

Wirkung der Wärmebelastung auf Schmelzleistung und Brennstoffverbrauch der Wannenöfen.

Von Privatdozent Dr.-Ing. J. Lamort, Karlsruhe.
(Eingegangen 6. Dezember 1930.)

Die WBG¹⁾ in Frankfurt a. M. hat 1927 für Wannenöfen eine durchschnittliche Wärmebelastung der beheizten Herdfläche von 85 000 bis 125 000 kcal (also im Durchschnitt von 105 000 kcal) je Stunde auf 1 m² festgestellt (bezogen auf den in den Generatoren vergasten Brennstoff). Öfen mit stärkerer Wärmebelastung wurden nur ganz vereinzelt angetroffen.

Es befanden sich unter den untersuchten Öfen noch keine Halswannen. Diese haben sich erst in den letzten Jahren in Deutschland allmählich eingeführt; es ist bekannt, daß mit ihnen in Amerika und in England bei der automatischen Erzeugung von Hohl- und Flaschenglas in Verbindung mit weichem Glassatz außerordentlich hohe Leistungen erzielt werden. Turner²⁾ hat 1924 und 1927 die Ergebnisse solcher englischer und amerikanischer Hochleistungswannen veröffentlicht. Entsprechende Zahlen wurden inzwischen auch bei deutschen Halswannen erzielt³⁾. Die beschriebenen Öfen zeigen nun Wärmebelastungen, welche die oben angegebenen wesentlich überschreiten, und es ist sehr interessant, deren Ergebnisse an diejenigen der von der WBG beschriebenen Wannen der gewöhnlichen Bauart anzufügen, um in fortlaufender Reihe den Einfluß der Wärmebelastung festzustellen.

Benutzung einer geometrischen Hilfskonstruktion. Die Wirkung der zunehmenden Wärmebelastung auf Leistung und Kohlenverbrauch läßt sich durch eine geometrische Hilfskonstruktion gut veranschaulichen.

Es ist naheliegend, für eine solche analytische Behandlung davon auszugehen, daß die Wärmemenge B, mit welcher die Einheit der beheizten Herdfläche belastet ist, sich zusammensetzt aus einem konstanten Teil a, der den Leerlaufverbrauch des Ofens (wenn nicht eingelegt wird) darstellt, und einem veränderlichen Teil bP, welcher der Glaserzeugung P (auf die Herdflächeneinheit bezogen) proportional ist.

Hieraus ergibt sich der Ansatz:

$$B = a + bP, \quad (I)$$

nach welchem Schmelzleistung und Wärmebelastung in linearer Abhängigkeit stehen. Es sei

¹⁾ Wärmetechn. Beratungsstelle der deutschen Glasindustrie, Frankfurt a. M.: Glasschmelzwannenöfen, Frankfurt a. M. 1927, Selbstverlag der WBG.

²⁾ W. E. S. Turner: The glass industry in North America in 1924. J. Soc. Glass Techn., 8. Jg. 1924, Trans. S. 286—302 (Ref. Glastechn. Ber., 4. Jg. 1926, 27, S. 28—31).

W. E. S. Turner: The development of glass melting furnaces in recent times. J. Soc. Glass Techn., 11. Jg. 1927, Trans. S. 303—331 (Ref. Glastechn. Ber., 8. Jg. 1930, H. 6, S. 374).

³⁾ Ber. d. Fachaussch. der DGG, Nr. 13: Anwendung des Koksofengases in der Glasindustrie, S. 3.

B in t Steinkohlen von 7000 kcal/kg und P in Tonnen insgesamt geschmolzenen Glases, alles bezogen auf 24 h und 1 m² beheizte Herdfläche, ausgedrückt.

Der Kohlenverbrauch K, ausgedrückt in kg Steinkohlen auf 1 kg insgesamt geschmolzenen Glases, ergibt sich aus

$$K = \frac{B}{P} \quad (II)$$

$$K = \frac{a}{P} + b \text{ oder } (K-b)P = a \quad (III)$$

Hiernach wird die Beziehung zwischen Kohlenverbrauch und Glaserzeugung durch eine gleichseitige Hyperbel dargestellt.

Setzt man jedoch in die Ausgangsformel $P = \frac{B}{K}$ ein, so ergibt sich für die Beziehung zwischen Wärmebelastung und Kohlenverbrauch eine andere gleichseitige Hyperbel:

$$(B-a)(K-b) = ab. \quad (IV)$$

Geometrische Konstruktionen ähnlicher Art, wenn auch nicht analytisch behandelt, sind bereits von Amsler⁴⁾ versucht worden. Er hat sich die Sache jedoch allzu leicht gemacht und geht einfach davon aus, daß außer dem Kaminverlust alle Verluste in ihrem absoluten Betrag konstant bleiben, wie stark auch die Wanne belastet sein möge. Dies trifft in Wirklichkeit nicht zu; vielmehr wachsen die Ausstrahlungsverluste usw. noch merklich mit steigender Belastung und Temperatur, wie sich aus vorliegender Untersuchung ergibt; die Kurven von Amsler sind daher nicht brauchbar.

Untersuchung von Flaschenwannen. In der Zahlentafel 1 sind Schmelzleistung, Kohlenverbrauch und Wärmebelastung von 18 Flaschenwannen zusammengestellt; die Angaben unter Nr. 14, 15 und 16 betreffen den gleichen Ofen, nur bei verschiedener Belastung.

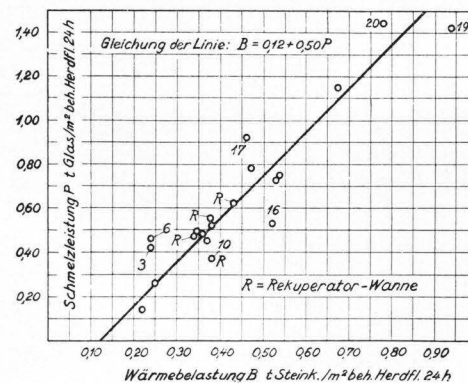


Bild 1. Leistung der Flaschen-(Grünlas-)Wannen in Abhängigkeit von der Wärmebelastung.

[1 t Steinkohle (7000 kcal)/kg]/24 h = 292 000 kcal/h.]

⁴⁾ W. O. Amsler: Fuels and Furnaces, Bd. 3, S. 827 (Ref. Glastechn. Ber., 3. Jg. 1925/26, S. 228—229).

Leistung der Flaschenwannen. Bild 1 zeigt die Abhängigkeit zwischen Schmelzleistung und Wärmebelastung der untersuchten Flaschenwannen. Abgesehen von den fünf Punkten Nr. 3, 6, 10, 16 und 17 liegen alle übrigen mit guter Genauigkeit auf einer geraden Linie, was um so erstaunlicher ist, als es sich um Oefen ganz verschiedener Bauarten und mit verschiedenen hart eingestellten Gemengesätzen handelt. In Bezug auf die Ofengröße sind die Unterschiede nicht allzu groß: die kleinste Wanne hat 27,5, die größte 51 m² beheizte Herdfläche⁵⁾.

Als Gleichung der erwähnten geraden Linie ermittelt man $B = 0,12 + 0,50 P$; also $a = 0,12$ und $b = 0,50$.

Brennstoffverbrauch der Flaschenwannen. Mit den ermittelten Werten $a = 0,12$ und $b = 0,50$ erhält man als Gleichung für die gleichseitige Hyperbel, welche die Beziehung zwischen Kohlenverbrauch und Wärmebelastung darstellt: $(B - 0,12)(K - 0,50) = 0,06$.

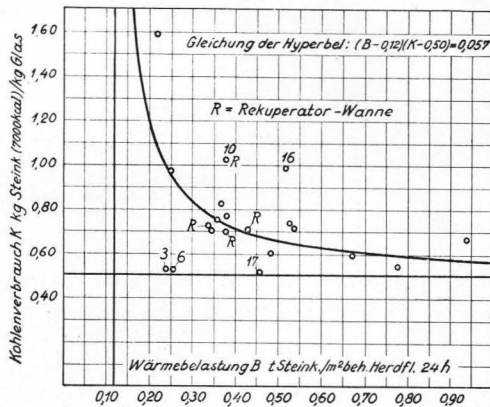


Bild 2. Kohlenverbrauch der Grünglaswannen in Abhängigkeit von der Wärmebelastung.

Auf Bild 2 sind Wärmebelastung und Kohlenverbrauch der einzelnen Wannen nebst der der obigen Gleichung entsprechenden Hyperbel eingezeichnet. Abweichungen von Bedeutung ergeben wieder nur die bereits erwähnten 5 Punkte.

Die Hyperbel besitzt als Asymptoten $K = 0,50$ und $B = 0,12$. $K = 0,50$ als Asymptote besagt, daß ein Kohlenverbrauch von 0,50 kg für 1 kg insgesamt geschmolzenen Glases unter den durchschnittlichen Bedingungen der gewöhnlichen Oefen und der Halswannen nicht unterschritten werden kann, wie stark man auch die Wärmebelastung steigern möge. Die Asymptote $B = 0,12$ ist nur eine Bestätigung dafür, daß der (ideale) Leerverbrauch der Oefen 0,12 t Steinkohle je h und m² beheizte Herdfläche beträgt.

Untersuchung der Hohlglaswannen. In der Zahlentafel 2 sind die Unterlagen über

⁵⁾ Von den in der Zahlentafel VI der WBG-Schrift beschriebenen Oefen wurden die drei kleinsten, darunter eine Tageswanne, fortgelassen.

29 Oefen zusammengestellt; unter Nr. 13 und 14 erscheint der gleiche Ofen bei verschiedener Belastung. Bei einigen Wannen nach Turner war im angegebenen Kohlenverbrauch auch der des Kühllofens einbegriffen; dieses wurde durch Abzug von 11% (bei den Glühkolbenwannen von 4%) des Gesamtverbrauches berücksichtigt.

Leistung der Hohlglaswannen. Auf Bild 3 sind Leistung und Wärmebelastung sämtlicher Oefen eingetragen. (Die kleinen Wannen unter 20 m² sind auf Bild 3 und 4 mit einem

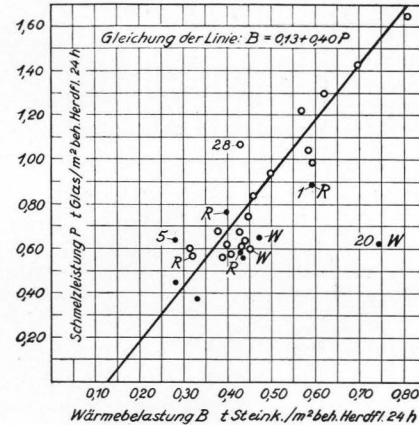


Bild 3. Leistung der Weißhohlglas-Wannen in Abhängigkeit von der Wärmebelastung.

Herdfläche der Wannen:
 • = kleiner als 20 m² ◦ = größer als 20 m²
 R = Rekuperator-Wannen W = Glühkolbenwannen mit Westlake-Maschinen.

Punkt statt mit einem Kreis bezeichnet, die drei mit Westlake-Maschinen arbeitenden Glühkolbenwannen mit W, und 4 Rekuperativwannen [wovon 3 von der WBG und eine von Turner] mit R.) Es ergibt sich jetzt eine mittlere Linie mit der Gleichung $B = 0,13 + 0,40 P$. Die Streuung der einzelnen Punkte ist indessen größer als bei den Flaschenwannen. Dieses kann nicht wundernehmen; denn nicht allein, daß die Glassätze und Scherbenanteile einen weiteren Spielraum zeigen, auch die Ofengröße ist stärker verschieden (3 bis 84 m² beheizter Herdfläche).

Sondert man die vier besonders herausfallenden Punkte aus, so sind die Abweichungen der übrigen nicht mehr allzu bedeutend. Eine zu geringe Erzeugung liefert die Rekuperativwanne Nr. 1 mit nur 3 m², und eine viel zu geringe die Glühkolbenwanne Nr. 20 mit 9 m² beheizter Herdfläche. Merklich günstiger, als der geraden Linie entspricht, ist die Leistung der mit Erdgas beheizten amerikanischen Wanne Nr. 28 und die der deutschen Wanne Nr. 5, eines kleinen Ofens mit 12 m² beheizter Herdfläche, U-Flamme und Regenerativkammern mittlerer Größe. Der Grund dieser besonders günstigen Leistung ist wohl darin zu suchen, daß die Abfallglasmenge ziemlich groß ist, nämlich 2,30 t auf 5,50 t Fertigglas.

In der Gleichung $B = 0,13 + 0,40 P$ beträgt der Multiplikator von P nur $\frac{4}{5}$ desjenigen bei dem Flaschenglas. Das bedeutet, daß für die

Hohlglas-(Weißglas-)Schmelze nur rund 80% derjenigen Wärme nötig sind, die man für Flaschen-(Grün-)Glas aufwenden muß.

Brennstoffverbrauch der Hohlglaswannen (hierzu Bild 4). Die Streuung

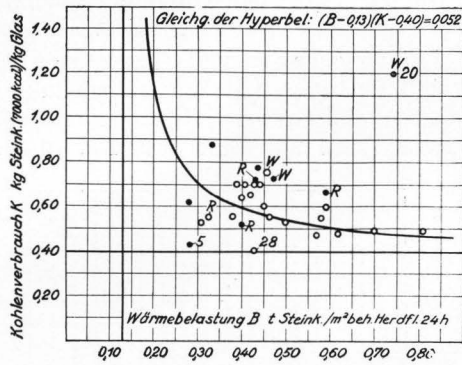


Bild 4. Kohlenverbrauch der Weißhohlglas-Wannen in Abhängigkeit von der Wärmebelastung.

Herdfläche der Wannen:
 • = kleiner als 20 m² ○ = größer als 20 m²
 R = Rekuperator-Wannen W = Glühkolbenwannen mit Westlake-Maschinen.

der Einzelpunkte auf Bild 4 wird größer. Hauptsächlich sind es die bereits erwähnten vier Punkte, die von der Durchschnittshyperbel, deren Gleichung jetzt $(B - 0,12) (K - 0,40) = 0,048$ beträgt, abweichen. Es fällt weiter auf, daß auch die beiden übrigen, mit W bezeichneten Glühkolbenwannen etwas zu viel Brennstoff verbrauchen, was wohl darin begründet ist, daß bei dieser Fabrikation die Ansprüche an die Qualität der Glasmasse ziemlich groß sind.

Die nicht unterschreitbare Grenze des Brennstoffverbrauches, welche durch die waagerechte Asymptote gegeben wird, beträgt jetzt 0,40 kg für 1 kg Glas gegenüber 0,50 kg für Flaschenglas.

Leistung und Kohlenverbrauch der älteren Fensterglaswannen. Hier sind keine Unterlagen über Halswannen mit starker Belastung vorhanden, nur die von der WBG in der Zahlentafel V des Buches: „Glasschmelz-Wannenöfen“⁽⁴⁾ über Oefen der gewöhnlichen Bauart gegeben. Bild 5 zeigt deren Leistung und Wärmebelastung. Außerdem ist die von Maurach⁽⁶⁾ im „Wärmefluß“ genau beschriebene Fensterglaswanne hinzugefügt mit $B = 0,355$ t und $P = 0,63$ t. Die verschiedenen Punkte liegen zerstreut und gehäuft, eine mittlere Linie läßt sich nicht ziehen, besonders, weil hochbelastete Oefen fehlen. Anscheinend sind außer dem großen Unterschiede in den Ofenabmessungen [33⁷⁾ bis 148 m² beheizte Herdfläche] auch die Schwankungen im Gemengesatz und Scherbenanteil sehr groß.

Legt man jedoch durch den besonders genau bekannten, der Wanne aus dem „Wärmefluß“

entsprechenden, Punkt eine Linie zu dem gleichen Fußpunkt, den auch die Hohlglaslinie hat, so ergibt sich eine Linie mit der Gleichung $B = 0,13 + 0,36 P$, die also nur wenig von derjenigen des Hohlglases verschieden ist.

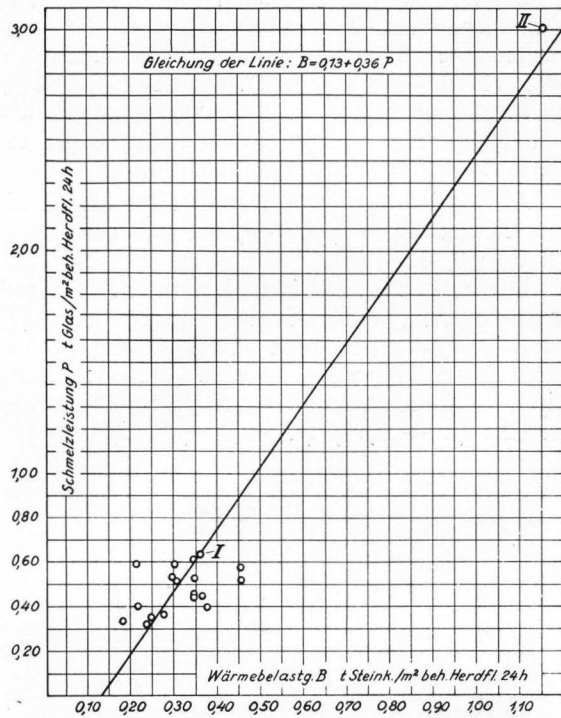


Bild 5. Leistung der älteren Fensterglaswannen in Abhängigkeit von der Wärmebelastung.

Punkt I = Wanne aus Maurach: „Der Wärmefluß...“⁽⁶⁾.
 Punkt II = Für Wanne I errechnete Schmelzleistung unter Zugrundelegung von Wirkungsgrad und Schmelzleistung eines Siemens-Martin-Ofens.

In Bild 6 sind Kohlenverbrauch und Wärmebelastung dieser Oefen aufgetragen nebst der sich ergebenden Durchschnittshyperbel $B = 0,13 + 0,36 P$. Die Streuung der Einzelpunkte bleibt die gleiche.

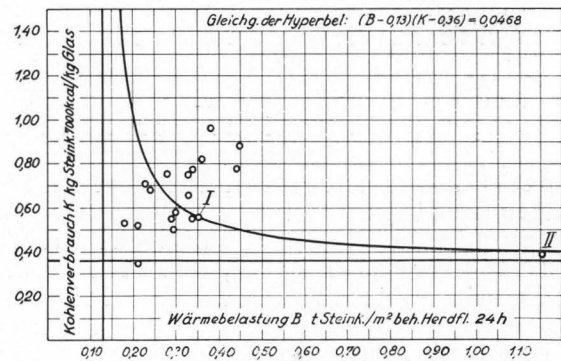


Bild 6. Kohlenverbrauch der älteren Fensterglaswannen in Abhängigkeit von der Wärmebelastung.

Punkt I = Wanne aus Maurach: „Der Wärmefluß...“⁽⁶⁾.
 Punkt II = Für Wanne I errechnete Schmelzleistung unter Zugrundelegung von Wirkungsgrad und Schmelzleistung eines Siemens-Martin-Ofens.

Vergleich der Wärmebelastung und des Kohlenverbrauchs der Siemens-Martinöfen mit den entsprechen-

⁶⁾ H. Maurach: Der Wärmefluß in einer Schmelzofenanlage für Tafelglas. München und Berlin 1923, Verlag Oldenbourg.

⁷⁾ Eine Wanne von 12 m² wurde fortgelassen, weil sie von den anderen allzusehr in der Größe abweicht und es klar ist, daß sie ungünstiger arbeitet.

Zahlentafel 1. Schmelzleistung, Kohlenverbrauch und Wärmebelastung von 18 Flaschenwannen (Grünglaswannen).

Lfd. Nr.	Ursprgl. Nr.	Beheizte Herdfl. (m ²)	Schmelzleistung (t Glas je m ² beheizte Herdfl./24 h)	Kohlenverbr. (kg Steink. von 7000 kcal je kg Glas)	Wärmebelastung (t Steink. je m ² beh. Herdfläche / 24 h)	
1	F 4	27	0,26	0,97	0,25	Deutsche Wannen gewöhnlicher Bauart aus der W B G - Schrift (ohne Tageswannen)
2	F 5	28	0,14	1,59	0,22	
3	F 6	25,8	0,46	0,52	0,24	
4	F 7	30,8	0,45	0,82	0,37	
5	F 8	27,5	0,52	0,76	0,38	
6	F 9	32,2	0,47	0,52	0,25	
7	F 10	30	0,48	0,75	0,36	
8	F 11	32,6	0,61	0,70	0,43	
9	F 12	32,6	0,47	0,72	0,34	
10	F 13	28,4	0,37	1,02	0,38	
11	F 14	36,3	0,55	0,69	0,38	
12	F 15	46,8	0,49	0,70	0,345	
13	V 18	32,5	0,75	0,71	0,535	
14	V 19	40,2	0,73	0,73	0,53	
15	V 20		0,78	0,60	0,47	
16	V 21		0,53	0,98	0,52	
17	V 22	43,5	0,92	0,50	0,46	
18	V 26	35,3	1,15	0,59	0,675	
19	VII 3	51,3	1,42	0,66	0,94	
20	—	?	1,38—1,51 Mittel 1,445	0,54	0,78	

1) Die Zahlen hinter 14, 15 und 16 beziehen sich auf die gleiche Wanne bei verschiedener Belastung: Nr. 14 bei Normalbelastung und 6 Arbeitstagen i. d. Woche, Nr. 15 bei Normalbelastung und durchgehendem Betrieb, Nr. 16 bei verringerter Belastung und 6 Arbeitstagen i. d. Woche.

2) Auf den Wärmeverbrauch wurden 15% geschlagen zur Berücksichtigung der bei den anderen Oefen stattfindenden Generatorverluste.

den Ziffern der Glasschmelzwannen. Gegenüber den Glasschmelzöfen der gewöhnlichen Bauart ist die Wärmebelastung der Siemens-Martinöfen um mehr als das Dreifache überlegen. Im Vergleich zu den beiden, am höchsten belasteten Halswannen der Zahlentafeln 1 und 2 schrumpft diese Ueberlegenheit jedoch auf 20 und 40% zusammen. Nach den Angaben von Cotel⁸⁾ ergibt sich für einen Martinofen mit 60 t Fassungsvermögen, 40,8 m² Herdfläche und 206 t Tageserzeugung, eine Wärmebelastung des Herdes von 1,16 t/m²/24 h. Nach dem Bericht Nr. 114 des Stahlwerksausschusses des Vereins deutscher Eisenhüttenleute wird für einen neuzeitlichen 60 t-Martinofen eine Nutzwärme von 21,5% angegeben, bezogen auf den Brennstoff am Wechselventil. Demgegenüber fand Maurach nach seinem „Wärmefluß“⁶⁾ nur 12,8%, welcher Wert sich auf 14,84% erhöht, wenn man die Nutzwärme nicht auf die in die Gaserzeuger gefüllte Kohle, sondern auf das Gas am Wechselventil bezieht.

Verbraucht nun die von Maurach untersuchte Wanne 0,565 kg Steinkohle je kg Glas, so würden bei einem Wirkungsgrad von 21,5%, wie ihn der Martinofen aufweist, nur $\frac{14,84}{21,5} \cdot 0,565 = 0,39$ kg Steinkohle je kg Glas erfordert werden. Hätte die Wanne weiterhin eine Wärmebelastung von 1,16 t/m²/24 h wie der Martinofen,

so wäre ihre Schmelzleistung $1,16 : 0,39 = 2,98$ t Glas je m² beheizter Herdfläche in 24 Stunden.

Trägt man diese für die von Maurach untersuchte Wanne errechneten ideellen Werte für Schmelzleistung und Kohlenverbrauch und die Wärmebelastung des Martinofens in Bild 5 und 6 ein, so ergibt sich die überraschende Tatsache, daß der Punkt (II in Bild 5 bis 7) fast genau auf die mittlere Linie bzw. auf die Hyperbel zu liegen kommt.

Ermittlung einer Wirkungsgradkurve der Herdöfen. Wirkungsgrad η und Kohlenverbrauch für 1 kg Glas sind für das

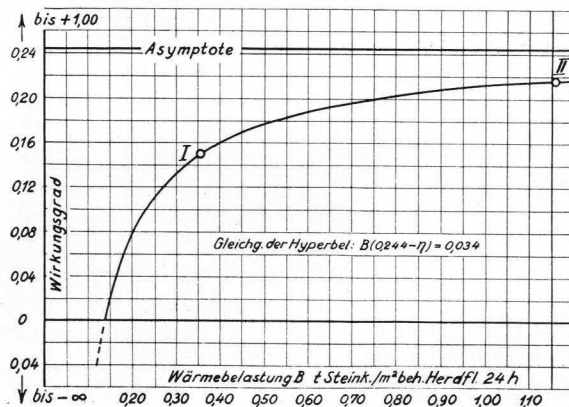


Bild 7. Wirkungsgrad der Herdöfen nach Art der Martin-Oefen und Glasschmelzwannen in Abhängigkeit von der Wärmebelastung (bezogen auf den Brennstoff am Wechselventil).

Punkt I = Wanne aus Maurach: „Der Wärmefluß...“⁶⁾.
 Punkt II = Martinofen aus Cotel: „Der Siemens-Martin-Ofen“⁸⁾.

8) E. Cotel: Der Siemens-Martinofen, S. 15, 48 u. 50. Leipzig 1927, Verlag Otto Spamer.

Zahlentafel 2. Schmelzleistung, Kohlenverbrauch und Wärmebelastung von 29 Weißhohlglaswannen.

Lfd. Nr.	Ursprgl. Nr.	Beheizte Herdfl. (m ²)	Schmelzleistung (t Glas je m ² beheizte Herdfl./24 h)	Kohlenverbr. (kg Steink. von 7000 kcal je kg Glas)	Wärmebelastung (t Steink. je m ² beh. Herdfläche/24 h)	
1	H 1	3 ¹⁾	0,88	0,67	0,59	} Rekup.-Wannen, U-Flamme
2	H 4	4,5 ¹⁾	0,77	0,52	0,40	
3	H 8	10	0,60	0,72	0,43	
4	H 9	9,2 ¹⁾	0,375	0,88	0,33	
5	H 10	12,2	0,64	0,43	0,28	
6	H 14	18	0,45	0,61	0,28	
7	H 15	31,4	0,60	0,53	0,31	
8	IV 4	20	0,56	0,78	0,435	
9	V 5	40,2	1,04	0,555	0,58	
10	V 6	40,2	1,22	0,47	0,57	
11	9	31,6	0,57	0,55	0,32	
12	10	40,2	1,43	0,49	0,70	
13 ²⁾	11	} 43	0,68	0,55	0,38	
14 ²⁾	12		0,62	0,64	0,40	
15	13	48,4	1,30	0,48	0,62	
16	15	48,4	1,65	0,49	0,81	
17	17	44	0,68	0,55	0,38	
18	18	40,2	0,94	0,53	0,50	
19	28	15,6	0,65	0,74	0,47	
20	29	9,0	0,62	1,22	0,74	
21	VII 1	?	0,98	0,60	0,59	
22	VII 2	83,9	0,84	0,55	0,46	
23	4	31,3	0,61	} 0,70	0,43	
24	5	41,7	0,63		0,44	
25	6	57,7	0,56	0,39		
26	7	76,3	0,75	0,60	0,45	
27	9	—	0,65	0,65	0,42	
28	10	—	1,07	0,40	0,43	
29	11	—	0,58	0,70	0,41	
30 ³⁾	—	30	0,60	0,76	0,455	

Deutsche Wannen gewöhnlicher Bauart aus der W B G - Schrift

Rekuperator-Wanne

2)

Engl. u. amerik. Halswannen nach Turner

Glühkolbenwannen mit Westlake-Maschinen

Naturgasbeheizung

Naturgasbeheizung

Deutsche Glühkolbenwanne mit Hals³⁾

¹⁾ Bei den U-Flammen-Wannen Nr. 1, 2 und 4 gibt die WBG die gesamte Glasoberfläche als beheizte Herdfläche an; es wurden hier jedoch nur $\frac{2}{3}$ dieser Größe zu Grunde gelegt, um einen Vergleich mit den querbeheizten Wannen zu ermöglichen.

²⁾ Die Angaben unter Nr. 14 beziehen sich auf die gleiche Wanne, wie Nr. 13, nur für verringerte Belastung.

³⁾ Diese Angaben über eine Osram-Wanne in Berlin-Siemensstadt verdanke ich einer persönlichen Mitteilung von Herrn Prof. Dr. Gehlhoff, Direktor der Osram G. m. b. H. Die Wanne ist in der Zwischenzeit noch etwas stärker belastet worden.

gleiche Glas einander umgekehrt proportional. Ersetzt man in $(B - a)(K - b) = ab$ das K durch $\frac{c}{\eta}$, so ergibt sich eine neue gleichseitige Hyperbel, welche die Beziehung zwischen Wirkungsgrad und Wärmebelastung darstellt und die Form besitzt: $B(c_1 - \eta) = c_2$. (c_1 und c_2 sind Konstanten.) Zwei Punkte genügen zu deren Bestimmung. Benutzt man hierzu die Ergebnisse der von Maurach untersuchten Wanne und des beschriebenen Martinofens, so ergibt sich die Kurve $B(0,244 - \eta) = 0,034$, die in Bild 7 wiedergegeben ist. Hiernach müssen bei den Halswannen zum Teil ziemlich hohe Wirkungsgrade zu finden sein. Ferner ergibt die Asymptote $\eta = 0,244$, daß der höchstmögliche Wirkungsgrad der Herdöfen nach Art der heutigen Wannen und Martinöfen ungefähr 25% beträgt.

Zusammenfassung.

Die Leistung der Wannenöfen nimmt mit steigender Wärmebelastung nach einem annähernd linearen Gesetze zu. Bei Öfen der gewöhnlichen Bauart kommt man jedoch bald

an eine praktische Höchstgrenze, bei der sich Schwierigkeiten aller Art einstellen⁹⁾. Es ist dann die Halswannenkonstruktion zu wählen, bei welcher die Wärmebelastung, und damit gleichzeitig die Leistung, bis zu außerordentlich hohen Werten gesteigert werden kann, die sogar verhältnismäßig nahe an die der Martin-Stahlöfen herankommen. Der Kohlenverbrauch sinkt mit steigender Belastung; nach einem hyperbolischen Gesetz kann er jedoch nicht gewisse Werte unterschreiten, die nur als Grenzwerte erreichbar sind und unter durchschnittlichen Betriebsbedingungen für Weißglas 0,40 und für Flaschenglas 0,50 kg Steinkohle von 7000 kcal für 1 kg Glas betragen.

Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß die feuerfesten Baustoffe der Halswannen bei Höchstleistungen stark beansprucht werden. Dieses faßt Moorshead¹⁰⁾ wie folgt

⁹⁾ Vgl. F. Jochim (WBG Frankfurt a. M.): Feuerführung von Wannen. Glastechn. Ber., 7. Jg. 1929/30, S. 553—569.

¹⁰⁾ Vgl. T. C. Moorshead: Die Praxis der Brennstoffersparnis in Glaswerken. Glasindustrie, 35 Jg. 1927, S. 279.

zusammen: Bis zu einer Glasbelastung von 0,90 t/24 h/m² besteht ein ziemlich günstiges Verhältnis; bis zu 1,07 t/24 h/m² ist die Lebensdauer der Oefen kaum merklich kleiner; bei 1,30 t/24 h/m² ist diese dann um 25% und bei rd. 1,80 t um rd. 50% verringert.

Der Einfluß der Wärmebelastung auf den Kohlenverbrauch ist so groß, daß bis zu einem gewissen Grade die Unterschiede in Ofenbauart, Ofengröße und Gemengesatz verwischt werden. Es mag jedoch sein, daß es bei weichem Gemengesatz leichter ist, mit hoher Wärmebelastung zu arbeiten, weil man bei gleicher Flammentemperatur ein etwas größeres Wärmegefälle gegen das Schmelzbad erhält.

Auch der Unterschied zwischen Rekuperativ- und Regenerativwannen wird verwischt. Einzelne der ersteren fallen wohl ab, die meisten liegen jedoch auf der Durchschnittslinie, wenn auch besonders hohe Leistungen nicht festgestellt wurden. (Für Koksofengas- und Erdgasbeheizung mag dieses weniger fühlbar sein, besonders bei der heutigen verbesserten Rekuperatorbauweise.)

Die bei der vorliegenden Untersuchung benutzte geometrische Hilfskonstruktion gestattet es, Leistung, Brennstoffverbrauch und Wirkungsgrad der Siemens-Martin-Oefen in Abhängigkeit von der Wärmebelastung an die Glasschmelz-Wannenöfen anzuschließen.

Studien über fehlerhafte Gläser. II*).

Von Dr. phil., Dr.-Ing. e. h. Franz Hundeshagen.

(Mitteilung aus dem Institut für angewandte Chemie und Mikroskopie Dr. Hundeshagen u. Dr. Sieber, Stuttgart.)

7. Gläser mit einem störenden Gehalt an Phosphaten oder Arsenaten.

Phosphate und Arsenate bilden, wie bekannt, den trübenden Bestandteil vieler opalisierender Gläser, Milchgläser und opaker Emails, z. B. phosphorsaurer Kalk den des Beinglases, arsensaures Bleioxyd den des sog. französischen Schilderemails. Wenn auch in durchsichtigen Gläsern diese Stoffe in kleinen Mengen vorhanden sein können — in der Tat enthalten fast alle Pottaschen wenigstens Spuren von Phosphaten und verwenden viele Glashütten Zusätze von Arsenik als Läuterungs- und Entfärbungsmittel — so können doch reichlichere Mengen von Phosphaten in der Pottasche oder zu verschwenderische Zusätze von Arsenik, wenn es sich um Erzeugung klarer Gläser handelt, sehr nachteilig wirken.

Das Auftreten opalisierender Trübungen, besonders hinter den erhitzten Rändern von Arbeitsstücken, die bei komplizierterer Formgebung eines öfteren Anwärmens bedürfen — eine in manchen Glashütten noch immer zu bekämpfende Schwierigkeit — habe ich bisher stets auf eine Anwesenheit von Phosphaten oder Arsenaten im Glas zurückführen können, von denen erstere aus Unreinheiten der verwendeten Pottasche, letztere aus einem zu reichlichen Zusatz von Arsenik stammten, welcher (soweit nicht verflüchtigt) durch den im Gemenge enthaltenen Salpeter oxydiert und als Arsensäure vom Glasfluß aufgenommen wird. Phosphorsäure und Arsensäure sind zunächst wohl in Form der leichtschmelzenden Alkalisalze im glutflüssigen Glas gelöst, die sich dann erst, unter geeigneten Temperaturbedingungen, mit Calcium- und Bleisilikat umsetzen unter Bildung der die Glasmasse trübenden (meta-?) phosphorsaurer und arsensauren Kalk- und Bleioxyd-Verbindungen.

Beide Arten von Trübungen, die mit Vorliebe an kalk- und bleireichen Gläsern erscheinen,

bemerkenswerterweise durch Chloride im Glas sehr begünstigt (Analogon der Aussalzung), sind äußerlich kaum zu unterscheiden und bieten auch das gleiche mikroskopische Bild einer selbst bei stärkster Vergrößerung nicht auflösbaren, mehr oder weniger dichten Opaleszenz.

In allen beobachteten Fällen wurden die Phosphat-Trübungen durch Verwendung einer reineren Pottasche, die Arsenat-Trübungen durch Verminderung oder Weglassung des Arsenik-Zuschlages verhindert.

Mit dem letzteren wird leider (oder wurde doch vor nicht langer Zeit) von gewissen Glashütten ein wahrer Unfug getrieben, der besonders dann zu rügen ist, wenn es sich um Gläser für den Gebrauch des Chemikers handelt. So haben mir schon Gläser vorgelegen, die als chemisches Geräteglas bezeichnet waren, mit einem Gehalt von 1,65% Arsensäure (As₂O₅), während sich, nebenbei bemerkt, aus dem von der Hütte angegebenen Satz ein Gehalt von höchstens 0,3% Arsensäure berechnete! Infolge einer gleichzeitig zu hohen Alkalität und eines allzugerungen Kalk-Gehaltes (nur bei diesem war das Klarbleiben des Schmelzgutes möglich) zeigten diese Gläser eine große Zersetzlichkeit und gaben im Gebrauch neben Alkali erhebliche Mengen von arsen- und schwefelsauren Salzen sowie auch deutliche Spuren von Chloriden ab. Für gewöhnlich habe ich in „guten“ Gerätegläsern, wie auch s. Z. J. Marshall und Ch. S. Potts¹¹⁾, nur wenige Zehntelprocente Arsensäure nachweisen können. (Vgl. letzten Satz von Abschnitt 2.)

8. Gläser mit Mißfärbungen infolge Mangels an oxydierenden Zusätzen oder unrichtiger Anwendung soge-

*) Fortsetzung und Schluß; Teil I s. Glastechn. Ber., 8. Jg. 1930, H. 9, S. 530—539.

¹¹⁾ Amer. Chem. Journ. Bd. 10, S. 425.