

November 1940

H V G - Mitteilung Nr. 440  
-----

Kennzahlen für Schmelzleistung und Wärmeverbrauch von Wannenöfen.

Für die Beurteilung der technischen Eigenschaften von Wannenöfen ist eine einheitliche Wahl und genaue Definition der zur Beurteilung angewendeten Kennzahlen von grundlegender Bedeutung. In dem als / Anlage beigelegten Sonderdruck sind Vorschläge in dieser Richtung, wie sie sich aus der Arbeit der HVG ergaben, enthalten. Zugleich ist ein Nomogramm beigegeben, das die Ermittlung der spezifischen Schmelzleistung aus absoluter Schmelzleistung und Herdfläche sowie des spezifischen aus dem absoluten Wärmeverbrauch und der Schmelzleistung erleichtert.

Diese Besprechung der Kennzahlen gibt Veranlassung, auf die (in dem Sonderdruck nicht behandelten) zahlenmässigen Zusammenhänge zwischen Ofengrösse und Schmelzleistung, Ofengrösse und Wärmeverbrauch, Schmelzleistung und Wärmeverbrauch usw. kurz einzugehen.

Zur Klärung dieser Zusammenhänge sind verschiedene Versuche unternommen worden<sup>1)2)</sup>. Sie bauten vorwiegend auf dem Zahlenmaterial auf, das in den Schriften der WBG über Hafenöfen und Wannenöfen veröffentlicht wurde. Die Ergebnisse dieser Arbeiten befriedigten nicht. Die Ursache hierfür ist darin zu suchen, dass jeweils versucht wurde, eine Kennzahl (in Kurvenform) als Funktion einer anderen darzustellen, obwohl jeweils nicht eine, sondern mehrere Einflußgrößen vorliegen, da man an einem Ofen durchweg mit einer Vielzahl sich überschneidender und von einander abhängiger Vorgänge zu rechnen hat. Soll also ein Wert als Funktion eines anderen dargestellt werden, so müssen alle übrigen Verhältnisse konstant gehalten werden, andernfalls ergibt sich in der grafischen Darstellung ein Punkthaufen, durch den keine einwandfreie Kurve gelegt werden kann. Beispielsweise hängt der Wärmeverbrauch eines Wannenofens nicht allein von der Ofengrösse ab, sondern es sind auch die Bauart, insbesondere hinsichtlich Durchlass und Grösse des Abstehraums, sowie Grad und Wirkungsgrad der Abwärmerückgewinnung, Art des Brennstoffs, Schmelzeigenschaften des Glases usw. von Bedeutung. Soll also der Einfluß der Ofengröße auf den Wärmeverbrauch festgestellt werden, so kann dies nur durch Vergleich von Öfen erfolgen, bei denen alle anderen Voraussetzungen gleich sind, andernfalls kann der Einfluß

der betrachteten Einflußgröße, hier also der Größe des Ofens, durch den einer anderen, also z.B. des Ofenalters, ganz oder teilweise überdeckt werden.

Ein besseres Ergebnis als die genannten Arbeiten ergab der Versuch, eine Abhängigkeit zwischen Entnahmetemperatur und spez. Schmelzleistung zu finden<sup>3)</sup>. Zwar blieb auch hier ein Teil der Einflußgrößen unbeachtet. Da jedoch die wichtigste der in Frage kommenden Einflußgrößen als Veränderliche zu Grunde gelegt war, so konnte man bereits auf Grund dieser Tatsache erwarten, ein ungefähres Bild der Zusammenhänge zu finden. Ausserdem wurde die Bauart berücksichtigt und aus dem zur Verfügung stehenden Material nur die Punkte ausgewählt, die der jeweils höchsten Schmelzleistung entsprachen. Hierdurch wurde der Einfluß ungünstiger Betriebsbedingungen weitgehend ausgeschaltet und auf diese Weise die zunächst vernachlässigten Einflußgrößen mittelbar doch erfaßt. Dieses Verfahren kann auch in manchen anderen Fällen angewendet werden, trägt jedoch durch das Auswählen bestimmter Werte einenetwas willkürlichen Charakter.

Eine erfolgversprechende Möglichkeit zur Klarstellung verwickelter Zusammenhänge, die einer Rechnung auf Grund der chemisch-physikalischen Gesetze nicht zugänglich sind, also auch für die Ermittlung der Zusammenhänge zwischen Ofengröße, Schmelzleistung, Wärmeverbrauch usw., ist durch die Einflußgrößenrechnung nach Stevens<sup>4)</sup> gegeben. Dieses Verfahren geht derart vor, dass zunächst aus der Erkenntnis der Art der vorliegenden Zusammenhänge eine allgemeine Formel aufgestellt wird. Die zunächst unbekanntenen Werte der in diesen Formeln enthaltenen Konstanten werden dadurch gefunden, dass einige genau bekannte Meßwerte, die den Veränderlichen der Formel entsprechen, eingesetzt und so die Konstanten der Formel errechnet werden.

- 
- 1) FRIEDMANN, W., Beziehungen zwischen Größe, Leistung u. Wärmeverbrauch von Glasschmelzhafenöfen mit Regenerativfeuerung. Arch.f.Wärmew. 8(1927), S. 59-62.
  - 2) LAMORT, J., Wirkung d. Wärmebelastung auf Schmelzleistung u. Brennstoffverbrauch d. Wannenöfen. Glastechn. Ber. 9 (1931), S. 30-35.
  - 3) METZGER, K., Zusammenhänge zwischen Entnahmetemperatur des Glases, Strömungszahl und spez. Schmelzleistung von Wannen. Glastechn. Ber. 12 (1934), S. 381-385.
  - 4) STEVENS, H., Einflußgrößenrechnung. Düsseldorf, Verl. Stahleisen 1939.

DK 518.3 : 662.614 : 666.1.031.2.004.15 (045)

## Kennzahlen für Schmelzleistung und Wärmeverbrauch von Wannenöfen.

Von R. Günther, Frankfurt a. Main.

(Mitteilung aus der Hüttentechnischen Vereinigung der deutschen Glasindustrie, Frankfurt a. M.)

(Eingegangen am 5. Juli 1940.)

### Einleitung.

Kennzahlen für Schmelzleistung und Wärmeverbrauch von Wannenöfen sollen der zahlenmäßige Ausdruck der wichtigsten Betriebsbedingungen, Bewertungs- und Vergleichsgrundlagen verschiedener Oefen sein. Die Aufstellung solcher Kennzahlen für Wannenöfen ist besonders schwierig, da die Betriebsbedingungen von einer großen Zahl von Einflußgrößen abhängen, wie Ofenkonstruktion, Brennstoff, Schmelzbarkeit des Gemenges (Alkaligehalt), Scherbenzusatz, Glasqualität sowie vor allen Dingen Entnahme- bzw. Verarbeitungstemperatur. Alle diese Einflußgrößen können in z. T. weiten Grenzen schwanken. Ein Vergleich verschiedener Oefen ist daher nur bei Vorliegen etwa gleicher Voraussetzungen möglich. Liegen diese verschieden, so kann der zahlenmäßige Einfluß dieser Grundwerte auf die betreffende Kennzahl nur näherungsweise durch Schätzung auf Grund von Erfahrungswerten bestimmt werden. Eine rechnerische Erfassung ist bis jetzt nicht gelungen.

Diese Schwierigkeiten lassen es ganz besonders angezeigt erscheinen, den Vergleich verschiedener Wannen nicht überdies durch unterschiedliche Wahl der Kennzahlen zu erschweren. Es soll deshalb im folgenden versucht werden, eine genaue Definition der einzelnen Kennzahlen zu geben sowie an Hand der Vor- und Nachteile, die sich bei ihrer Anwendung ergeben, die günstigsten zu ermitteln.

### A. Wahl der Kennzahlen.

1. Absolute Schmelzleistung. Die absolute Schmelzleistung, meist kurz als Schmelzleistung bezeichnet, gibt die in einer bestimmten Zeit in einem Ofen erschmolzene Glasmenge an. Als Dimension wird ziemlich einheitlich  $t/24h$  zugrunde gelegt, die Angabe in  $kg/24h$  ergibt unnötig große, vier- bis sechsstellige Zahlen. Mit  $t/Woche$  wird nur vereinzelt gerechnet.

Die Schmelzleistung wird für einen Arbeitstag angegeben. Bei Kontrollrechnungen auf Grund von Statistiken ist also durch die Zahl der Arbeitstage, nicht durch die Gesamtzahl der Tage zu dividieren.

Das Gewicht des erschmolzenen Glases, das der Schmelzleistung zugrunde gelegt wird, errechnet man zu  $\text{Erschm. Glas} = \text{Gemengeeinlage} \times \text{Schmelzverlustfaktor} + \text{Scherbeneinlage}$ . Ist, was im allgemeinen zutrifft, der Glasstand am Anfang und Ende eines Arbeitstages gleich, so ist auch die ausgearbeitete Glasmenge = der erschmolzenen Glasmenge.

Gewisse Schwierigkeiten bereitet beim Gußglas-Kellerverfahren und z. T. bei Hohl- und Preßglas die Berücksichtigung der wiedereingelegten heißen Abfälle in der Schmelzleistung. Diese Abfälle strömen z. T. wieder durch die Wanne, außerdem ist zu ihrer Wiedererwär-

mung auf die Temperatur des Glasbades eine gewisse Wärmemenge erforderlich; sie müssen also bei Durchführung genauer Rechnungen zweifellos der Schmelzleistung zugerechnet werden, wenn auch nicht mit ihrem vollen Gewicht, da sie zum Einschmelzen weniger Wärmemengen benötigen als Gemenge und Scherben. Eine befriedigende Lösung dieser Frage ist bis jetzt nicht bekannt. Bei Hohlglas, wo es sich nur um geringe Mengen handelt, erreicht man eine ausreichende Genauigkeit, wenn man 50% des Gewichts der heißen Abfälle der Schmelzleistung zuzählt. Beim Gußglas-Kellerverfahren wird das Kellenglas bei Bestimmung der Schmelzleistung meist vernachlässigt. Legt man nur auf Relativzahlen Wert, z. B. zur Betriebsüberwachung, so genügt diese Rechnungsweise; will man jedoch etwa mit anderen Oefen Vergleiche anstellen, so liegen diese Werte zu ungünstig, das Kellenglas muß dann mit etwa 20—30% seines Gewichts der Schmelzleistung zugerechnet werden.

2. Spezifische Schmelzleistung. Die spezifische Schmelzleistung gibt an, welche Glasmenge auf der Flächeneinheit eines Ofens erschmolzen wird. Als Dimension kommt  $t/m^2 24h$  und  $kg/m^2 h$  in Frage, als Flächenwert wird teils die gesamte Herdfläche, teils auch nur die Schmelzfläche oder die beheizte Herdfläche zugrundegelegt. In England und Amerika ist der reziproke Wert dieser Kennzahl (bezogen auf englisches Maßsystem) gebräuchlich, also  $sq. ft./to 24h$ , der Berechnung wird die Schmelzfläche zugrunde gelegt.

Die Dimension  $t/m^2 24h$  wird neuerdings mit Recht bevorzugt. Sie bietet den Vorteil, daß eine Umrechnung auf die anderen Kennzahlen leichter durchzuführen ist als bei Angabe in  $kg/m^2 h$ , da auch für die anderen Kennzahlen  $t$  und  $24h$  als Einheit dienen.

Die Umrechnung erfolgt auf Grund der Beziehung

$$1 t/m^2 24h = 41,6 kg/m^2 h$$

$$1 kg/m^2 h = 0,024 t/m^2 24h.$$

Wichtiger als diese Unterscheidung formaler Natur ist die Wahl der Bezugsfläche: Gesamtherdfläche oder beheizte Herdfläche bzw. Schmelzfläche. Die Zugrundelegung der Gesamtherdfläche hat den Nachteil, daß die Einflüsse der verschiedenen Abkühlungsverhältnisse (Arbeitstemperatur, Durchlaß) in die spezifische Schmelzleistung eingehen; denn bei Arbeitsverfahren, die niedrige Arbeitstemperatur bedingen, ist eine große Abstehtfläche notwendig, die bei dieser Berechnungsweise als Teil der Gesamtherdfläche auf die spezifische Schmelzleistung von Einfluß ist. Um diesen Nachteil auszuschalten, wurde der Begriff der „beheizten Herdfläche“ und der „Schmelzfläche“ eingeführt. Als „beheizte“ Herdfläche wird bei Querflammenwannen die Fläche bis zum letzten beheizten

Brenner bezeichnet. Bei U-Flammenwannen läßt sich eine Grenze der Beheizung nicht einwandfrei angeben, man rechnet deshalb bei dieser Wannenbauart die Fläche bis zum Durchlaß als beheizt. Bei den Wannen des Gußglas-Ausflußverfahrens ist die ganze Wannenfläche beheizt. Diese Verschiedenheiten der Bau-Ausführung bringen es mit sich, daß auch die beheizte Herdfläche nicht als eindeutig definierter Begriff angesehen werden kann. Dasselbe gilt für den Begriff der Schmelzfläche, da auch die Auswirkung des Schmelzvorgangs nicht mit mathematischer Genauigkeit flächenmäßig zu begrenzen ist.

Auf Grund dessen ermöglichen also diese Festlegungen keinen einwandfreien Vergleich zwischen verschiedenen Wannenbauarten, sondern führen dazu, daß Vergleiche unter vermeintlich gleichen Voraussetzungen angestellt werden, während sich in Wahrheit Fehler von 10% und mehr ergeben können. Aus diesem Grunde ist es richtiger, die einwandfrei bekannte Gesamtherdfläche als Bezugsgröße zu wählen. Diese Kennzahl ermöglicht einen sicheren Vergleich von Wannen ähnlicher Bauart. Sollen dagegen Wannen verschiedener Bauart verglichen werden, so empfiehlt sich eine ins einzelne gehende Nachrechnung<sup>1)</sup>.

Da die spezifische Schmelzleistung aus absoluter Schmelzleistung und Herdfläche errechnet wird, gibt sie ebenso wie diese einen Mittelwert über 24 Stunden. Häufig verteilt sich jedoch die Schmelzleistung nicht gleichmäßig über alle 24 Stunden des Tages. Bei zweischichtiger Arbeitsweise wird z. B. häufig in der Nachtschicht, während der nicht ausgearbeitet wird, weniger eingelegt als während der beiden anderen Schichten. Zur Angabe eines Mittelwertes genügt es auch in solchen Fällen, die Schmelzleistung als Durchschnitt über 24 Stunden zu bestimmen. Lediglich zur Festlegung einer vorübergehenden Höchstleistung muß der Verlauf über die einzelnen Stunden und zwar auf Grund der eingelegten Mengen berechnet werden.

Für die Umrechnung der englischen Einheit sq. ft./to 24h, die man etwa als spezifische Herdfläche bezeichnen könnte, in die deutsche, bestehen nachstehende Zusammenhänge:

$$1 \text{ t/m}^2 \text{ 24h} = \frac{10,9}{\text{sq. ft./to 24h}}; \quad 1 \text{ sq. ft./to 24h} = \frac{10,9}{\text{t/m}^2 \text{ 24h}}$$

$$1 \text{ sq. ft.} = 0,0929 \text{ m}^2 \quad 1 \text{ to (long ton)} = 1,016 \text{ t}$$

Bei der Umrechnung ist zu berücksichtigen, daß im eng-

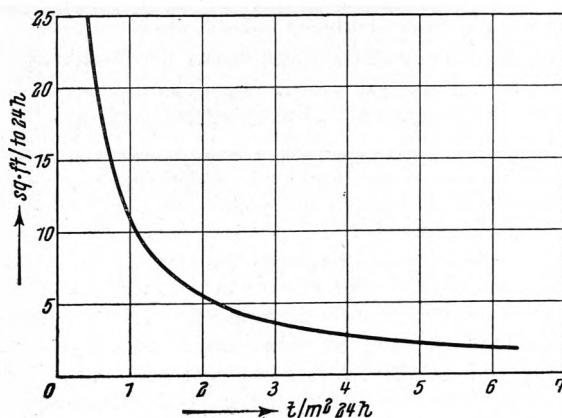


Bild 1. Umrechnungskurve t/m² 24h — sq. ft./to 24h.

<sup>1)</sup> Metzger, K. „Zusammenhänge zwischen Entnahmetemperatur des Glases, Strömungszahl und spezifischer Schmelzleistung von Wannen“, *Glastechn. Ber.*, 12 (1934), S. 381—385.

lischsprachigen Schrifttum die Schmelzfläche als Bezugsgröße gewählt ist. Gegebenenfalls ist also auf die Gesamtherdfläche umzurechnen.

Da die beiden Kennzahlen in reziprokem Verhältnis stehen, liegen zusammengehörige Werte auf einer hyperbolischen Kurve (Bild 1).

Wie allgemein im Schmelzofenbetrieb die Leistungsangabe als Kennzahl bevorzugt wird, so ist auch in diesem Fall die Angabe in t/m² 24h vorzuziehen, zumal bei dieser Angabe der Nullwert einen technischen Sinn hat — er bezeichnet den Leerlauf — was bei der Angabe der reziproken Zahl nicht zutrifft.

3. Absoluter Wärmeverbrauch. Der absolute Wärmeverbrauch, kurz „Wärmeverbrauch“, gibt die in 24 Stunden verbrauchte Wärmemenge in t Kohle/24h, Nm³/24h oder kcal/24h an. Die Angabe in t Kohle hat den Vorteil, daß sie sich leicht ermitteln läßt. Sie ist als Grundlage für Vergleiche innerhalb eines Betriebes geeignet, dasselbe gilt für die Angabe in Nm³/24h für Hütten, die Ferngas o. ä. beziehen.

Die Zugrundelegung der Brennstoffmengen hat jedoch den Nachteil, daß Vergleiche mit anderen Betrieben nicht ohne weiteres möglich sind, da bei festen Brennstoffen der Generatorwirkungsgrad in der Zahl enthalten ist und außerdem bei allen Brennstoffen die Heizwerte. Man bevorzugt deshalb die Kennzahl kcal/Nm³, wobei für gasbeheizte Oefen der Wärmehalt des kalten Gases unter Berücksichtigung des Teergehaltes zugrunde gelegt wird, und hat so die Möglichkeit, Gas-, Oel- und elektrisch beheizte Oefen hinsichtlich ihres Wärmeverbrauches zu vergleichen.

Soll für eine Ueberschlagsrechnung aus dem Kohlenverbrauch der Wärmeverbrauch des Ofens ermittelt werden, so wird der Gaserzeugerwirkungsgrad mit 80% (für Gaserzeuger mit natürlichem Zug mit 70%) angesetzt.

Die Angabe des Wärmeverbrauches wird, ebenso wie die der Schmelzleistung auf einen Arbeitstag bezogen. Der Verbrauch der Arbeitswanne wird in die Rechnung einbezogen, jedoch nicht der von Feederkanälen, Ziehschächten, Drehwannen usw.

4. Spezifischer Wärmeverbrauch. Der spezifische Wärmeverbrauch gibt an, welche Wärmemenge zum Erschmelzen von 1 kg Glas aufgewendet wurde. Er wird in kg Kohle/kg Glas oder in kcal/kg Glas angegeben. Aus denselben Erwägungen heraus, wie sie beim absoluten Wärmeverbrauch maßgebend sind, wird auch hier die Kennzahl kcal/kg Glas bevorzugt.

Der spezifische Wärmeverbrauch wird also im Gegensatz zur spezifischen Schmelzleistung nicht auf die Herdfläche, sondern auf die erzeugte Glasmenge bezogen, er gibt somit ein Maß für die Wirtschaftlichkeit eines Ofens in wärmetechnischer Hinsicht.

Der spezifische Wärmeverbrauch hängt von zwei Einflußgrößen, der Ofenbelastung und der Wärmeausnutzung im Ofen ab. Nur wenn diese beiden Einflußgrößen günstig liegen, ergibt sich ein guter spezifischer Wärmeverbrauch.

5. Sonstige Kennzahlen. Andere Kennzahlen, deren Einführung gelegentlich vorgeschlagen wurde, setzen sich nicht durch, da die genannten vier Kennzahlen die wichtigsten Grundwerte über Leistung und Verbrauch in eindeutiger Weise bezeichnen.

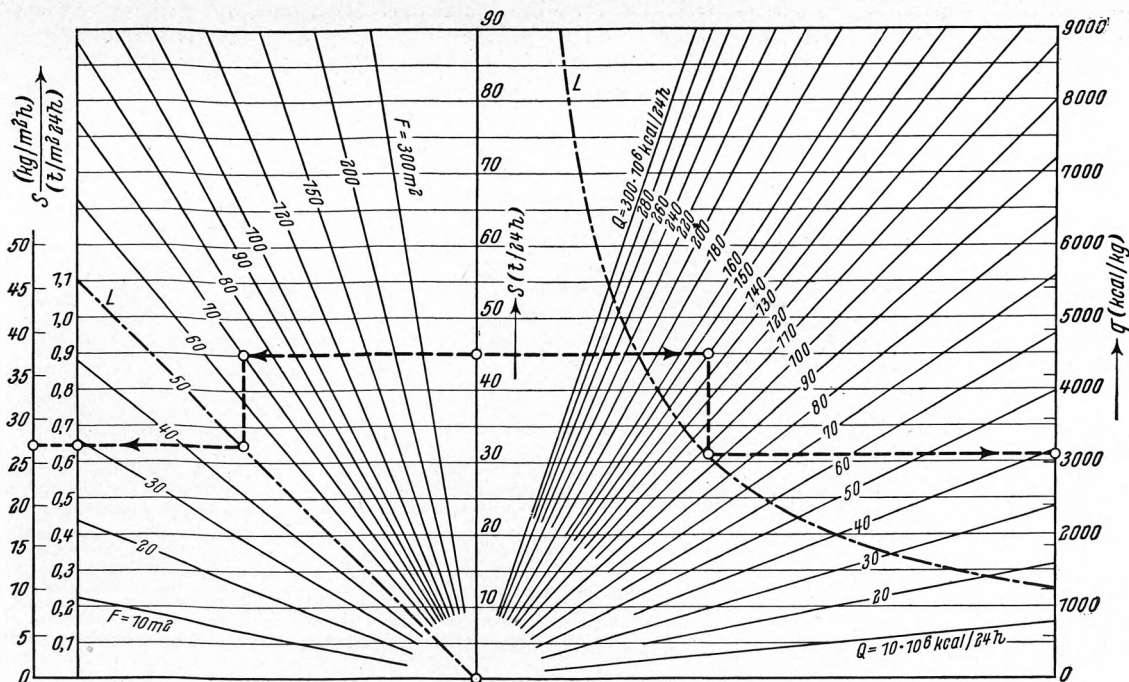


Bild 2. Nomogramm für die Kennzahlen der Schmelzleistung und des Wärmeverbrauchs.

### B. Nomogramm.

Zur bequemen Erfassung der rechnerischen Zusammenhänge zwischen den einzelnen Kennzahlen dient das Nomogramm (Bild 2), das mit Hilfe des Leitlinienverfahrens nach Diercks und Euler<sup>2)</sup> aufgestellt wurde. Die angewendeten Bezeichnungen bedeuten:

- S = absolute Schmelzleistung (t/24h)
- s = spezifische Schmelzleistung (t/m<sup>2</sup>24h)
- F = Herdfläche (m<sup>2</sup>)
- Q = absoluter Wärmeverbrauch (10<sup>6</sup> kcal/24h)
- q = spezifischer Wärmeverbrauch (kcal/kg Glas)

Die linke Seite des Nomogramms dient zur Ermittlung der spezifischen Schmelzleistung nach der Formel:  $s = S/F$ , die rechte Seite zur Ermittlung des spezifischen Wärmeverbrauchs nach der Formel  $q = Q/S$ .

Den Gang der Ablesung zeigt der für ein Beispiel gestrichelt eingetragene Laufstrahl: Von der Schmelzleistung, die auf der mittleren Senkrechten aufgesucht wird, geht man nach links bis zu dem der Herdfläche entsprechenden Divisionsstrahl, von diesem senkrecht bis zur Leitlinie und wieder waagrecht bis zur linken Senkrechten, auf der die spezifische Schmelzleistung entweder in t/m<sup>2</sup> 24h oder auf dem danebenstehenden Maßstab in kg/m<sup>2</sup> h abgelesen werden kann. Von der mittleren Senkrechten nach rechts findet man in entsprechender Weise

über Divisionsstrahl und Leitlinie aus Schmelzleistung und absolutem Wärmeverbrauch den spezifischen Wärmeverbrauch. Für die umgekehrten Rechnungsgänge bekommen die Laufstrahlen die umgekehrte Richtung.

Der eingetragene Laufstrahl entspricht folgendem Zahlenbeispiel:

- S = 45 t/24h,
- F = 70 m<sup>2</sup>,
- Q = 140 · 10<sup>6</sup> kcal/24h.

Aus diesen Werten ergibt sich nach dem Nomogramm:

- s = 0,645 t/m<sup>2</sup> 24h = 26,8 kg/m<sup>2</sup>h,
- q = 3100 kcal/kg Glas.

### Zusammenfassung.

Im Hinblick auf die Bedeutung einheitlicher Kennzahlen für Beurteilung und Betriebsüberwachung von Wannenöfen werden die Kennzahlen für Schmelzleistung und Wärmeverbrauch im einzelnen definiert und einer Kritik hinsichtlich ihrer Brauchbarkeit unterzogen. Als vorteilhaft erweist sich die Bezeichnung

- der absoluten Schmelzleistung in t/24h,
- der spezifischen Schmelzleistung in t/m<sup>2</sup> 24h,
- des absoluten Wärmeverbrauchs in kcal/24h,
- des spezifischen Wärmeverbrauchs in kcal/kg Glas.

Ein Nomogramm zur Erfassung der rechnerischen Zusammenhänge zwischen diesen Kennzahlen ist angefügt. (13 947)

<sup>2)</sup> Diercks, H. und H. Euler, „Praktische Nomographie“. Düsseldorf, Stahlseisen, 1939.