häfen eingenommen werden, also eine Art Ausnutzungsfaktor der Herdfläche.

Die Wirtschaftlichkeit eines Hafenoefens und der auf die erzeugte Glasmenge bezogene Wärmeverbrauch werden in hohem Maße von dem Grad der Ausarbeitung der Häfen beeinflusst. Die Glasmenge, welche in einer Arbeitsperiode aus einem Hafen ausgearbeitet werden kann, hängt von der Art des gefertigten Artikels wie Preß-, Stangen- oder Kelchglas, von den Ansprüchen

Tabelle 2. Betriebsergebnisse von 22 Hafenoefen.

Lfd. Nr.	Bauart	Typ. Bez. der Tafel I	Brennstoff	Hafengroesse (oberer a _{uß} , ø)	Herdfläche	Freie Glas-spiegel-fläche	Glas-spiegel-fläche in % der Herdfläche	Schmelzleistung	Rauminhalt der Hafen V ₁₀₀	Ausarbeitg. bezogen auf theor. Hafeninhalt a ₁₀₀	Ausarbeitg. bezogen auf 75% des Rauminhalts d. Hafens a ₇₅	Gesamt-wärme-verbrauch [10 ⁶ kcal/24 h]	Spezif. Wärme-verbrauch [kcal/kg]	Spez. Wärme-verbr. bei Ausarb. auf 75% d. Hafeninhalts (q ₇₅) [kcal/kg]	Wärmebelastung der Herdfläche [kcal/m ² h]
				Hafen [cm] Sätzel [cm]	[m ²]	[m ²]	[%]	[kg/24 h]	[l]	[%]	[%]				
1	Bürröfen	a	G	90 (8) 100 (2) 105 (2)	65 (2) 60 (2) 70 (2)	5,6	33	2200	2470	38	50	18,2	8300	4700	45000
2	Bürröfen	a	G	100 (6) 100 (6) 100 (6)	65 (2) 65 (2) 65 (2)	5,7	37	3200	2510	55	73	20,6	6400	5000	56000
3	Bürröfen	a	G	90 (10) 95 (8) 85 (6)	70 (2) 50 (2) 70 (2)	5,2	36	2200	2300	41	54	16,3	7400	4500	48500
4	Bürröfen	a	G	80 (4) 100 (2) 90 (2)	70 (2) 70 (2) 65 (2)	4,3	34	3400	1920	75	100	17,0	5000	5000	57000
5	Bürröfen	a	G	80 (4) 100 (2) 90 (2)	70 (2) 70 (2) 65 (2)	4,3	37	1900	2040	40	53	16,8	8800	5150	58300
6	Bürröfen	a	G	80 (4) 100 (2) 90 (2)	70 (2) 70 (2) 65 (2)	4,0	35	2300	1830	54	72	15,1	6500	5000	55000
7	Bürröfen	a	G	80 (6) 75 (2) 90 (6)	60 (4) 60 (4) 60 (2)	3,9	35	1400	1660	36	47	11,8	8400	4600	45000
8	Bürröfen	a	G	90 (6) 90 (6) 75 (4)	60 (2) 60 (4) —	3,1	27	1700	1380	53	71	16,0	9400	7000	58000
9	Bürröfen	a	G	90 (6) 90 (6) 75 (4)	60 (4) 60 (4) —	3,5	30	1500	1620	54	76	10,5	7000	4150	38000
10	Bürröfen	a	G	75 (4) 75 (4) 55 (2)	— — 55 (2)	1,2	24	800	600	57	76	7,0	8750	6900	58000
11	Schlitzöfen	b	G	75 (14)	55 (2)	4,7	36	2800	2220	54	72	22,4	8000	6000	72000
12	Ofen m. übersch. Flamme	c	K	110 (2) 115 (2)	—	3,1	41	2000	1450	59	79	13,0	6500	5300	72000
13	Ofen m. übersch. Flamme	c	G	90 (2) 90 (8)	—	0,9	—	720	410	75	100	6,8	9400	9400	(112000)
14	Ofen m. übersch. Flamme	c	G	90 (8) 100 (4)	—	3,6	—	2400	1660	62	81	16,5	6900	5800	(69000)
15	Ofen m. übersch. Flamme	c	G	100 (4) 100 (4)	—	2,3	41	1600	1020	67	89	10,2	6400	5650	77000
16	Ofen m. übersch. Flamme	c	G	100 (4) 100 (4)	50 (4)	2,9	38	1900	1190	68	91	22,6	11800	10850	122000
17	Oberflammen m. übersch. Flamme	d	G	95 (8)	—	4,1	36	3100	1830	72	96	15,7	5100	4900	37500
18	Ofen m. stehend. U-Flamme	i	K	90 (12)	—	2 × 2,7 = 5,4	48	4350	2 × 1235 = 2470	75	100	31,5	7200	7200	116000
19	Rundöfen	k	G	85 (14) 100 (1) 110 (4)	—	5,5	29	1160	2600	44,6	59,5	18,4	5000	4200	40400
20	Rundöfen	k	G	105 (3) 90 (8) 100 (3)	—	5,6	42	4440	2680	70	94	16,9	3820	3600	53400
21	Rundöfen	k	K	90 (8) 100 (3)	—	3,6	33	3200	1630	83	110	14,2	4450	4900	54000
22	Rundöfen	k	K	90 (5)	—	3,9	35	970	1770	54	73	10,0	3200	3200	38000

G = Generatorgas K = Koksofengas (Ferngas)

rechnung der spezifische Wärmeverbrauch q_{75} entsprechend Ausarbeitung einer Glasmenge, welche 75% des Rauminhaltes der Häfen einnimmt. Auf diese Weise entsteht eine einheitliche Basis, auf der der Wärmeverbrauch von Öfen mit verschiedener Hafenausnutzung verglichen werden kann. Bei der Umrechnung wurde angenommen, daß der Wärmearaufwand für die zusätzlich zu erschmelzende Glasmenge mit einem feuerungstechnischen Wirkungsgrad von etwa 0,5 zur Verfügung steht. Je kg zusätzlich zu erschmelzenden Glases sind 1000 kcal zugerechnet. Diese Annahme dürfte innerhalb der in Betracht kommenden Genauigkeitsgrenzen liegen.

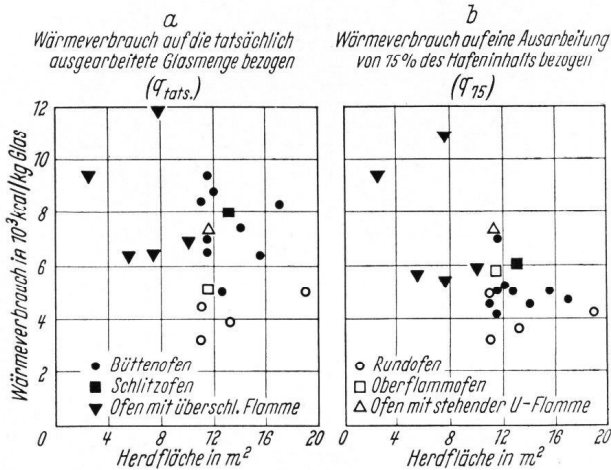


Bild 12. Spezifischer Wärmeverbrauch (kcal/kg Glas) für Hafensöfen; links: tatsächliche Werte; rechts: auf gleichmäßige Ausarbeitung von 75% des theoretischen Hafeninhaltes umgerechnete Werte.

Als weitere Vergleichszahl findet man die Wärmebelastung der Herdfläche in kcal/m² h. Die Öfen sind innerhalb der einzelnen Gruppen nach der Herdfläche geordnet.

Man sieht, daß der spezifische Wärmeverbrauch — bezogen auf die tatsächliche Schmelzleistung — etwa zwischen 3000 und 8000 kcal/kg Glas schwankt, in einigen Fällen werden sogar noch höhere Werte erreicht. Stellt man durch Umrechnen fest, wieviel die Öfen bei Ausarbeitung von 75% des Hafeninhaltes verbrauchen würden (q_{75}), so findet man meistens Werte zwischen 4000 und 5000 bis allenfalls 6000 kcal/kg. Diese Werte sind durchaus tragbar, sie liegen nicht allzu weit von den Verbrauchszahlen kleiner Wannen gleicher Schmelzleistung entfernt. Der Vergleich der beiden Grenzwerte zeigt, welche Wärmeersparnisse je kg Glas durch völliges Ausarbeiten des nutzbaren Hafeninhaltes zu erzielen sind. Weitergehende Wärmeersparnisse lassen sich durch Isolierung des Oberofens sowie durch zweckmäßige Gestaltung und Bemessung der Regeneratoren erreichen.

Bild 12 zeigt den spezifischen Wärmeverbrauch von Öfen. Der linke Teil des Bildes enthält Betriebsergeb-

nisse, im rechten Teil sind diese Werte auf einheitliche Ausarbeitung der Häfen (a_{75}) umgerechnet, so daß die Unterschiede, die sich aus verschiedener Ausarbeitung erklären, wegfallen. Man erkennt, daß die Streuung wesentlich geringer wird. Die verbleibenden Unterschiede sind der Konstruktion und Feuerführung der Öfen zur Last zu legen.

Die Tabelle repräsentiert im wesentlichen den heutigen Stand der Hafensöfentechnik. Einzelne Öfen — wie der Schlitzofen 11 oder der Rundofen 19 — können nicht als typisch bezeichnet werden; der Schlitzofen kann wegen der bereits erwähnten ungünstigen Brennerbauart heute als überholt gelten, der Rundofen 19 arbeitet wegen der großen Hafenzahl ungünstiger als bei diesem System üblich. Bei 14 Häfen war nur eine Herdflächenausnutzung von 29% möglich, während im allgemeinen der Glasspiegel bei allen Hafensöfen etwa 35–40% der Herdfläche einnimmt. Günstigere Werte der Flächenausnutzung als 40% können nur mit seitenbeheizten Öfen erreicht werden. Die Schmelzleistung der Büttens- und Rundöfen lag zwischen 2 bis 4 t/24 h; für kleinere Leistungen von 1 bis 2 t/24 h dominieren Öfen mit überschlagender Flamme. Öfen mit Seitenbrennern und Abzug nach unten wurden nicht erfaßt.

Die Tabelle läßt weiter erkennen, daß in sehr vielen Fällen der Nutzglasinhalt der Häfen nicht ausgewertet wird, vielmehr liegt die Ausarbeitung a_{100} oft unter 75% bzw. a_{75} unter 100%. Die Ursachen hierfür liegen gewöhnlich in schlechter Glasqualität, in Schwierigkeiten der Programmeinteilung usw. Selbstverständlich geht die Wirtschaftlichkeit einer Anlage sehr zurück, wenn die Häfen nur teilweise ausgearbeitet werden, denn die allgemeinen Betriebskosten, Hafenkosten und Brennstoffkosten bleiben unabhängig von der Schmelzleistung nahezu konstant. Zu den wichtigsten, aber auch schwierigsten Aufgaben, die bei der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Hafensöfen auftreten, gehört deshalb die Steigerung der Ausbeute.

Eine gewisse Leistungsreserve liegt bei einzelnen Öfen in der Einteilung der Arbeitszeit. Wenn man von der Produktion schwerer Einzelstücke, Stangen usw., absieht, so findet man Ausarbeitungszeiten zwischen 7½ und 9½ Stunden, für das Aufheizen und Einschmelzen stehen 7 bis 9½ Stunden, für die Blankerschmelze und das Abstehen 6 bis 9 Stunden zur Verfügung. Diese Zeiten hängen von der Glasart, der Ofengröße und der Art der herzustellenden Gegenstände ab. Reserven, die sich für eine Leistungssteigerung ausnutzen ließen, können z. B. vorliegen, wenn man durch die 24-Stunden-Periode gezwungen ist, den Hafen nur teilweise auszuarbeiten, um mit der nächsten Schmelze wieder rechtzeitig fertig zu werden. Durch Verkürzung der Schmelzzeit können sich längere Zeiten für das Ausarbeiten gewinnen lassen.

5. Schrifttum.

- [1] O. Verf.: Glasschmelz-Hafensöfen mit Regenerativ-Feuerung. Hrsg. Wärmetechnische Beratungsstelle der deutschen Glasindustrie Frankfurt a. M. (Mai 1926.) 75 S. IX Zahlentaf. (WBG-Schriften.)
- [2] F. S.: Les fours de fusion Schwaller. Verr. Sil. ind. 7 (1936) Nr. 23, S. 275–277, 6 Abb. [Ref. Glastechn. Ber. 15 (1937) S. 437.]
- [3] NORDENSSON, T., und MÖRKEBERG, O.: Bestämning av värmebalansen hos en degelugn för glasframställning. Glastechn. T. 4 (1949) Nr. 1, S. 1–16, 11 Abb., 13 Tab. [Ref. Glastechn. Ber. 22 (1948/1949) S. 346.]
- [4] O. Verf.: On degelugnars värmeekonomi. Glastechn. T. 4 (1949) Nr. 4, S. 117–122. [Ref. Glastechn. Ber. 23 (1950) S. 49.]
- [5] KNOBLAUCH, H.: Regenerativ-Vielflammen-Ofen. Glashütte 76 (1949) Nr. 3, S. 35–38. [Ref. Glastechn. Ber. 23 (1950) S. 49.]
- [6] HÜBLER, A.: Zur Entwicklung des Hafensöfens. Glashütte 76 (1950) Nr. 11, S. 164–166. [Ref. Glastechn. Ber. 24 (1951) S. 48.]
- [7] SIMMINGSKÖLD, B.: Nagra synpunkter på anordningarna i hyttan vid blandad produktion av konstoch hushållsglas vid degelglasbruk. Glastechn. T. 7 (1952) Nr. 3, S. 59 bis 65. [Ref. Glastechn. Ber. 26 (1953) S. 154.] (29001)