

Wärmeverbrauch von Wannenöfen.

Zur Beurteilung von Öfen sowie zur Vorausbestimmung des Verbrauchs neuer Anlagen ist es wichtig, einen Anhalt über den bei bestimmter Grösse und Schmelzleistung der Anlage zu erwartenden Wärmeverbrauch zu besitzen. Die Ursachen dafür, dass diese Werte sehr unterschiedlich angegeben werden, sind in der anliegenden Arbeit

Günther, Rudolf : Wärmeverbrauch von Wannenöfen,
Glastechn. Ber., 20 (1942), S. 108-117,

aufgezeigt. Zugleich ist ein Weg genannt, um genauere Unterlagen zu gewinnen, nämlich die Unterscheidung und gesonderte Betrachtung einzelner O f e n t y p e n .

In der Arbeit wird zugleich auf eine bisher wenig bekannte Veröffentlichung eingegangen

Moorshead, W.A. : Vorschläge für eine Einheitsgrundlage
zur Bezeichnung des Wannenofenverbrauchs.
J.Soc.Glass Technol., 20 (1936), S. 640-650.

Anlage :

Sonderdruck R. Günther

Wärmeverbrauch von Wannenöfen (bezogen auf die wichtigsten Wannentypen).

Von R. GÜNTHER, Frankfurt am Main.

(Mitteilung aus der HÜTTENTECHNISCHEN VEREINIGUNG DER DEUTSCHEN GLASINDUSTRIE,
 Frankfurt am Main.)

(Eingegangen am 7. 4. 1942.)

Der Wärmeverbrauch ist eine der wichtigsten Kenngrößen zur Beurteilung von Wannenöfen*). Er wird deshalb bevorzugt als Merkmal beim Vergleich verschiedener Oefen herangezogen. Außerdem ist es beim Neuentwurf von Oefen wichtig, den Brennstoffverbrauch möglichst genau vorzubestimmen, um die Gaserzeugeranlage oder sonstige Einrichtungen zur Brennstoffversorgung richtig zu bemessen und auch die Wirtschaftlichkeit der Ofenanlage vorher zu übersehen. Es hat deshalb nicht an Bestrebungen gefehlt, den Wärmeverbrauch zahlenmäßig zu erfassen und als Funktion anderer Größen festzulegen. In verschiedenen Veröffentlichungen wurde reichhaltiges statistisches Material gesammelt und versucht, es auf bestimmte gesetzmäßige Zusammenhänge hin auszuwerten. Dabei zeigte sich bald, daß irgendwelche funktionsmäßig darstellbaren Abhängigkeiten des Wärmeverbrauches schwer zu finden waren. Es ergaben sich bei solchen Versuchen im allgemeinen ungeordnete Punktfelder, durch die nur mit einiger Willkür eine Linie gelegt werden konnte. Die Ursache hierfür liegt darin, daß der Wärmeverbrauch verschiedener Oefen nicht als Funktion einer Veränderlichen darstellbar ist, sondern von vielen Einflußgrößen abhängt, die zum Teil sehr schwerwiegend sind und damit erhebliche Abweichungen von einer bestimmten Kurve verursachen können.

Zunächst soll gezeigt werden, welche Einflußgrößen für den Wärmeverbrauch von Wannenöfen von Bedeutung sind. Es wird dann ein Weg angegeben, die Wirkung dieser Einflußgrößen auszuschalten, indem der Wärmeverbrauch innerhalb des Bereiches einiger eindeutig

Betrachtung der jeweiligen Einzelverhältnisse, etwa an Hand einer Bilanz, möglich. Ueberschlägige Vergleichswerte würden in einem solchen Falle zu unrichtigen Schlüssen führen.

A. Einflußgrößen.

Die Einflußgrößen setzen sich zusammen aus solchen, die auf den Brennstoff, den Ofen und auf das Glas zurückzuführen sind. Sie wurden in einer Uebersicht gemäß Bild 1 zusammengefaßt, die erkennen läßt, wie zahlreich die Einflüsse sind und wie sie zum Teil auch untereinander in Abhängigkeit stehen.

Ihrer Bedeutung nach sind die einzelnen Einflüsse sehr verschieden. Eine Vielzahl weniger wichtiger Größen wie Raumtemperatur, Luftbewegung im Hüttenraum und viele andere wurden weggelassen, um die Darstellung nicht zu verwirren, andere, wie zum Beispiel die vielfachen Möglichkeiten der Konstruktion von Regeneratoren und Rekuperatoren, in einem Punkt zusammengefaßt. Die besonders wichtigen Einflüsse sind durch dicke Umrandung hervorgehoben.

I. Brennstoff.

Im Oberofen einer Wanne ist allein der Teil der zugeführten Wärme nutzbar, der im Temperaturbereich über der Temperatur des Glasbades liegt, da nur er Wärme an die Schmelze abgeben kann. Praktisch läßt sich nicht einmal dieser Teil ganz ausnutzen, da für die Wärmeübertragung ein gewisses Temperaturgefälle bleiben muß. Die Annahme liegt also nahe, daß die theoretische Flammentemperatur des Gases bzw. flüssigen Brennstoffs von entscheidendem Einfluß auf den Brennstoffverbrauch

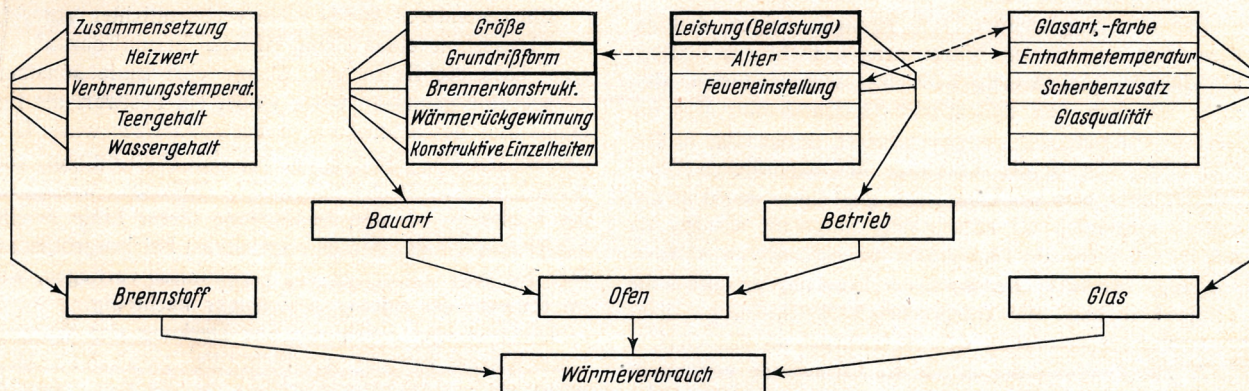


Bild 1. Einflußgrößen auf den Wärmeverbrauch.

definierter Ofentypen betrachtet wird. Die nicht unmittelbar auszuschaltenden Einflußgrößen werden durch Umrechnung auf einen Normalwert zurückgeführt.

Mit dieser Festlegung werden Vergleiche von Oefen auf den Bereich von Ofentypen beschränkt. Daraus ergibt sich kein praktischer Nachteil, da genaue Vergleiche innerhalb dieser Typen durchführbar und auch nur hier von praktischem Nutzen sind. Sollen sehr verschiedenartige Oefen verglichen werden, so ist dies nur durch genaue

*) In der vorliegenden Arbeit werden nur Dauerwannen besprochen, bei Tageswannen liegen gänzlich andere Bedingungen vor.

sein muß und daß, wenn schon die theoretische Temperatur in der technischen Feuerung nicht erreicht wird, sich der Unterschied in der Heizkraft der Gase auch in der tatsächlichen Flammentemperatur ausdrückt. Dem steht entgegen, daß der Wunsch nach gleichmäßiger Temperaturverteilung über der Badoberfläche dazu führt, die Flamme bei allen Brennstoffen möglichst der Ofenbreite anzupassen. Da auch die Verbrennungsluftmenge etwa proportional der entwickelten Wärmemenge ist, sind die Unterschiede im Volumen und damit auch in der Temperatur der Flamme geringer als zunächst zu erwarten. Auch die Lebensdauer der Ofenbaustoffe spricht

gegen das Arbeiten mit zu hohen Temperaturen. Das praktische Ergebnis ist ein mäßiger Verbrauchsabfall mit zunehmender Wertigkeit des Brennstoffes.

In anderer Form wirkt auf den Wärmeverbrauch die Leuchtkraft der Flamme, d. h. das Strahlungsvermögen im sichtbaren Wellenlängenbereich ein: je größer die Leuchtkraft, um so besser ist der Wärmeübergang, um so niedriger also der Verbrauch. Da als Träger der Leuchtkraft in erster Linie Teer und schwere Kohlenwasserstoffe in Betracht kommen, stellt sich in dieser Hinsicht das Generatorrohgase besonders günstig.

Zwischen den in Deutschland meist verwendeten Brennstoffen, Generatorrohgase und Koksofengase, besteht infolge des Zusammenwirkens dieser beiden Einflüsse kein großer Unterschied im Brennstoffverbrauch. Das Generatorgas ist durch seine Leuchtkraft, das Koksofengase durch die höhere Heizkraft überlegen. Die Praxis zeigt, daß sich die beiden Einflüsse etwa ausgleichen¹⁾.

Bei ihrem Wert nach höher liegenden Brennstoffen, z. B. Naturgas oder Oel, macht sich indessen der Einfluß der höheren Heizkraft in geringerem Verbrauch geltend. Eine Ausnahme bildet die elektrische Beheizung, die ohne Feuerungsverluste arbeitet und deshalb in ihren Wärmeverbrauchszahlen mit anderen Stoffen nicht verglichen werden kann.

Für Generatorrohgase und Koksofengase liegt der Einfluß des Brennstoffes auf den Verbrauch in so mäßigen Grenzen, daß er zunächst vernachlässigt werden kann.

Grobe Unterschiede, wie etwa der Gaserzeugerwirkungsgrad, müssen ausgeschaltet werden. Es ist unzulässig, beim Vergleich eines generatorgas- und eines ferngasbeheizten Ofens einmal auf die Kohle, das andere Mal auf das Gas zu beziehen. Vielmehr müssen einheitlich die dem Ofen tatsächlich zugeführten Wärmemengen der Betrachtung zu Grunde gelegt werden²⁾. Verbrauchswerte, die auf die Kohlenmenge aufgebaut sind, rechnet man zweckmäßig über einen Gaserzeugerwirkungsgrad von 80% um, soweit es sich um Drehrostgaserzeuger handelt.

II. Bewertung der zugeführten Wärme.

Die oben angestellten Ueberlegungen zeigen, daß die dem Ofen zugeführten Wärmemengen nicht nur statisch als einander gleichwertig betrachtet werden dürfen, vielmehr ist auch der dynamische Gesichtspunkt, also die Berücksichtigung der Temperaturhöhe, notwendig. In diesem Sinne können die Vorgänge des eigentlichen Feuerungsraumes, also des Oberofens, gegenüber denen in den anderen Ofenteilen als höherwertig aufgefaßt werden, da nur im Oberofen die Temperatur des eigentlichen Arbeitsvorgangs herrscht. Die durch die Feuerung erzielte hohe Temperatur bzw. die entsprechende Wärmemenge dient

1. zur Uebertragung der Nutzwärme an das Glas,
2. zur Deckung der durch die Ofenwände verursachten Wandverluste.

Schmelzvorgang (Nutzwärme) und Erwärmung der Ofenwände (Wandverlustwärme) sind demnach hinsichtlich des Wertes der dazu benötigten Wärmemengen einander gleich zu setzen. Sie sind die bestimmenden Faktoren der Feuerungsvorgänge. Zur Deckung dieser Wärmemengen dient der Aufwand der Feuerung, die auch ihrerseits nicht verlustfrei arbeitet, sondern in Form der Abgaswärme und des Wandverlustes der Regeneratoren usw. einen Teil der ihr zugeführten Energie als Verlust an die Außenluft abgibt. Um dem Oberofen eine bestimmte Wärmemenge zuzuführen, ist deshalb insgesamt

eine größere Wärmemenge aufzuwenden: Das Verhältnis ist bei Glasschmelzöfen etwa 1:1,4 bis 1:1,7. Daraus erhellt die große wärmetechnische Bedeutung aller im Oberofen ablaufenden Vorgänge.

III. Ofenbauart.

1. Ofengröße. Einer der entscheidenden Einflüsse auf den Wärmeverbrauch ist die Ofengröße. Man hat deshalb vielfach versucht, diese allein als Grundlage des Verbrauches anzusehen. In der Schrift „Glasschmelzwannenöfen“ der WBG³⁾ sind entsprechende Zusammenstellungen gegeben, die aber aus den oben angeführten Gründen nicht zu einem befriedigenden Ergebnis führten. Da aber die Ofengröße zu den grundlegenden Einflüssen für den Verbrauch gehört, wird auch bei den später folgenden Betrachtungen des Verbrauches der einzelnen Ofentypen die Größe neben der Leistung als wichtiger Faktor betrachtet.

Trotz der schwierigen und uneinheitlichen Definition²⁾ wird im Schrifttum vielfach nicht die gesamte Herdfläche, sondern die Schmelzfläche oder die beheizte Herdfläche in den Rechnungsgang eingeführt, wobei diese beiden Begriffe zum Teil gleichsinnig verwendet und als Fläche bis zum Durchlaß oder bis zum letzten Brenner bezeichnet werden. Diese unsicheren Begriffsbestimmungen führen zu Unklarheiten in der Festlegung aller Kennzahlen, besonders der spezifischen Schmelzleistung s (t/m^2 24 h). Bei der Wahl der entsprechenden Bezugsgrößen für den Wärmeverbrauch tritt diese Schwierigkeit ebenfalls auf, da dieser einerseits von der Gesamtherdfläche abhängig ist, andererseits aber auch von der Temperaturverteilung, deren ungleichartiger Verlauf im Entnahmeteil des Ofens bei den verschiedenen Glasarten gerade zum Versuch einer anderen Flächenfestlegung Anlaß geboten hat.

Um diese Fehlerquellen auszuschalten, wird im folgenden einheitlich die gesamte Herdfläche zu Grunde gelegt. Die Einflüsse der verschiedenen Entnahmetemperaturen fallen durch die Betrachtung der einzelnen Ofentypen weg, innerhalb einer Type herrscht jeweils einheitliche Entnahmetemperatur.

Ein besonderer, bisher nicht veröffentlichter Vorschlag zur Definition einer Schmelzfläche beruht darauf, daß quer über die Breite der Wanne eine Linie konstanter Temperatur gemessen wird, wobei ein Festwert als Endtemperatur des Schmelzvorganges anzusetzen wäre. Diese Lösung hat den Nachteil, daß sie sich beim Entwurf einer Wanne noch nicht anwenden läßt. Außerdem wirken sich die Meßfehler bei der Bestimmung dieser Linie in einer Ungenauigkeit der daraus abgeleiteten Flächengrößen aus. Daß für jede Glasart andere Verhältnisse vorliegen, wäre im Rahmen der Ofentypen weniger nachteilig.

Da auch der Arbeitsteil zur Deckung der Wandverluste Wärme braucht, erscheint die gesamte Herdfläche als zuverlässigster Anhalt für die Bewertung des Wärmeverbrauches.

2. Grundrißform. Da die Wandverluste des Oberofens zu einem wesentlichen Teil die Verbrauchszahlen bestimmen, kommt auch der Grundrißform des Oberofens große Bedeutung zu, denn das Verhältnis der Außenfläche, bzw., da die Höhe nicht sehr verschieden ist, der Umfangslänge U zur Herdfläche F , hängt von der Gestalt des Ofens ab. Beim runden Ofen ist dieses Verhältnis am niedrigsten, für den Verbrauch also am günstigsten. Es wächst von diesem aus über die quadratische Ofenform immer mehr, je größer die Länge

im Verhältnis zur Breite wird. Eine weitere Vergrößerung der Außenfläche kommt hinzu, wenn eine Einschnürung gewählt wird, also beim zweiräumigen Ofen. Verzweigungen am Arbeitsende, wie Fourcault-Kanäle usw., sind von geringerem Einfluß, da hier niedrige Temperaturen herrschen und ein sehr weitgehender Wärmeschutz angewendet werden kann. Schließlich hängt das Verhältnis Wandfläche : Herdfläche auch von der Größe des Ofens ab, da der Umfang mit der Summe, die Herdfläche mit dem Produkt der Seitenlängen zunimmt, während sich in der Höhe keine wesentlichen Unterschiede ergeben. Einen Ueberblick über die Größenordnung der Zusammenhänge an einer Wanne gemäß Bild 2 für verschiedene Ofen-Größen und Längenverhältnisse gibt Tafel 1.

Tafel 1.
Verhältnis des Wannenumfanges zur Herdfläche.

l/b		1			1,5			
		2	4	6	2	4	6	8
l	m	2	4	6	2	4	6	8
b	m	2	4	6	1,3	2,7	4	5,3
F	m ²	5,6	22,3	50,1	3,3	13,7	30,3	53,4
U	m	9,1	18,3	27,4	7,3	15,1	22,3	29,6
U/F	m/m ²	1,62	0,82	0,55	2,2	1,1	0,74	0,56

Bei der Grundrißform ist weiter zu beachten, ob die Wanne ohne Trennung zwischen Schmelz- und Arbeitsteil oder mit Durchlaß ausgeführt ist, da diese Bauelemente die Gastemperatur und damit den Wärmeverbrauch beeinflussen. Die Grundrißform ist im folgenden als eines der Hauptmerkmale der einzelnen Ofentypen herausgestellt. Dabei kann vorausgesetzt werden, daß das Verhältnis l/b innerhalb der einzelnen Typen nur so wenig schwankt, daß es keinen erheblichen Einfluß auf den Verbrauch hat.

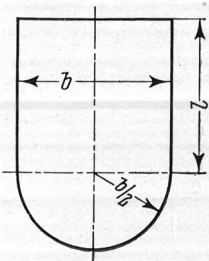


Bild 2. Wannenform zu Tafel 1.

3. Brennerkonstruktion. Der Brenner hat die Aufgabe, den Verbrennungsvorgang in der für den jeweiligen Ofen notwendigen Form einzuleiten, insbesondere die Flammenrichtung und durch die Mischung von Gas und Luft auch die Flammenlänge zu regeln. Da man bei Glasschmelzöfen eine Wärmeübertragung sowohl durch Berührung wie durch Flammenstrahlung anstrebt, soll die Flamme möglichst nahe auf dem Glasbad liegen und sich über die ganze Breite des Ofens bzw. bei U-Flammen über den dafür vorgesehenen Weg erstrecken. Abweichungen hiervon haben nachteilige Einwirkungen auf den Wärmeverbrauch, die sich jedoch nicht zahlenmäßig festlegen lassen. Bei der Betrachtung einer größeren Zahl von Öfen führen diese Unterschiede zu einer Streuung der Ergebnisse. Öfen mit unzulänglicher Bauweise fallen auch aus anderen Gründen bei solchen Zusammenstellungen auf, man wird sie in eine zusammenfassende Betrachtung nicht einreihen.

Die Anordnung der Brenner (Stirn- oder Seitenbrenner) läßt sich für die Mehrzahl der Ofentypen eindeutig festlegen. Bei den übrigen besteht eine gewisse Einheitlichkeit insofern, als kleine Öfen mit U-Flamme, größere mit Querflamme gebaut werden.

4. Wärmerückgewinnung. Es ist im Schmelzofenbetrieb üblich, die Abgase bis zu einer Temperatur von etwa 400° C (am Wechsel bzw. am Gasaustritt des

Ofens gemessen) auszunutzen. Ihr Wärmeinhalt wird der Verbrennungsluft regenerativ oder regenerativ, bei Generatorgas außerdem auch dem Gas regenerativ, zugeführt. Nutzt man die Abgaswärme weniger weit aus, so liegt auch die Vorwärmtemperatur von Luft (und Gas) unter den an sich erreichbaren Werten: es ergibt sich ein zu hoher Wärmeverbrauch. Bei der Beurteilung eines Ofens ist zu berücksichtigen, daß außer der Abgastemperatur auch die Abgasanalyse einen Maßstab für die Wirksamkeit der Wärmerückgewinnung abgibt: Uebermäßiger Falschlufteintritt in den Abgasweg setzt die Abgastemperatur und damit die Wirksamkeit der Wärmerückgewinnung herab, obwohl u. U. eine normale Abgasendtemperatur erreicht wird.

Die Wannenöfen der deutschen Glashütten arbeiten überwiegend regenerativ, wobei Generatorgas und Luft bzw. im Koksofengasbetrieb nur Luft, vorgewärmt wird. Die Erfahrung zeigt, daß bei letzterem hierdurch die Abgaswärme etwas weniger ausgenutzt werden kann, jedoch sind die Unterschiede gering und drücken sich im Endergebnis nicht aus; unter Umständen werden sie durch die höhere Wertigkeit dieses Brennstoffes ausgeglichen.

Über Rekuperativöfen liegen in Deutschland kaum Zahlenwerte vor, da die älteren Steinrekuperatoren wegen der unbefriedigenden Lebensdauer aufgegeben wurden, während Metallrekuperatoren bisher nur vereinzelt Aufnahme fanden. Bei Generatorgas fällt im Rekuperativofen die Gasvorwärmung weg, ein Nachteil, der um so größer ist, je kälter das Gas zum Ofen kommt. Er fällt also besonders bei Braunkohlen- und Brikett-Betrieb ins Gewicht, während bei Steinkohlengas ohne ernstliche wärme-wirtschaftliche Nachteile auf die Vorwärmung verzichtet werden kann. Aus diesem Grunde hat sich der Rekuperativofen für Generatorgase hauptsächlich in den Ländern eingeführt, die im Gaserzeugerbetrieb Steinkohle benutzen, z. B. England, Belgien und Frankreich.

Für die in Deutschland vorwiegend gebauten Regenerativöfen kann innerhalb der einzelnen Ofentypen der Einfluß der Wärmerückgewinnung vernachlässigt werden, sofern normale Endtemperaturen (400°) und Abgaszusammensetzungen (14–16% CO₂) vorliegen. Die baulichen Unterschiede sind so gering, daß sie auf den Verbrauch nicht nennenswert einwirken. Voraussetzung ist dabei, daß die Kammern hinreichend isoliert sind, andernfalls liegt der Verbrauch des Ofens merklich höher.

Eine Einheitlichkeit in der Kammerausführung bei den großen Flachglaswannen ist zu vermissen, da hier eine restlos befriedigende Konstruktion bisher nicht gefunden wurde. Bei dieser Ofenbauart ist mit einem stärkeren Einfluß auf die Wärmeverbrauchsahlen zu rechnen.

5. Konstruktive Einzelheiten. Neben den genannten Einflüssen der Ofenkonstruktion wirkt eine Vielzahl von Einzelheiten auf den Wärmeverbrauch ein, die sich unmittelbar oder mittelbar aus der Ausbildung der einzelnen Ofenteile ergeben: Die Wandverluste werden bestimmt durch die Dicke und den Baustoff der Wände und auch durch die konstruktive Durchbildung (z. B. Hängedecken oder Gewölbe), die Kühlung der Wannensteine und anderer Ofenteile führt Wärmemengen weg, die Wechselverluste ergeben sich aus der Kammergröße und der Art und Wirkungsweise der Wechseleinrichtung und vieles andere. Die einzelnen, zum Teil zahlenmäßig geringen Einflüsse lassen sich rechnerisch

nur ungenügend erfassen. In ihrer Zusammenwirkung führen sie zu einer Streuung der an verschiedenen Ofen gefundenen Ergebnisse. Innerhalb des Bereiches einzelner Typen sind diese Unterschiede geringer, da hier auch die baulichen Einzelheiten weniger große Abweichungen zeigen.

IV. Ofenbetrieb.

Bei Beurteilung der verschiedenen, aus dem Ofenbetrieb herrührenden Einflußgrößen muß immer eine einwandfreie Bedienung des Ofens vorausgesetzt werden, insbesondere gleichbleibende Temperaturverteilung und Feueinstellung sowie regelmäßiges Einlegen. Nur wenn diese Bedingungen erfüllt sind, lassen sich aus den Ergebnissen des Ofenbetriebes Schlüsse ziehen, während bei unaufmerksamer und falscher Bedienung erhöhte Verbrauchsziffern auftreten, die einen Vergleich unmöglich machen.

1. Leistung und Belastung. Unter den Einflußgrößen aus einem Ofenbetrieb steht an erster Stelle die Schmelzleistung S (t/24 h). Wird diese gesteigert, so muß dem Ofen eine entsprechend größere Nutzwärme zugeführt werden, um die höhere Glasmenge zu erschmelzen. Da hierbei (vgl. A II) auch neue Feuerungsverluste auftreten, macht sich die Leistungssteigerung im Wärmeverbrauch deutlich bemerkbar, obwohl die Wandverluste zunächst unverändert bleiben.

Diese Zusammenhänge wurden im einzelnen mehrfach untersucht^{4) 5)}, jedoch weichen die Ergebnisse recht weit voneinander ab. COAD-PRYOR⁵⁾ gibt auf Grund seiner Beobachtungen an Weißglaswannen an, daß bei einer Aenderung der Schmelzleistung um 10% der Wärmeverbrauch um 1,9% größer bzw. kleiner wird, wobei in der Umgebung des Ausgangspunktes keine Abweichungen festzustellen waren, offenbar deshalb, weil in diesem Bereich Schwankungen so gering sind, daß sie nicht unmittelbar zu einer Aenderung der Ofeneinstellung Anlaß geben.

Den wichtigsten Vorschlag in dieser Richtung macht MOORSHEAD⁴⁾, in dem er einer einmalig festgesetzten Einheitsleistung einen Einheitsverbrauch gegenüberstellt, der aus der tatsächlichen Leistung und dem tatsächlichen Verbrauch zu errechnen ist. Die zahlenmäßigen Zusammenhänge wurden auf Grund von Erfahrungswerten in einer Formel zusammengefaßt. Diese lautet, wenn man die in Deutschland üblichen Bezeichnungen einsetzt und nicht die Kohlenmenge, sondern die Wärmemenge als Bezugsgröße nimmt:

$$Q_e = Q_w + 876\,000 [S_e - (1,1 - 0,3 \cdot n) \cdot S_w]$$

Hierin ist:

- Q_e = Einheitsverbrauch (Normalverbrauch) kcal/24h
- Q_w = Wahrer (augenblicklicher) Verbrauch kcal/24h
- S_e = Einheitswert (Normalwert) der Schmelzleistung t/24h
- S_w = Wahre (augenblickliche) Schmelzleistung t/24h
- n = Scherbenanteil am Glas t/t

Die Formel, die der Verfasser als „praktisch mit guter Genauigkeit verwendbare Näherungsformel“ bezeichnet und die den wenigen bekanntgewordenen Betriebsergebnissen gut entspricht, gibt eine lineare Beziehung für die Zunahme des Wärmeverbrauchs mit der Belastung. Ueber die Höhe des im einzelnen auftretenden Verbrauchs ist zunächst nichts ausgesagt, es wird nur eine Möglichkeit gegeben, von den vielen Sonderfällen auf untereinander vergleichbare Einheitswerte umzurechnen. Als Grundlage

hierfür wird in der englischen Arbeit eine Einheitsleistung von 15 sq. ft./to, entsprechend 0,72 t/m² 24 h, bezogen auf die Schmelzfläche, empfohlen. Die Nachteile der Rechnung mit der Schmelzfläche sind oben bereits dargestellt. Es werden deshalb im folgenden für die einzelnen Typen der Ofenleistung jeweils bestimmte Werte für diese Bezugszahl angegeben. Sie sind dort als Einheitsgröße der spezifischen Schmelzleistung s_e (t/m² 24 h) bezeichnet.

Zugleich wird in der Formel der Einfluß des Scherbenzusatzes auf den Wärmeverbrauch in der Schmelze berücksichtigt. Dieser ist theoretisch abgeleitet entsprechend der Ersparnis an Reaktionswärme und wird durch den Faktor n ausgedrückt. Für den als normal angesetzten Scherbenzusatz $n = 0,33$ fällt das Korrekturglied heraus. Diese Voraussetzung ist zur Vereinfachung bei den weiteren Ueberlegungen als gegeben angenommen.

Wertet man die Formel für die einzelnen Verbrauchszahlen aus, so ergeben sich für die Abhängigkeit zwischen Q und S die in Bild 3 dargestellten geraden Linien.

In dieser Darstellung ist gestrichelt für einen bestimmten Fall die Umrechnung von den wahren zu den Einheitsverhältnissen angegeben: Beträgt für $S_w = 20$ t/24 h der Verbrauch $Q = 79 \cdot 10^6$ kcal/24 h und bei dem betreffenden Ofen $s_e = 1$, also $S_e = 30$ t/24 h, so findet man auf der durch den erstgenannten Punkt gelegten Parallelen den Schnittpunkt $Q_e = 88,1 \cdot 10^6$ kcal/24 h entsprechend dem Rechnungsergebnis der Formel. In gleicher Weise kann aus den Einheitswerten auf eine bestimmte Belastung zurückgerechnet werden.

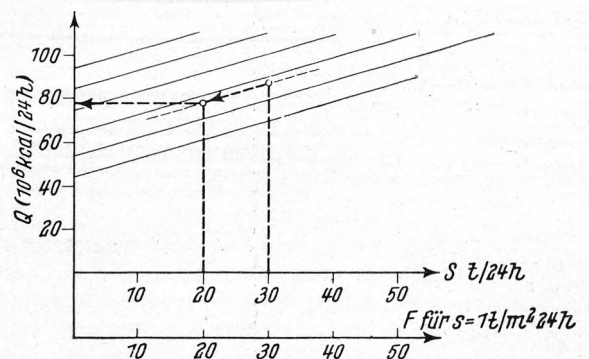


Bild 3. Einheitsverbrauch und wahrer Verbrauch nach der Formel von MOORSHEAD für $n = 0,33$.

Die dem Bild 3 entsprechende Darstellung nach der Prozentangabe von COAD-PRYOR würde nicht untereinander parallele, sondern mit wachsendem S_w auseinander laufende Parameter ergeben, d. h. ein Wachsen des Einflusses der Belastung bei höheren Verbrauchszahlen. Für einen solchen Verlauf ist überlegungsmäßig keine Ursache zu finden, die vorliegenden Zahlenwerte geben keine Unterlagen für soweit ins einzelne gehende Betrachtungen. Es erscheint deshalb angebracht, der Darstellung nach Bild 3 grundsätzlich den Vorzug zu geben. Aus derselben Ueberlegung heraus wird auch das für mittlere Verbrauchswerte etwas höhere Prozentverhältnis des Bildes 3 als zutreffend angenommen.

Zusammenfassend ist festzustellen: Bei der Betrachtung des Wärmeverbrauches von Ofen wird die jeweilige Leistung dadurch berücksichtigt, daß die Verbrauchszahl auf eine innerhalb der Typen einheitlich festzulegende Einheitsleistung umgerechnet wird. Die Umrechnungsgleichung berücksichtigt zugleich den Scherbenzusatz.

Eine Darstellung der Zusammenhänge zwischen Schmelzleistung und Verbrauch nach LAMORT⁶⁾ erweist sich bei näherer Betrachtung als unzutreffend. In dieser Arbeit werden für Weißglas und Flaschenglas kurvenmäßige Abhängigkeiten der Wärmebelastung, ausgedrückt in kcal/m² 24 h, von der spezifischen Schmelzleistung (in t/m² 24 h) gegeben. Bereits eine oberflächliche Betrachtung der Kurven zeigt, daß sie den tatsächlichen Verhältnissen nicht entsprechen; es ergeben sich nämlich Leerverbrauchszahlen, die weit unter 50% des Normalverbrauches liegen, also in keinem Fall eintreten können. Das unbefriedigende Ergebnis ist offenbar darauf zurückzuführen, daß gleichzeitig Oefen sehr verschiedener Bauform in Vergleich gezogen wurden.

2. Ofenalter. Mit zunehmender Dauer der Ofenreise wächst der Wärmeverbrauch der Wanne, insbesondere infolge der größer werdenden Wand- und Undichtheitsverluste, die mit dem allmählichen Abschmelzen des ff. Materials eintreten. Auch die Wannenkühlung macht sich mit fortschreitender Ofenreise immer stärker bemerkbar. Das Abschmelzen der Steine im Brenner ändert die Mischung und Flammenführung, so daß auch hier mit der Zeit schlechtere Betriebsverhältnisse eintreten. Weiterhin wird der Verbrauch durch das Verschlacken der Kammern allmählich größer.

Die einzelnen Oefen zeigen hinsichtlich der Zunahme des Verbrauchs während der Ofenreise ein sehr unterschiedliches Verhalten. Außerdem sind die Zahlen nicht leicht zu bestimmen, da sie meist durch Schwankungen der Leistung überlagert werden. Ein Ausweg ist auch hier durch die Umrechnung der Betriebsergebnisse nach MOORSHEAD geboten.

Für Tafelglaswannen wurden Verbrauchszunahmen von 5—10% während einer Ofenreise gefunden, für Hohlglaswannen im allgemeinen höhere Werte bis zur Größenordnung von 30%. Offensichtlich machen sich bei den höher belasteten Hohlglaswannen die genannten Einflüsse des Ofenalters in stärkerem Maße bemerkbar. Für eine ölbeheizte Wanne wird der Verlauf der Verbrauchszunahme im Schrifttum geschildert⁷⁾: Während der ersten Wochen nach Inbetriebnahme lagen die Werte zunächst sehr niedrig, gegen Ende dieser Zeit wurde eine deutliche Zunahme beobachtet. Dann stieg der Verbrauch ziemlich konstant um 3% monatlich, während in der letzten Betriebsperiode ein noch schnellerer Anstieg gefunden wurde. Diese Zahlen liegen besonders hoch. Sie gelten für die noch wenig haltbaren Wannensätze der Zeit um 1930. Heute findet man entsprechend der größeren Lebensdauer des Ofenmauerwerkes keine derart starken Zunahmen mehr.

Da sich auch dieser Einfluß noch nicht zahlenmäßig erfassen läßt, erscheint es zweckmäßig, für Vergleiche nur Werte aus dem Anfang, etwa den ersten drei Monaten einer Wannensätze, zu verwenden. Außerdem dürfen nicht Einzelwerte, sondern nur das Mittel über diese ganze Zeitdauer Verwendung finden.

3. Feuereinstellung. Bei gewöhnlichen Kalksodagläsern wird die Verbrennung nach dem Gesichtspunkt größter Wärmewirtschaftlichkeit eingestellt, man arbeitet mit mäßigem Luftüberschuß von etwa 10%. Da das bei stärkerer Oxydation geschmolzene Bleiglas für den Wannensätzebetrieb nur in Sonderfällen in Betracht kommt, bildet die einzig praktisch wichtige Ausnahme von der genannten Feuereinstellung die Sulfat-

schmelze, bei der im Schmelzbereich reduzierend gearbeitet wird. Ein Teil der brennbaren Bestandteile der Flamme nimmt hierbei an den Schmelzreaktionen teil, ein anderer zieht mit den Abgasen aus der Wanne ab und verbrennt nachträglich im Unterofen mit einströmender Falschlufft oder mit dem Luftüberschuß der Abgase aus anderen Ofenteilen. Hierbei wird zwar der Wärmehalt dieser Bestandteile verwertet, jedoch bei geringerer Temperatur. Es tritt also ein Verlust ein, zumal die reduzierende Feuerführung auch das Erreichen der gewünschten Schmelztemperatur erschwert. Aus diesen Gründen ergibt sich für die Sulfatschmelze ein 10—15% höherer Wärmeverbrauch.

Sofern innerhalb einer Ofentype durchweg mit Sulfat oder durchweg ohne Sulfat gearbeitet wird, bedarf es keiner besonderen Berücksichtigung dieser Einflußgröße bei der Zusammenstellung. Kommen beide Glasarten gleichzeitig vor, so muß für Vergleichszwecke der Wärmeverbrauch der Sulfatglaswannen um 10% herabgesetzt werden, um eine Gegenüberstellung mit den Sodaglaswannen zu ermöglichen.

V. Glas.

1. Glasart. Die Glasart beeinflusst den Wärmeverbrauch der Schmelzöfen in verschiedenartiger Weise. Sie bestimmt zunächst die Ofenatmosphäre (IV 3). Außerdem ist sie für die Schmelztemperatur maßgebend. Soweit es sich um die überwiegend erzeugten Kalksodagläser handelt, liegt diese Temperatur in engen Grenzen fest, braucht also für den Wärmeverbrauch nicht beachtet zu werden. Werden Sondergläser erzeugt, also andere als die üblichen Glasrohstoffe verwendet, so ändert sich auch die Schmelztemperatur je nach der Zusammensetzung des Glases. Da sich hieraus grundlegende Verbrauchsänderungen ergeben, können derartige Oefen in die allgemeinen Vergleiche innerhalb der Ofentypen ohne weiteres nicht aufgenommen werden.

Außer der Glaszusammensetzung beeinflusst auch seine Farbe den Wärmeverbrauch. Die geringere Strahlungsdurchlässigkeit von Farbgläsern, z. B. grünem Flaschenglas, erschwert das Eindringen der Wärmestrahlen in die Glasmasse, so daß infolge der schlechteren Wärmeübertragung der Wärmeverbrauch etwas höher liegt. Da diese Oefen aus dem gleichen Grund mit geringerer Badtiefe gebaut werden, fallen sie etwas aus dem Rahmen der übrigen heraus und werden deshalb im folgenden innerhalb der in Frage kommenden Typen gesondert betrachtet.

2. Entnahmetemperatur. Der wichtigste Einfluß der verschiedensten Glasarten macht sich über die Entnahmetemperatur des Glases geltend⁷⁾. Je nach dem gewählten Arbeitsverfahren wird das Glas bei mehr oder weniger hoher Temperatur entnommen, so daß verschieden große Abstehräume notwendig sind. Da sich mit der Größe des Abstehraumes auch die Wandverluste ändern, beeinflusst die Entnahmetemperatur den Wärmeverbrauch entscheidend. In diesem Sinne sind auch die Durchlaßkonstruktionen von Bedeutung, da sie einen schnelleren Temperaturabfall in der Wannensätzeachsrichtung ermöglichen, also zu einer Verkürzung der Wanne führen (vgl. III/4).

3. Scherbenzusatz. Da beim Einschmelzen von Scherben keine chemischen Reaktionen stattfinden, liegt auch der Wärmebedarf um die entsprechende Reaktionswärme und den zu ihrer Erzeugung notwendigen Feuer-

rungsverlust niedriger. Dieser Einfluß des Scherbenzusatzes wird über die Gleichung für den Einheitsverbrauch gemäß IV/1 mit erfaßt.

4. Glasqualität. Die Glasqualität ist mitbestimmend für die Ofenleistung, da eine steigende Leistung einer Zunahme der Glasfehler entspricht. Da dieser Einfluß nicht unmittelbar sondern über die Leistung auf den Wärmeverbrauch einwirkt, wird er selbsttätig durch die Umrechnungsformel unter IV/1 mit einbezogen.

B. Ofentypen und Zahlenwerte.

Nachdem die Bedeutung der einzelnen Einflußgrößen aufgezeigt wurde, ist nachstehend zunächst die Art ihrer Berücksichtigung bei der Auswahl der einzelnen Ofentypen dargestellt. Dann werden die Ofentypen festgelegt und für diese die Wärmeverbrauchswerte als Funktion der Schmelzleistung angegeben. Die gefundenen Zusammenhänge gelten zunächst für die Einheitswerte. Am Beispiel der Type 3a ist die Umrechnung auf beliebige Belastungen gezeigt.

I. Berücksichtigung der Einflußgrößen.

Die Merkmale, die bei der Auswahl der Ofentypen zu beachten sind, ergeben sich aus den Einflußgrößen. In Tafel 2 ist gezeigt, in welcher Form diese einzelnen Einflußwerte bei der Typenauswahl erfaßt sind. Der Hauptteil wird hierbei als Typenkennzeichen festgelegt, also konstant gesetzt. Ein weiterer Teil wird zunächst vernachlässigt und zwar sind dies die Einflußgrößen geringerer Bedeutung, die nur zu einer mäßigen Streuung der Ergebnisse Anlaß geben können. Einige andere Einzelwerte lassen sich nur teilweise erfassen, während ihr Einfluß im übrigen ebenfalls vernachlässigt wird. Die Ofenleistung wird auf einen Einheitswert umgerechnet, wobei zugleich zwei weitere Einflußgrößen, nämlich der Scherbenzusatz und die Glasqualität mit erfaßt werden.

Tafel 2.

Berücksichtigung der Einflußgrößen bei der Typenwahl.

	Art der Berücksichtigung		
	In die Definition einbezogen	vernachlässigt	durch Umrechnung berücksichtigt
Einflußgrößen	Grundrißform	Brennstoff	Größe bleibt als Veränderliche
	Brennerkonstruktion		
	Wärmerückgewinnung		
	konstruktive Einzelheiten		
	Spez. Normalleistung Leistung auf Normalleistung umgerechnet		
Ofenalter		Scherbenzusatz Glasqualität über die Leistung berücksichtigt	
Feuereinstellung			
Glasart, -farbe			
Entnahmetemperatur			

Nach der heutigen Entwicklung des Ofenbaues ergeben sich nachstehende vier Haupttypen, von denen zwei wiederum in je zwei Untergruppen aufgeteilt werden können.

1. Tafelglaswannen
2. Offene Hohl- und Gußglaswannen
 - a) Weißglas
 - b) Farbglas (Flaschen)
3. Durchlaßwannen (einräumig) für Hohl- und Gußglas
 - a) Weißglas
 - b) Farbglas (Flaschen)
4. Durchlaßwannen (zweiräumig) für Hohlglas.

Zu 1.: In der Tafelglasherstellung sind überwiegend offene Wannen (ohne feste Einbauten) von großer Länge im Gebrauch, die durch mehrere Seitenbrennerpaare beheizt werden. Die Wannen sind gekennzeichnet durch einen großen Abstehraum entsprechend der niedrigen Arbeitstemperatur. An der Oberfläche ist der Glasspiegel durch einen oder mehrere Schwimmer unterteilt.

Zu 2.: Die älteren Hohl- und Gußglaswannen sind ebenfalls offen, sie besitzen allenfalls einen Schwimmer oder Kränze. Die Arbeitswanne schließt sich als Halbrund unmittelbar an die Schmelzwanne an; die Länge der Wannen ist entsprechend der höheren Arbeitstemperatur wesentlich geringer als bei Tafelglas. Die Badtiefe liegt in der Größenordnung von 1,2 m.

Stiefelwannen können bei dieser Type nicht betrachtet werden, da der Stiefel die Arbeitswanne ersetzt. Es liegt hier also eine Zwischenstufe offener und Durchlaßwanne vor.

Zu 3.: Bei der Durchlaßwanne ist das Glasbad durch eine feste Trennwand unterbrochen, nur am Boden bleibt der Durchlaß frei. Diese Konstruktion ermöglicht einen besonders schnellen Temperaturabfall des Glases und führt demgemäß zu einer weiteren Verkürzung der Wannen. Die Größe der Arbeitswannen richtet sich nach den baulichen Möglichkeiten, bei Handarbeit für Hohlglas nach der Unterbringung der Werkstellen. Die Badtiefe liegt bei dieser Ofenart bei 1,0 m und weniger.

Zu 4.: Die zweiräumige Durchlaßwanne entspricht in der Hauptsache der vorstehenden Konstruktion, jedoch ist der Durchlaß nicht in einer niedrigen Trennwand eingebaut, sondern in einem schmalen Kanal, der die beiden im übrigen voneinander unabhängigen Wannenteile verbindet. Bei dieser Bauart ist unter sonst gleichen Verhältnissen die Außenfläche größer, man bevorzugt diese Konstruktion hauptsächlich wegen der einfachen Bauart des Durchlasses und seiner leichten Auswechselbarkeit. Außerdem hat man hier bei der Gestaltung der Arbeitswanne völlig freie Hand und kann sie beim Automatenbetrieb sehr klein halten. Da über dem Glasspiegel praktisch keine Verbindung der beiden Ofenräume besteht, benötigt die Arbeitswanne eine besondere Beheizung, die man meist rekuperativ ausbildet.

II. Beschreibung der Ofentypen.

Die einzelnen Kennzeichen der Ofentypen sind in Tafel 3 auf Grund der Einflußgrößen zusammengestellt.

Mit fortschreitender Entwicklung des Ofenbaues ist zu bemerken, daß die genannten vier Wannentypen immer mehr sich als Hauptformen des Schmelzofens herausstellen, während ältere Anordnungen, wie die runden Wannen oder die kurzen Querflammenwannen allmählich verschwinden, da sie den gesteigerten Anforderungen nicht mehr entsprechen. Auch die Type 2 ist nicht als neuzeitlich zu bezeichnen und wird allmählich durch Type 3 oder 4 ersetzt. Daneben entwickeln sich für die neuen Arbeitsverfahren, z. B. die Fließherstellung des Flach-

Tafel 3.
Die gebräuchlichen Wannentypen und ihre Kennzeichnung.

Kennzeichen (Einflußgröße f. Wärmeverbr.)		1. Tafelglaswannen		2. Offene Wannen		3. Durchlaßwannen, einräumig		4. Durchlaß- wannen, zweiräumig
				a) Weißglas	b) Farbglas	a) Weißglas	b) Farbglas	
Ofen- Bauart	Grundrißform (siehe Bild 4)	offen, lang		offen, mäßig lang		mit Trennwand, kurz		zwei getrennte Wannenteile
	Brennerkonstruktion	Querflamme		U-Flamme	U-Flamme	U-Flamme oder Querfil.	U-Flamme oder Querfil.	Querflamme
	Wärmerück- gewinnung	regenerativ, bei Generatorgas Gas und Luft, bei Koksofengas nur Luft vorgewärmt, Abgastemperatur 400°, CO ₂ -Gehalt des Abgases 14—16%.						
	Konstruktive Einzelheiten	Arbeitsteil isoliert		Arbeitsteil nicht isoliert		Arbeitsteil isoliert		Arbeitsteil iso- liert, rekuperativ beheizt
Ofen- betrieb	Spez. Einheitsleistg. s ₀ t/m ² 24 h*)	0,25	0,5	0,4	0,8	0,7	0,7	
	Ofenalter	Die Verbrauchswerte werden als Mittel aus den ersten drei Monaten der Ofenreise bestimmt.						
	Feuereinstellung	reduzierend**)		schwach oxydierend†)				
Glas	Glasart	Tafelglas**)		Weißhohl- glas, Gußglas†)	Flaschen- glas†)	Weißhohl- glas, Gußglas†)	Flaschen- glas†)	Weißhohlglas†)
	Entnahme- temperatur	1050°		1250° bis 1320°		1250° bis 1320°		1250°

*) Die angegebenen Zahlen wurden für die Umrechnung als Mittelwerte festgesetzt (vgl. Erklärungen im Text).

***) Sulfatglas, die Verbrauchswerte von reinen Sodagläsern sind um 11% zu erhöhen.

†) Sodagläser, die Verbrauchswerte von Sulfatgläsern sind um 10% zu senken.

glases besondere Ofenformen, die jedoch noch nicht in feste Typen einzureihen sind.

Die in der Tafel angegebenen Einheitsleistungen entsprechen etwa den heute erreichten Mittelwerten, sie beziehen sich jeweils auf die gesamte Herdfläche. Die Leistungsziffern liegen bei den Tafelglaswannen mit ihren großen Abstehräumen am niedrigsten, auch bei den offenen Hohl- und Gußglaswannen noch nicht sehr günstig. Den entscheidenden Umschwung bringt erst der Durchlaß. Die für diese Wannen angesetzten Zahlen von 0,8

amerikanische Wannen aus den Jahren 1924*) und 1927*). In den Jahren des allmählichen Uebergangs zur Hochleistungswanne wurden solche Erhebungen u. a. auch im Hinblick auf die noch nicht abgeschlossene Entwicklung nicht vorgenommen. Es fehlt infolgedessen an neuem statistischem Material. Zwar hat die Berechnung der Oefen wesentliche Fortschritte gemacht und die entwickelten Verfahren gestatten es, mit ausreichender Genauigkeit das Verhalten eines Ofens vorzubestimmen. Sie wurden bisher in der Glasindustrie nur vereinzelt für Ofenteile (Regenerator) angewendet, da der verwickelte Aufbau der Wannenöfen die Berechnung eines ganzen Ofens sehr mühevoll macht und da auch diese Rechnungsgänge zunächst an Hand von Erfahrungswerten den einzelnen Ofenarten angepaßt werden müssen.

Die nachfolgenden Zahlenwerte gründen sich in der Hauptsache auf neuere Erhebungen und Feststellungen der WBG bzw. HVG, für die ältere Type 2 auf die Zahlen der WBG-Schrift „Wannenöfen“.

Es ist zu beachten, daß der Wert von statistischen Zahlen nicht überschätzt werden darf, besonders soweit sie sich auf Umfragen gründen, wobei die einzelnen Zahlen nicht immer mit genügender Sachkenntnis und Sinn für die erforderliche Genauigkeit gewonnen und mitgeteilt werden. Bei den Verbrauchszahlen besteht die große Schwierigkeit, daß an Oefen mit ungereinigtem Generatorgas in fast keinem Fall die dem Schmelzofen zugeführte Gasmenge gemessen wird, vielmehr sind die entsprechenden Zahlen aus Kohledurchsätzen der Gaserzeuger abgeleitet, wobei der Verbrauch der Kühlöfen nach mehr oder weniger genauer Schätzung abgezogen

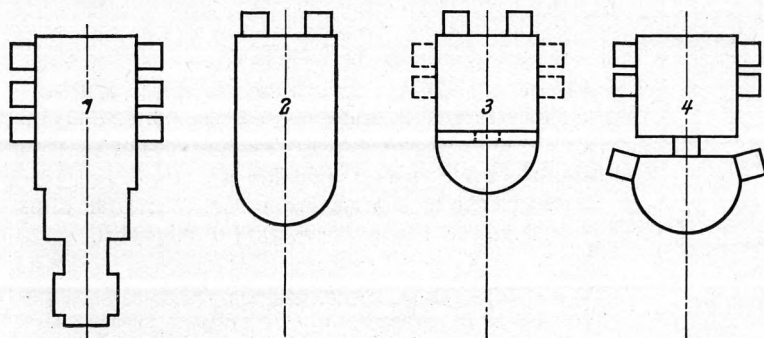


Bild 4. Grundrißformen der Wannentypen.

bzw. 0,7 t/m² 24 h sind Mittelwerte, die z. T. erheblich überschritten, z. T. nicht erreicht werden. Im übrigen entspricht die Tafel den vorhergegangenen Ueberlegungen.

III. Zahlenmaterial über den Wärmeverbrauch.

1. Statistik. Seit der umfangreichen statistischen Materialsammlung, die in der Schrift „Glasmelzwannenöfen“ der WBG³⁾ ihren Ausdruck gefunden hat, ist an keiner anderen Stelle des Schrifttums wieder eine ähnlich umfangreiche Uebersicht geboten worden. Lediglich TURNER gibt an 2 Stellen Zahlentafeln über

wird. Solche Zahlen sind für jede genauere Betrachtungsweise unbrauchbar. Ein Ausweg bietet sich aber meist derart, daß der Verbrauch des Schmelzofens als Differenz aus der Gesamtmenge und der im allgemeinen gereinigten, also leicht meßbaren, Verbrauchsmenge der Nebenöfen gefunden wird.

2. **Wärmebilanzen.** Einige genauere und im einzelnen belegte Zahlen sind in den im Schrifttum veröffentlichten Wärmebilanzen geboten¹⁰⁻¹⁴). Unter den Ergebnissen der Bilanzen schaltet eines¹⁰⁾ für den vorliegenden Zweck aus, da es sich um eine Tafelglaswanne für Handbetrieb handelt, die keiner der aufgeführten Ofentypen entspricht, in ¹¹⁾ und ¹²⁾ sind ältere Betriebswerte an Ziehglaswannen gegeben, in ¹³⁾ und ¹⁴⁾ neuere Ergebnisse von Hohlglaswannen. Im folgenden ist für die zahlenmäßige Festlegung des Wärmeverbrauches nur die letztgenannte Bilanz verwertet, da die anderen zu Wannentypen gehören, deren Bearbeitung mangels ausreichenden Zahlenmaterials unterbleiben mußte.

Für die Beurteilung des Leerlaufverbrauches ist die Nutzwärme, die in den einzelnen Bilanzen gefunden wurde, von Interesse. An den Tafelglaswannen ¹⁰⁾⁻¹²⁾ ergeben sich Werte von 10,8 bis 12,8%, während an den Hohlglaswannen ¹³⁾ und ¹⁴⁾ 19,3 bzw. 19,1% der gesamten von außen zugeführten Wärme als nutzbar ermittelt wurden.

IV. Zahlenwerte für den Wärmeverbrauch.

Im folgenden wird für die Wannentypen 2b, 3a und 4 der Zusammenhang zwischen den Einheitsgrößen des Wärmeverbrauches und der Schmelzleistung, also Q_e und S_e , dargestellt. Da die spezifische Schmelzleistung s_e bei den einzelnen Typen festliegt (Tafel 3), ergibt sich eine unmittelbare Abhängigkeit von der Herdfläche. Alle vorliegenden (Betriebs-) Einzelwerte der Leistung und des Verbrauches wurden zunächst auf ihren Einheitsbetrag umgerechnet, um den Einfluß der Ofenbelastung auszuschalten. Das Zahlenmaterial entstammt neueren Erhebungen und Untersuchungen der WBG bzw. HVG, für die Type 2b jedoch der WBG-Schrift „Wannenöfen“. Es wird Aufgabe späterer Untersuchungen sein, das Zahlenmaterial für die zunächst noch fehlenden Typen 1, 2a und 3b zusammenzustellen.

1. **Fensterglaswannen.** Die meisten Wannen dieser Type liegen in dem engen Größenbereich von 240–320 m², so daß die Streuung besonders stark ins Gewicht fällt. Für eine einwandfreie Beurteilung müssen deshalb sehr genaue Zahlenwerte gefunden werden.

2. Offene Wannen.

a) **Weißglas.** Ueber die Wannen dieser Type, die hute allmählich außer Gebrauch kommen, liegen keine auswertbaren Ergebnisse vor.

b) **Farbiges Flaschenglas.** Mehr und bessere Unterlagen sind über die gleiche Ausführung, jedoch für farbiges Flaschenglas zu finden. Sie sind gemäß den Angaben der WBG-Schrift „Wannenöfen“ in der Tafel 4 zusammengefaßt und in Bild 5 graphisch dargestellt. Die Nummern 15 und 16 entsprechen neueren Wannen und fallen demgemäß nach der günstigen Seite aus dem Rahmen der übrigen heraus.

In Bild 5 ist die Mittelwertslinie für den Wärmeverbrauch dieser Type eingetragen. Sie gehorcht der Gleichung

$$Q_e = 5 + 3,7 \cdot S_e \quad (10^6 \text{ kcal/24 h}).$$

Der lineare Verlauf dürfte nicht genau den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen, es erscheint jedoch

Tafel 4.

Nummer	Einheitswerte von Schmelzleistung und Wärmeverbrauch offener Wannen für farbiges Flaschenglas (Type 2b).		
	Gesamtherdfläche m ²	Einheitsleistung Einheitsverbrauch	
	S_e t/24 h	Q_e 10 ⁶ kcal/24 h	
1	26,8	10,7	47,4
2	28,0	11,2	51,4
3	36,0	14,4	54,8
4	38,5	15,4	51,2
5	43,0	17,2	49,0
6	46,0	18,4	83,0
7	46,7	18,7	80,0
8	51,0	20,4	59,1
9	53,7	21,5	82,0
10	56,0	22,4	100,1
11	56,0	22,4	84,0
12	56,7	22,7	86,3
13	58,3	23,4	100,3
14	80,7	32,3	111,4
15	78,0	31,0	86,0
16	100,0	40,0	119,7

angezeigt, unter Berücksichtigung der Fehlergrenzen der einzelnen Meßwerte diesen Verlauf zu Grunde zu legen.

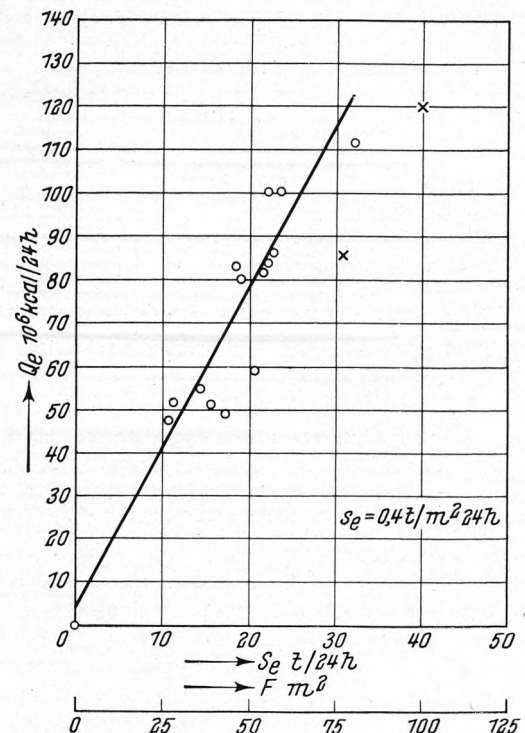


Bild 5. Einheitswerte von Schmelzleistung und Wärmeverbrauch offener Wannen für farbiges Flaschenglas.

3. Durchlaßwannen (einräumig).

a) **Weißglas.** Die entsprechenden Werte für diese Type sind in der Tafel 5, bzw. Bild 6 aufgeführt.

Tafel 5.

Nummer	Einheitswerte von Schmelzleistung und Wärmeverbrauch einräumiger Durchlaßwannen für Weißglas (Type 3a).		
	Gesamtherdfläche m ²	Einheitsleistung Einheitsverbrauch	
	S_e t/24 h	Q_e 10 ⁶ kcal/24 h	
1	20,3	16,5	42,9
2	21,2	17,0	52,4
3	31,0	24,8	93,0
4	49,0	39,2	108,2
5	50,8	40,6	89,5
6	60,3	48,2	122,1
7	120,0	95,8	196,4

Der Wert 7 ist in dem Bild nicht eingetragen, da er als einziger weit aus dem übrigen Größenbereich herausfällt. Trotzdem entspricht auch er recht genau der eingetragenen Mittellinie, deren Gleichung zu

$$Q_e = 10 + 2,28 \cdot S_e \quad (10^6 \text{ kcal/24 h})$$

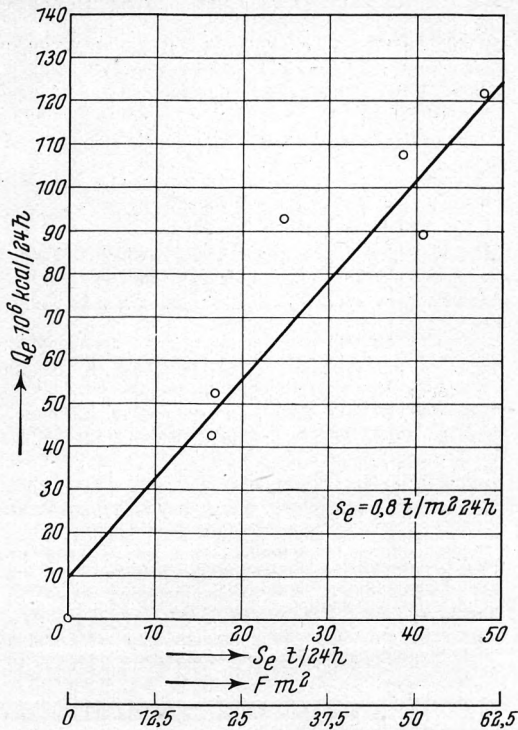


Bild 6. Einheitswerte von Schmelzleistung und Wärmeverbrauch einräumiger Durchlaßwannen für Weißglas.

abzuleiten ist. Die Verbrauchszahlen liegen hier also bereits wesentlich günstiger, als bei der älteren Type 2b. Die Rückrechnung von den Einheitswerten auf beliebige Werte wird nach der (entsprechend umzuordnenden) Formel A IV/1 durchgeführt. Außerdem erlaubt diese in Verbindung mit der obenstehenden Formel für Q_e eine graphische Darstellung der Zusammenhänge zwischen Q_e , S_e und der Gesamtherdfläche F . Diese ist in Bild 6a eingetragen, sie zeigt, daß sich für die einzelnen Herdflächen parallele Q_e/S_e -Linien ergeben. Aus diesem Bild können also ohne Umrechnung über den Einheitswert die

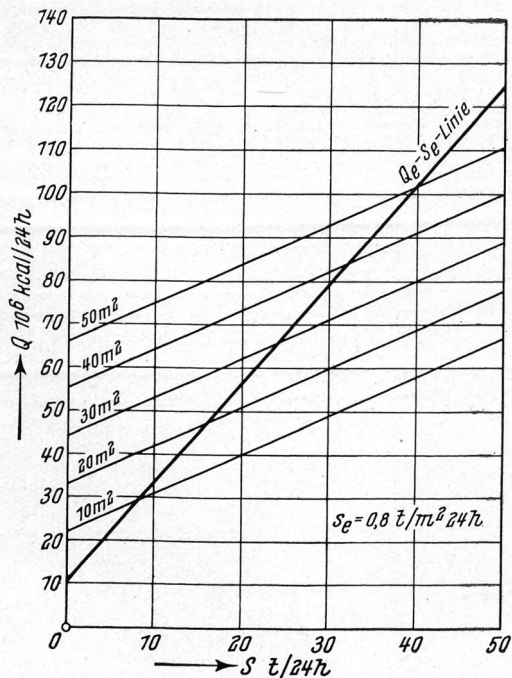


Bild 6a. Zusammenhänge zwischen Wärmeverbrauch, Schmelzleistung und Herdfläche für Type 3a, auf Grund der Kennlinie Bild 6 ermittelt.

Zahlen für Q_e und S_e entnommen werden. Da nach der Definition dieser 3 Hauptgrößen auch die abhängige Kenngröße s (spezifische Schmelzleistung) und q (spezifischer Wärmeverbrauch) bestimmt sind, lassen sich auch diese dem Bild nach entsprechender Rechnung entnehmen.

Da die Zahl der Punkte in Bild 6 beschränkt ist, muß die Mittellinie als Näherungsergebnis betrachtet werden. Dasselbe gilt für das daraus abgeleitete Bild 6a.

b) Flaschenglas. Ueber diese Type liegen nicht genügend Zahlenwerte vor, um die Abhängigkeit eindeutig darzustellen. Die Verbrauchskurve dürfte etwas ungünstiger liegen als bei 3a.

4. Zweiräumige Durchlaßwannen. In der entsprechenden Weise wie bei den Typen 2b und 3a sind auch hier die Zahlenwerte kurvenmäßig dargestellt.

Tafel 6.

Einheitswerte von Schmelzleistung und Wärmeverbrauch zweiräumiger Durchlaßwannen (Type 4).

Nummer	Gesamtherdfläche m^2	Einheitsleistung S_e t/24 h	Einheitsverbrauch Q_e 10^6 kcal/24 h
1	26,9	18,8	48,1
2	29,2	20,4	60,6
3	40,0	28,0	70,4
4	48,6	34,0	93,5
5	58,7	41,0	133,5
6	65,6	46,0	96,4

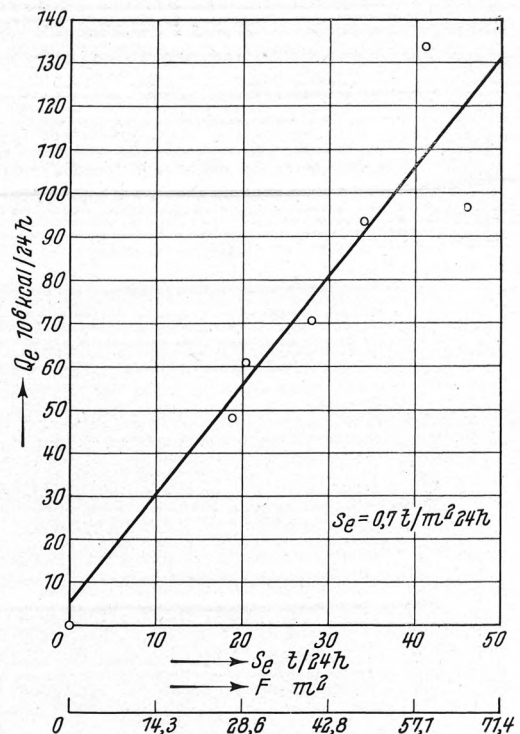


Bild 7. Einheitswerte von Schmelzleistung und Wärmeverbrauch zweiräumiger Durchlaßwannen.

Die Kurve der Mittellinie ergibt hier die Gleichung $Q_e = 5 + 2,52 \cdot S_e$ (10^6 kcal/24 h).

Die einzelnen Werte liegen etwas ungünstiger als bei Type 3a, wie bei der größeren Außenfläche zu erwarten war. Auch hier handelt es sich bei der geringen, bisher vorliegenden Zahl von Ergebnissen zunächst um eine Näherungsgleichung.

Zusammenfassung.

Der Wärmeverbrauch eines Wannensofens hängt von einer großen Zahl von Einflußgrößen ab, die sich auf die Gebiete: Brennstoffe, Ofen und Glas zurück-

führen lassen. Diese Vielzahl führt zu einer Unübersichtlichkeit der Zusammenhänge zwischen Wärmeverbrauch, Ofengröße und Schmelzleistung. Eine Klärung ist dadurch möglich, daß die Schmelzöfen nach einzelnen Typen getrennt betrachtet werden, wobei die Einflußgrößen jeweils in geeigneter Weise entweder in ihrer Wirkung ausgeschaltet oder im Endergebnis berücksichtigt werden. Als besonders nutzbringend erweist sich hierbei ein Verfahren von MOORSHEAD zur Berücksichtigung der Ofenleistung durch Umrechnen auf Einheitswerte der Leistung und des Verbrauches. Nach diesem Verfahren (Formel in Abschn. A IV 1, S. 111) sind Betriebswerte zunächst auf Einheitswerte umzurechnen.

Die einzelnen, nach dem heutigen Stand des Ofenbaues in Frage kommenden Typen werden definiert. An Hand neuerer Zahlenwerte werden für diese Typen nach den gegebenen Gesichtspunkten die Zusammenhänge zwischen Größe, Schmelzleistung und Wärmeverbrauch graphisch dargestellt und formelmäßig erfaßt. Am Beispiel einer Type (3a) wird gezeigt, in welcher Form sich diese Ergebnisse über die Einheitswerte hinaus auf die allgemeinen Zusammenhänge ausdehnen lassen. Die benutzten Zahlenwerte entstammen für eine ältere Ofentype den Erhebungen der WBG, für die anderen sind sie auf neuem Zahlenmaterial aufgebaut. Eine Ergänzung der vorliegenden Werte wird zur Erhöhung der Genauigkeit bzw. zur Berücksichtigung der bisher nicht betrachteten Typen notwendig sein.

Schrifttum:

- 1) ALLOLIO, R., „Kokereigasverwendung in der Glasindustrie“, *Glastechn. Ber.*, **14** (1936), S. 15—20.
- 2) GÜNTHER, R., „Kennzahlen für Schmelzleistung und Wärmeverbrauch von Wannenöfen“, *Glastechn. Ber.*, **18** (1940), S. 185—188.
- 3) WBG, „Glasschmelzwannenöfen“, Frankfurt/M.: Selbstverlag. 1927.
- 4) MOORSHEAD, W. A., „Vorschläge für eine Einheitsgrundlage zur Bezeichnung des Wannenofenverbrauches“, *J. Soc. Glass Technol.*, **20** (1936), S. 640—650.
- 5) COAD-PRYOR, E. A., „Einfluß der Belastung auf den Brennstoffverbrauch von Glasschmelzwannen“, *Glastechn. Ber.*, **9** (1931), S. 8—10.
- 6) LAMORT, J., „Wirkung der Wärmebelastung auf Schmelzleistung und Brennstoffverbrauch der Wannenöfen“, *Glastechn. Ber.*, **9** (1931), S. 30—35.
- 7) METZGER, K., „Zusammenhänge zwischen Entnahmetemperatur des Glases, Strömungszahl und spezifische Schmelzleistung von Wannen“, *Glastechn. Ber.*, **12** (1934), S. 381 bis 385.
- 8) TURNER, W. E. S., „Die Glasindustrie in Nordamerika 1924“, *J. Soc. Glass Technol.*, **8** (1924), S. 286—302. (Ref. *Glastechn. Ber.*, **4** (1926/27), S. 28—31.)
- 9) TURNER, W. E. S., „Die Entwicklung der Glasschmelzöfen in neuerer Zeit“, *J. Soc. Glass Technol.*, **11** (1927), S. 303—331.
- 10) MAURACH, H., „Der Wärmefluß in einer Schmelzofenanlage für Tafelglas“, München und Berlin: R. Oldenbourg, 1923.
- 11) MÜLLENSIEFEN, W., „Wärmeflußuntersuchung an einem mit Koksofengas beheizten Tafelglaswannenofen“, *Glastechn. Ber.*, **7** (1929/30), S. 188—200.
- 12) FRIEDMANN, W., „Wärmetechnische Untersuchungen an einer Glasschmelzwanne“, *Glastechn. Ber.*, **10** (1932), S. 593—610.
- 13) PIKE, R. D. und G. WEST, „Wärmebilanz eines Glasschmelzofens“, *J. Amer. ceram. soc.*, **11** (1928), S. 734—744. (Ref. *Glastechn. Ber.*, **7** (1929/30), S. 65—66.)
- 14) BADGER, A. E., V. C. FUGSCHAN u. H. J. VORMELKEN, „Wärmebilanz einer Glasschmelzwanne“, *Glass Ind. (N.Y.)*, **16** (1935), S. 5—10. (Ref. *Glastechn. Ber.*, **13** (1935), S. 294.)
- 15) FRIEDMANN, W., „Wärmetechnische Begriffe und Berechnungen zur Beurteilung der Betriebsergebnisse von Glasschmelzwannen“, *J. Soc. Glass Technol.*, **20** (1936), S. 596—639.