

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 24 (1933)
Heft: 22

Artikel: Elektrisch geheizte Öfen in der Glasindustrie und ihre Wirtschaftlichkeit
Autor: Horowitz, J.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1057263>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 21.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Kurve *b* auf Fig. 2 zeigt. Der erste Teil der Kurve in Fig. 3 von 3000 bis 2400 U/m ist vollständig geradlinig, und wenn man die Neigung dieser Geraden zur Bestimmung der Verluste in Gl. (19)

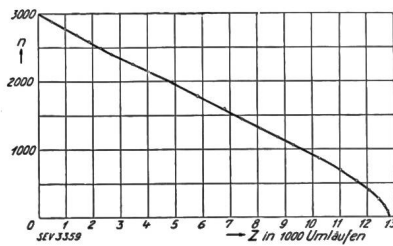


Fig. 3.

einsetzt, so ist $n_0/Z = 2000/9000$ und mit dem jetzt als bekannt vorausgesetzten Schwungmoment ergibt sich

$$P_1 + P_2 = \frac{\pi^2}{60^3} \cdot 1,57 \cdot 3000^2 \cdot \frac{2000}{9000} = 143 \text{ kWh,}$$

also etwa 3 % weniger als gemessen.

5. Schlussbemerkungen.

Wir haben versucht, die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Grössen aufzudecken und wollen jetzt kurz die Möglichkeiten der Anwendung besprechen. In Gl. (18) kann man entweder das Trägheitsmoment oder die Verluste als bekannt ansehen und mit Hilfe von $d\omega/dt$ aus der gemessenen Kurve die andere dieser beiden Grössen berechnen. Da nun in einer sehr grossen Zahl von Fällen bei gemessenen Verlusten das nach Gl. (18) berechnete Trägheitsmoment mit dem aus der Zeichnung berechneten übereinstimmte, so darf man umgekehrt den aus letzterem und der Auslaufkurve bestimmten Verlust als praktisch ausreichend genau ansehen. Die Aufteilung dieses Verlustes in Lagerreibung und Luftreibung ist dann nach Fig. 2 auf Grund der Gl. (3) leicht durchführbar. Diese Massnahme ist ausserordentlich wichtig, wenn man den Verlust für andere Drehzahlen kennen muss, ohne eine Messung durchführen zu können. In einem solchen Falle sollte wegen Schleuderung bestimmter Maschinenteile mit sehr hoher Drehzahl der auftretende Verlust abgeschätzt werden. Es wurde deshalb eine Auslaufkurve von etwas über

3000 U/m an aufgenommen, aus den Abmessungen das Schwungmoment, hiermit der Verlust berechnet, dieser aufgeteilt, wie im Abschnitt 4 beschrieben, und schliesslich auf die gewünschte Drehzahl umgerechnet. Da diese Auslaufkurve sehr sorgfältig mit vielen Punkten aufgenommen war, so wurde hier der Versuch gemacht, die Differentiation unter Benutzung der Messpunkte analytisch durchzuführen. Hierbei wurde die von Horst von Sanden⁴⁾ in seiner «Praktischen Analysis» auf Seite 73 gegebene Formel benutzt und die erhaltene Kurve mit Hilfe der Formel auf Seite 113 zweimal geglättet. Der so bestimmte Differential-Quotient wurde über n^2 aufgetragen. Dabei zeigte sich, dass er sehr stark und unregelmässig schwankte. Dagegen passte sich der zeichnerisch mit einem durchsichtigen Zeichendreieck gewonnene Wert zwanglos einer Geraden an.

Wenn man in Gl. (18) mit der Beziehung $\omega = d\varphi/dt$ die Zeit herausschafft, so erhält man

$$P_1 + P_2 = \Theta \cdot \omega^2 \cdot \frac{d\omega}{d\varphi} \quad (20)$$

Aus dieser Gleichung kann ohne weiteres Gl. (19) abgeleitet werden, wie wohl ohne weiteres verständlich ist. Es sei nur daran erinnert, dass bei linearem Verlauf der Differentialquotient $\frac{dn}{d\varphi}$ in das Ver-

hältnis $\frac{n_0}{Z}$ übergeht. Da also Gl. (18) und (19) im Grunde dasselbe aussagen, so ist die im vorigen Abschnitt festgestellte Abweichung von 3 % etwas auffällig.

So gut nun nach allem die Berechnung des Schwungmoments bei bekanntem Verlust oder umgekehrt stimmt, so stark ist die Abweichung bei der Auslaufzeit. Es zeigt sich im allgemeinen, dass die wirkliche Auslaufzeit um etwa $\pm 20\%$ von dem Wert nach Gl. (12 a) abweicht, unter Umständen sogar noch mehr wie in dem Zahlenbeispiel. Glücklicherweise ist meistens eine grössere Genauigkeit nicht gefordert. Eine bessere Uebereinstimmung zeigt Messung und Rechnung bei der Umlaufzahl.

⁴⁾ Horst von Sanden, Praktische Analysis; Handbuch der angewandten Mathematik, Bd. I, B. G. Teubner, Leipzig 1914.

Elektrisch geheizte Oefen in der Glasindustrie und ihre Wirtschaftlichkeit.¹⁾

Von J. Horowitz, Olten.

621.365 : 666

Der Autor beschreibt die Entwicklung der elektrischen Schmelzöfen zur Glasfabrikation, wobei verschiedene interessante technologische Fragen zur Sprache kommen. Die ersten Versuche, Glas elektrisch zu schmelzen, liegen etwa 25 Jahre zurück; es gelang aber erst in den letzten Jahren, der Schwierigkeiten, besonders des Verfürbungsproblems Herr zu werden und elektrische Schmelzöfen zu bauen, die einwandfreies Glas liefern und zugleich Aussicht auf Konkurrenzfähigkeit gegenüber den mit Brennstoffen geheizten Oefen haben. Es wird anhand einer Wirtschaftlichkeitsrechnung gezeigt, dass

L'auteur expose le développement des fours électriques pour la fabrication du verre, s'arrêtant sur différentes questions technologiques intéressantes. Les premiers essais tendant à utiliser l'électricité dans la verrerie remontent à 25 ans environ en arrière; toutefois ce n'est qu'au cours des dernières années qu'on est parvenu à surmonter les difficultés, en particulier le problème de la décoloration, et à construire des fours livrant un verre irréprochable et susceptibles de concurrencer les fours à combustibles. D'après les calculs de rendement, le prix de l'énergie électrique doit actuelle-

beim heutigen Stand der Technik der Preis für die elektrische Energie etwa in der Grössenordnung von 1,6 Rp./kWh liegen dürfte, um Kostengleichheit mit ölgeheizten Schmelzöfen zu erzielen.

Die Kühlöfen, in denen die Glasgegenstände langsam, nach sorgfältig ermittelter Kühlkurve, abgekühlt werden, bieten bei elektrischer Heizung den grossen Vorteil, viel weniger Ausschuss zu liefern, als die mit Brennstoff gefeuerten Öfen, so dass der Energiepreis gegenüber den erzielbaren Ersparnissen durch verminderten Ausschuss in den Hintergrund tritt. Die Wirtschaftlichkeit dürfte hier bei Energiepreisen von etwa 2,5 bis 5 oder noch mehr Rp./kWh liegen.

A. Schmelzöfen.

Die Versuche, Glas auf elektrischem Wege zu schmelzen, reichen bis zum Jahre 1880 zurück. Ein Erfolg war ihnen jedoch erst in den letzten Jahren beschieden; die einzelnen Verfahren sind heute aber bis zur einwandfreien technischen Durchführbarkeit entwickelt und haben im Grossversuch ihre Brauchbarkeit bewiesen²⁾. Die Lösung dieses Problems ist für Länder mit grossen Wasserkraften, aber ohne Kohle, wie z. B. die Schweiz, von besonderer Bedeutung.

Der Aufwand für Brennmaterial ist für die Wirtschaftlichkeit der meisten Schmelzbetriebe ausschlaggebend. Er beträgt in der Glasindustrie etwa 20 bis 30 % der Gestehungskosten. Als Beispiel seien die Verhältnisse in der Flaschenglasfabrikation gewählt.

Prozentuale Gestehungskosten einer Flaschenglashütte.

Tabelle I.

% der Gestehungskosten	Anteil der Brennmaterialienkosten für
Brennmaterialien . . . 26 %	Schmelzöfen . . . 60 %
Schmelzmaterial . . . 19 %	Kühlöfen . . . 11 %
Löhne 22 %	Erzeugung mecha- nischer Energie . . 17 %
Andere Materialien . . 4 %	Nebenöfen . . . 6 %
Hilfsbetriebe 9 %	Raumheizung . . . 6 %
Unkosten, Abschrei- bungen etc. 20 %	
100 %	100 %

Diese Verhältnisse brachten es mit sich, dass die hauptsächlichsten Produktionszentren der Glasindustrie in der Nähe der Stein- und Braunkohlenvorkommen entstanden. In Ländern mit billigem Heizöl wie Amerika, England, Holland führte sich in den letzten Jahren die Oelfeuerung erfolgreich ein.

Fig. 1 unterrichtet über die Wirkungsgrade der verschiedenen Feuerungsarten beim Glasschmelzen, Tabelle II über erzielte Schmelzerfolge. Der elektrische Glasofen ist nur konkurrenzfähig, wenn der höhere Wirkungsgrad, andere Betriebseinsparungen oder sonstige Vorteile gegenüber dem mit Brennstoffen beheizten Ofen die höheren Kosten für die elektrische Energie auszugleichen vermögen.

¹⁾ Der Umfang der Arbeit wurde auf Wunsch der Redaktion auf etwa $\frac{1}{3}$ der ursprünglichen Fassung reduziert. Eingang der ersten Fassung am 22. Januar 1932.

²⁾ In den Standardwerken der Glastechnik ist kaum ein Hinweis auf die Elektrogasöfen zu finden.

ment être de l'ordre de grandeur de 1,6 cts./kWh pour obtenir la parité avec les fours à combustibles.

Les fours de recuit, dans lesquels les objets en verre sont soumis à un refroidissement lent, selon des courbes de refroidissement soigneusement déterminées, offrent, lorsqu'ils sont chauffés à l'électricité, l'avantage important de donner beaucoup moins de déchet que les fours à combustibles. Dans ce cas, les économies réalisables par suite de la diminution du déchet compensent en quelque sorte un prix d'énergie plus élevé qui peut atteindre, à rendement égal, 2,5 à 5 cts./kWh ou même davantage.

Die Glastechnik unterscheidet zwei von einander grundsätzlich verschiedene Schmelzverfahren: die Hafen- und die Wannenschmelze. Im Hafenofen erfolgt der Schmelzprozess periodisch. Das Glas

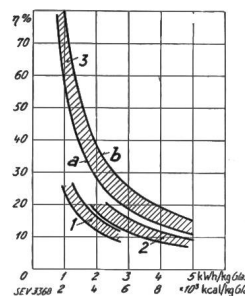


Fig. 1.

Ofenwirkungsgrad in % für verschiedene Glassorten, gekennzeichnet durch die Schmelzwärme (kWh/kg bzw. kcal/kg).

1 Mit Generatorgas beheizter Glas-schmelzofen.

2 Oelgefeuerter Ofen.

3 Elektrogasofen.

a Sehr leicht schmelzendes Soda-glas.

b Sulfatglas mit hoher Schmelz-wärme.

Erfahrungswerte der zur Erschmelzung von 1 kg Glas erforderlichen Bruttowärme. Tabelle II.

Brennstoff	Durchschnittswerte kcal	Spitzenwerte kcal
Flaschengrün-glas in der Wanne erschmolzen		
Generatorgas aus hochwertiger Steinkohle ⁵⁾	5600 bis 7700	3500 ⁴⁾ ; 3640 ¹⁾
Generatorgas aus Braunkohlenbriketts ⁵⁾	5300 bis 7300	
Heizöl (von ca. 10 000 kcal)	2500 bis 3500	
Weiss-hohl-glas im Hafenofen erschmolzen		
Generatorgas aus hochwertiger Steinkohle ⁵⁾	4200 bis 5000	
Generatorgas aus Braunkohlenbriketts ⁵⁾	4000 bis 4350	
Weiss-hohl-glas in der Wanne erschmolzen		
Generatorgas aus hochwertiger Steinkohle ⁵⁾	3500 bis 4500	3010 ²⁾
Heizöl (von ca. 10 000 kcal)	2200 bis 3000	2000 ³⁾
Spiegel-glas		
Generatorgas aus hochwertiger Steinkohle ⁵⁾	6300 bis 7700	
Generatorgas aus Braunkohlenbriketts ⁵⁾	6250 bis 7200	

¹⁾ Wannen Nr. F6 und F9 aus der Schrift der WBG: Glasschmelzwannenöfen.

²⁾ Wanne Nr. H10 aus derselben Quelle.

³⁾ Private Mitteilung über Betriebsergebnisse einer englischen Weiss-hohl-glaswanne.

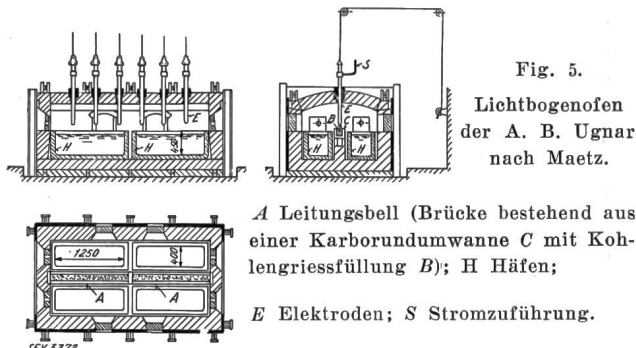
⁴⁾ Halswanne nach Angaben von Turner.

⁵⁾ Die angegebene Zahl der kcal bezieht sich auf die zur Gaserzeugung aufzuwendende Kohle.

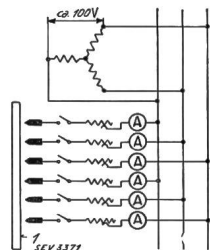
borundum weder vom Glase gelöst wird, noch dieses färbt.

Die Lichtbogenöfen.

Die zahlreichen Versuche scheiterten alle an der Verfärbung des Glases, verursacht durch den von



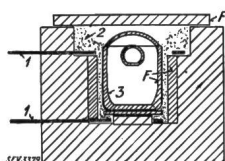
den Elektroden abblätternnden graphitartigen Kohlenstaub¹³⁾. Einen Versuch aus neuer Zeit beschreibt Maetz¹⁴⁾. Der Ofen wurde von der A. B. Elektriska Ugnar, Stockholm, entwickelt. Der Lichtbogen spielt über einer Brücke und es wird nur die Strahlungswärme ausgenutzt, wodurch die Verunreinigung des Glases durch Elektrodenteilchen vermieden werden soll (Fig. 5 u. 6). Ueber Versuche mit diesem Ofen oder seine Verwendung in der Praxis wurde bisher nichts bekannt. Maetz gibt den mutmasslichen Energieverbrauch eines solchen Ofens mit 1,3 bis 2,0 kWh/kg erschmolzenen Glases an.



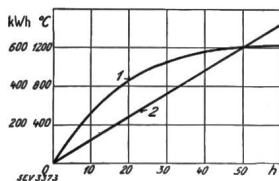
1 Sammelschiene aus Kohlengriess (B in Fig. 5).

Die Widerstandsöfen.

Da selbst wärmewiderstandsfähige Speziallegierungen den hohen Arbeitstemperaturen der Glasmelze nicht standhalten, versuchte Bronn in seinem Ofen (Fig. 7) Kohlengriess als Heizwiderstand



1 Stromzuführungen.
2 Kohlengriess.
3 Hafen.
F Feuerfestes Material.



1 Temperatur;
2 Aufgenommene Energie.

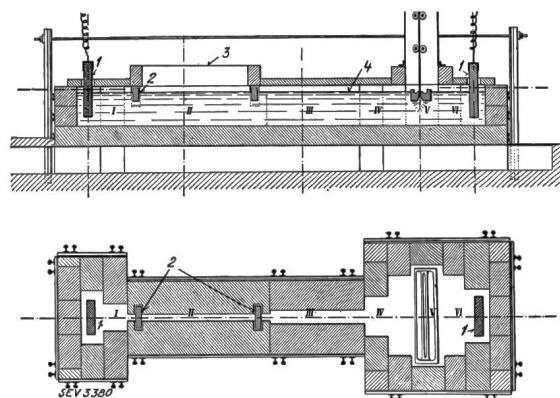
zu verwenden. Die Versuche scheiterten daran, dass sich mit dieser Anordnung die erforderlichen Temperaturen nicht erzielen liessen, was eine unzulässig

¹³⁾ J. Bronn. Der elektr. Ofen im Dienste der Keram. Gewerbe und der Glaserzeugung.

¹⁴⁾ Otto Maetz. Elektroglasschmelzöfen. Sprechsaal Keramik usw. 1920, Nr. 40/41.

lange Schmelzdauer bedingte (Fig. 8), andererseits aber die Häfen im Ofen Sprünge und Risse erhielten.

Den Vorschlag der direkten Widerstandsheizung machte als erster Sauvageon¹⁵⁾. Sein im Jahre 1905 veröffentlichtes Projekt ist in Fig. 9 dargestellt. Der Ofen ist zur Fensterglasproduktion nach dem Fourcault-Verfahren bestimmt, so dass bei V eine ins Glas eintauchende Ziehduüse vorgesehen ist. Durch verschieden grosse Querschnitte der einzelnen Abteilungen (I—IV) soll ein der Fig. 3 entsprechender Temperaturverlauf erzielt werden. Nach mehreren kleinen Versuchen wurde von Sauvageon eine grosse Wanne mit ca. 10 t Glasinhalt gebaut. Bei einer Tagesleistung von 1,5 t betrug die aufgenommene Leistung durchschnittlich 300 kW, entsprechend



1 Elektrode.
2 Schwimmer.
3 Einfüllöffnung.
4 Glasspiegel.

einem Energieverbrauch von 4,8 kWh/kg. Obwohl bereits Elektroden aus besonders reinem Spezialgraphit¹²⁾ verwendet wurden, konnte mit diesem Ofen nur minderwertiges Glas erzeugt werden. Sauvageon ging deshalb zu einer kombinierten Widerstandsheizung über. Eine solche Versuchswanne (Fig. 10) mass innen 3 · 1 m; das Gewölbe war besonders dick ausgebildet, um den zusätzlichen Heizwiderstand W aufzunehmen. Die Tagesleistung betrug 0,9 t bei einem Leistungsbedarf von 170 kW, wovon 140 kW durch das Glasbad und 30 kW durch den Heizwiderstand aufgenommen wurden, und der Energieverbrauch 4,55 kWh/kg. Während mit dem Ofen nach Fig. 9 nur Betriebstemperaturen bis max. 1400° erreicht wurden, gelang es mit der kombinierten Heizung bis zu 1500° C zu erzielen.

Obwohl mit diesem Ofen bereits ein bedeutend besseres Glas erschmolzen werden konnte, so war doch die Qualität nicht einwandfrei, so dass Sauvageon zur ganz indirekten Widerstandsheizung überging. Die nach diesem Prinzip konstruierten Wannenöfen entsprechen etwa der Fig. 10 unter Weglassung der ins Glas tauchenden Elektroden. Dieser Ofen lieferte nun gutes Glas; der hohe

¹⁵⁾ Franz. Patente 355 824, 401 744, 10 798, 11 360, 11 927.

¹⁶⁾ M. Sauvageon. Four élect. à marche continue p. la fabric. du verre. Paris 1905.

Energiebedarf stellte jedoch die Wirtschaftlichkeit in Frage.

Fig. 11 zeigt den Hafenofen von Sauvageon. Durch den wieder im Gewölbe untergebrachten Heizwiderstand gelang es, der Schwierigkeiten, an denen Bronn scheiterte, Herr zu werden. Ein sol-

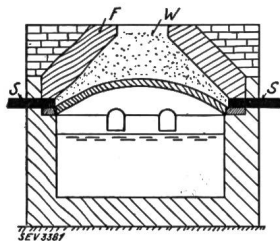


Fig. 10.

Ofen von Sauvageon mit kombinierter Heizung. (Die Elektroden sind nicht eingezeichnet.)

S Stromzuführung.
W Heizwiderstand.
F Feuerfestes Material.

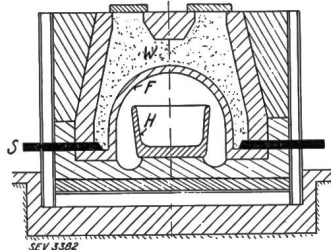


Fig. 11.

Hafenofen von Sauvageon mit ganz indirekter Heizung.

S Stromzuführung.
W Heizwiderstand.
H Hafen.
F Feuerfestes Material.

cher Ofen mit einem Hafen (450 kg Inhalt) stand während 47 Tagen inkl. der Antemperzeit in Betrieb und erzeugte einwandfreies hochwertiges Glas. Seine innere Masse war 1,2 · 1,35 m bei einer Höhe von 1,45 m. Im Betriebe wurden Temperaturen bis 1425° erreicht. Bei einem Leistungsbedarf von 100 bis 130 kW betrug der Energieverbrauch 6 kWh/kg. Zur praktischen Verwendung ist der Ofen von Sauvageon jedoch nicht gekommen, wohl wegen des auch bei Mehrhafenöfen hohen Energieverbrauchs, der eine Rentabilität von vornherein in Frage stellte. Andererseits wird der brennstoffbefeuerte Hafenofen immer mehr vom wirtschaftlicher produzierenden Wannenofen verdrängt (s. auch Fig. 12).

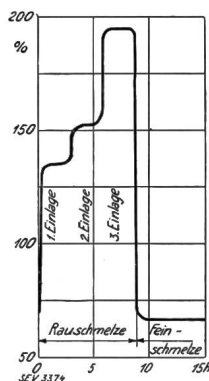


Fig. 12.

Schwankungen des Leistungsbedarfes des Hafenofens.

Ein Erfolg war dem Elektroofen deshalb erst beschieden, als es gelang, den Energieverbrauch soweit zu senken, dass eine rentable Schmelze gewährleistet war, was bisher nur mit der direkten Widerstandsheizung im Wannenofen möglich war. Fast gleichzeitig gelang es sowohl Raeders in Oslo als auch Cornelius in Kungälv (Schweden), dieses Problem befriedigend zu lösen; ihre Öfen sind im folgenden beschrieben. Auf die Versuche von Hitner¹⁷⁾ (USA), Holmgren¹⁸⁾ (Schweden) und anderer soll hier nicht näher eingegangen werden.

Fig. 13 zeigt den von Raeders konstruierten für Dreiphasenstrom bestimmten Ofen, Fig. 14 seine Schaltung. Über einen in Moss (Norwegen) in

industriellem Maßstabe durchgeführten dreimonatigen Betrieb wurden folgende Daten bekannt: Der Ofen wurde für eine Tagesleistung von 5 t bei einem Leistungsbedarf von 200 bis 250 kW gebaut. Jedoch konnte die Produktion ohne Schwierigkeiten bis 9 bis 10 t im Tage gesteigert werden, so dass der Energieverbrauch nur 1,1 bis 1,2 kWh/kg betrug. Im Ofen sollen Glastemperaturen bis 1600° erzielt worden sein. Die erzeugten Waren, vor allem Flaschen, waren qualitativ befriedigend und marktfähig. Ein Charakteristikum des Ofens sind die in die Wände eingebauten Elektroden, die ganz ins Glas eintauchen¹⁹⁾. Da das Gemenge leichter ist als das Glasbad und deshalb auf diesem schwimmt, werden die Elektroden dank ihrer Anordnung der

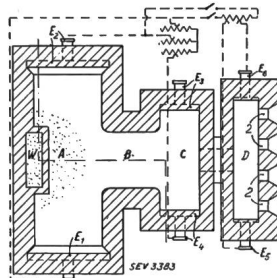
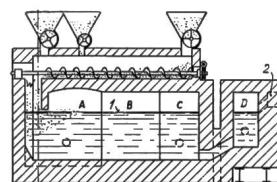


Fig. 13.

Elektrowanne von Raeders mit direkter Widerstandsheizung.

1 Glasspiegel.
2 Arbeitslöcher.
E1 ... E6 Elektroden.
A Schmelzraum.
B, C Läuterungsraum.
D Arbeitsraum.
W Einfüllschacht.

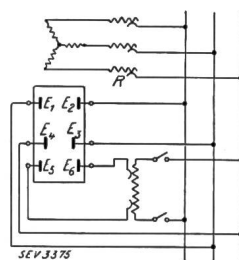


Fig. 14.

Schaltung des Ofens
Fig. 13.

Berührung mit dem Gemenge entzogen, wodurch die Gefahr einer Verfärbung verringert wird, denn gerade die im Gemenge enthaltenen, noch nicht ins Glas übergegangenen Alkalien greifen die Elektroden besonders stark an und verursachen den Übergang von färbenden Bestandteilen in das Glas. Damit die Elektroden auch vom Glasbade selbst nicht angegriffen werden, muss nach Raeders deren Temperatur an der Berührungsfläche möglichst niedrig gehalten werden, was einerseits durch eine geringe Übergangstromdichte (unter den üblichen Werten von 3 bis 9 cm²)¹⁹⁾, andererseits durch die Anordnung der Elektroden in seitlichen Ausbuchtungen, von der heißesten Zone des Ofens entfernt, erreicht werden soll. Die Elektroden sind aus reinstem Graphit. Fig. 15 bis 17 orientieren über eine neuere Ausführung des Raederschen Ofens²⁰⁾, bei dem die Arbeitswanne wegfällt und durch die muldenförmige Ausbuchtung D' ersetzt wird, weil dieser Ofen für vollautomatische Glasformmaschinen dient. Die Elektroden E₁ und E₂ sind nicht mehr in die Wände eingebaut; ihre Ausführungen sind wasser-

¹⁷⁾ USA-Patente 1598 764/5, 1615 841/2, 1777 644, 1799 371, 1815 977/8, 1610 376/7, 1761 342, 1783 373, 18 071/19. V. 31 rissue, 1827 471/2.

¹⁸⁾ Ofen von Holmgren s. Met. Ind., Lond. 1926, S. 151.

¹⁹⁾ Brit. Patent Nr. 262 535.

²⁰⁾ Brit. Patent Nr. 350 930 vom 3. März 1930.

gekühlt (Fig. 16). Neuartig ist die Form der Wanne und die Anordnung der Schmelzphasen *A* und *B* vertikal übereinander, so dass das Glas im Sinne der Pfeillinie in Fig. 15 fließt.

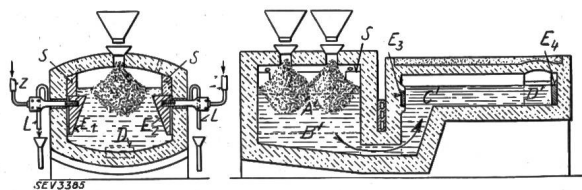
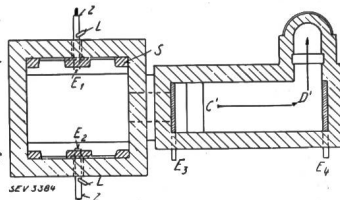


Fig. 15.
Neue Raedersche Elektrowanne.

Z Stromzuleitungen.
E₁ ... E₄ Elektroden.
L Kühlwasserableitung.
S Blöcke zum Festhalten der Elektroden.



Fast gleichzeitig mit Raeders entwickelte Cornelius²¹⁾ seinen Elektroofen, sich ebenfalls der direkten Widerstandsheizung bedienend (Fig. 18). Die ebenfalls vollkommen untergetauchten Elektroden bestehen aus Metall, vorzugsweise aus reinem kohlenstoffarmem Eisen ($C < 0,03\%$). Sie stehen frei und bilden eine Schmelzrinne, in der das Glas vom Einlegeende (zwischen *G*₁ und *G*₂) zum Arbeitsende (*G*₉ und *G*₁₀) fließt. Die stationären Glasschichten *R* und *T* nehmen an der Glasbewegung nicht teil. Cornelius konnte bereits in einem ersten

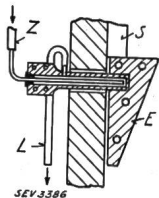


Fig. 16.
Elektrodenkühlung
beim Ofen Fig. 15.

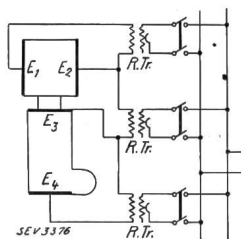


Fig. 17.
Schaltungsschema
des Ofens Fig. 15.

in Kungelvv aufgestellten Ofen betriebsmässig grüne und braune Flaschen in befriedigender Qualität herstellen. Ein zweiter Ofen arbeitete während 14½ Monaten (1928/1929). Auch hier waren die Resultate durchaus erfolgreich. E. Meigh²²⁾ berichtet über Versuche mit dem Cornelius-Ofen, farbloses Glas herzustellen, die in St. Helens vorgenommen wurden. Fig. 19 zeigt die Ausführung dieser im Jahre 1929 aufgestellten Versuchswanne mit einer Kapazität von 5 t täglich. Die Elektroden bestanden aus schwedischen Eisenblöcken u. z. *G*₁ bis *G*₈ je im Gewichte von ca. 610 kg, während *G*₉ und *G*₁₀ je 300 kg wogen. Die erzielten Resultate waren nicht stabil; nur während einzelner Betriebsperioden war der Eisengehalt des erschmolzenen Glases genügend klein, um eine einwandfreie Entfärbung zu gewähr-

leisten. Da die Versuche jedoch aussichtsreich waren, sollen sie fortgesetzt werden. Es besteht jedoch kein Zweifel, dass sich der Corneliusofen zur Erzeugung von Farbglass hervorragend eignet. Wenn man bedenkt, dass die Elektroden dieses Ofens im ganzen etwa 3 t wogen und sich diese Eisenmasse ständig mit dem geschmolzenen Glas in Kontakt befand, so sind die erzielten Resultate bereits überraschend, genügt doch bei gewöhnlichen Schmelzwannen, ein Eisenstück von kaum 20 bis 40 kg in

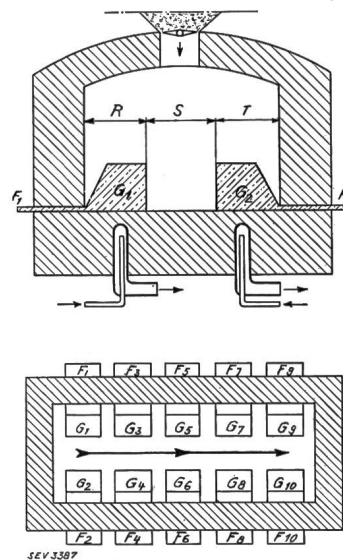


Fig. 18.
Prinzip der Elektrowanne
von Cornelius.

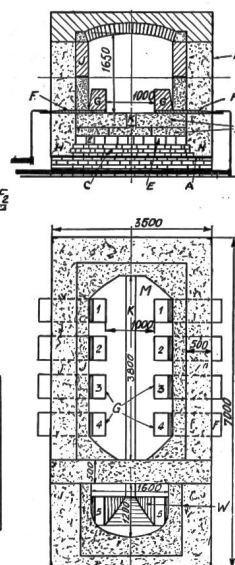


Fig. 19.
Cornelius-Versuchsofen
in St. Helens
(nach Meigh).

A Stahlträger.
C Mauerwerk.
D Bodenplatten der Wanne.
E Ziegelstein-einlage.
F Stromzuführungen.
G Elektroden.
J Seitenmauern.
K Kanal am Boden des Schmelzraumes.
M Einlegeende.
W Arbeitswanne mit schräg nach aufwärts gehenden Wänden.

die Schmelze einzubringen, um das Glas unbrauchbar zu machen, so dass man die Wanne auslaufen lassen muss.

Die Raederschen Betriebserfolge und die Fabrikation von Braun- und Grünglas durch Cornelius öffneten der industriellen Verwendung des Elektroschmelzofens in der Glasindustrie den Weg.

Der Energiebedarf des Elektroglassofens.

Aus dem allgemeinen Belastungsgesetz des Wannenofens^{22a)} gemäss Fig. 20 ergibt sich für den (abgaslosen, $\beta = 0$) Elektroofen:

$$P_t = P_0 + \alpha \cdot P \quad (1)$$

Bei brennstoffgefeuerten Oefen wird zumeist die Schmelzleistung *P* auf den m² Schmelzfläche bezogen und als spez. Schmelzleistung²³⁾ bezeichnet

^{22a)} Näheres sowie Ableitungen siehe Horowitz: Rechnerische und analytische Betrachtungen über ölgefeuerten Wannenofen. Glashütte 1933.

²³⁾ Bei Vergleichen muss hier beachtet werden, dass bei englischen und amerikanischen Quellen die Angaben auf die eigentliche Schmelzfläche, bei deutschen hingegen manchmal auf die gesamte Wannenfläche bezogen sind. Im letzteren Falle muss die Schmelzfläche zu ⅓ der gesamten Wannenfläche angenommen werden.

²¹⁾ Brit. Patent Nr. 249 554 v. 23. März 1925 und Nr. 303 798 v. 8. Januar 1929.

²²⁾ E. Meigh. J. Soc. Glass Technol. 1931, Dez.-Nr.

(in $t/m^2 \cdot 24$ h oder $kg/m^2 \cdot 24$ h). Zum Vergleich mit dem Elektroofen mit direkter Widerstandsheizung ist diese Grösse ungeeignet, da hier nicht nur die Glasoberfläche zur Wärmeübertragung dient, sondern alle die Elektrizität leitenden Schich-

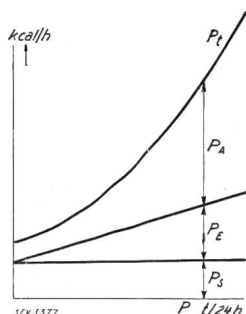


Fig. 20.
Funktion $P_t = f(P) = P_0 + \alpha P + \beta P^2$
für Oelwannenöfen.
Anschauliche Aufteilung der
Kurve P_t :
 P_A Abgasverluste.
 P_E Erzeugungswärme des Glases.
 P_S Strahlungsverluste etc.
 P_t Totaler Leistungsbedarf des
Ofens.
 P_0 Leerlaufverluste.
 P Schmelzleistung in $t/24$ h.
Glas pro 24 h.
 α, β Konstanten.

ten des Glases. Es wird daher der Begriff des Ausbringungsfaktors f , worunter das Verhältnis zwischen der Produktion in 24 h und dem Glasinhalt der Wanne zu verstehen ist, benutzt.

Tabelle III.

	spez. Schmelzleistung $t/m^2 \cdot 24$ h	Ausbringungsfaktor f
Mit Generatorgas gefeuerte Wannen	0,35 bis 0,7	0,14 bis 0,2
Gewöhnliche Oelwannen	0,75 bis 1,0	0,33 bis 0,4
Amerikanische Hochleistungsölnwannen bis	1,25 bis 1,8	0,5 bis 0,6
Elektrowannenöfen	—	1,0 u. darüber

Es lässt sich in einfacher Weise ableiten, dass die Beziehung sowohl zwischen dem Energiebedarf A_e pro kg erschmolzenen Glases, als auch zwischen dem Ofenwirkungsgrad η und dem Ausbringungsfaktor f sich durch gleichseitige Hyperbeln darstellen lassen. Insbesondere ergibt sich für den Energiebedarf A_e folgende Gleichung, worin C_1 und C_2 Konstanten sind,

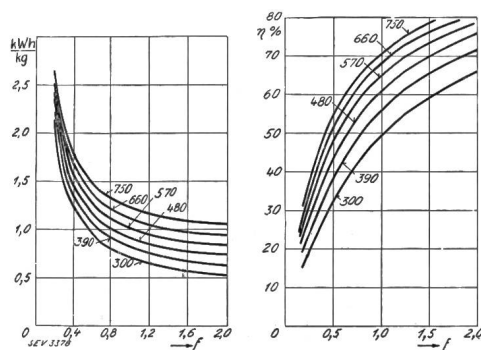


Fig. 21.
Spezifischer Energieverbrauch und Wirkungsgrad der Elektro-schmelzwanne mit direkter Widerstandsheizung in Funktion des Ausbringungsfaktors f .
Kurve 750 für Glas mit 750 kcal Erzeugungswärme.
160 » » » 600 » » » (Sulfatglas)
570 » » » 570 » » »
480 » » » 480 » » » (Sodaglas).
390 » » » aus Scherben erschmolzen, 390 kcal Schmelzwärme.
300 » » » aus Scherben erschmolzen, 300 kcal Schmelzwärme.

²⁴⁾ S. auch W. W. Warren: Einfluss der Hafengrösse und der Betriebsweise auf die Leistung von Hohlglasöfen. Ref. Glastechn. Ber. IX/I, S. 7.

$$A_e = \frac{C_1}{f} + C_2 \text{ kWh/kg} \quad (2)$$

In Fig. 21 ist der rechnerisch ermittelte Energiebedarf und der Wirkungsgrad in Funktion des Ausbringungsfaktors für Elektrowannen mit direkter Widerstandsheizung aufgetragen. Aus den Wärmebilanzen von Gasöfen kann der Energiebedarf für Elektro-Mehrhafenöfen mit indirekter Widerstandsheizung zu 3,0 bis 3,5 kWh/kg errechnet werden. Die folgenden Betrachtungen sind auf die Elektrowannen beschränkt, da die Elektrohafenöfen infolge des hohen Energieverbrauchs kaum konkurrenzfähig sind ²⁴⁾.

Wirtschaftlichkeit.

Die Frage der praktischen Anwendung der Elektrowannen ist vor allem eine Frage der Rentabilität im Vergleich mit anderen Ofenarten. Als Vergleichsmass für die Wirtschaftlichkeit kann nur der Gestehungspreis der Gewichtseinheit fertiggeschmolzenen Glases dienen. Dieser umfasst nicht nur die Kosten für den Wärmearaufwand, sondern auch die für Ofenbedienung, Amortisation, Verzinsung, Instandhaltung und Ausbesserung der Ofenanlagen.

Allgemein gilt für jeden Glashüttenofen folgende Formel für die Gestehungskosten:

$$S = \frac{100}{i \cdot q} \cdot \frac{(A + B + J \cdot C + D)}{1000 \cdot J \cdot t} \quad (3)$$

wo:

$$\left. \begin{aligned} A &= a \cdot r \cdot 1000 \cdot J \cdot t \\ C &= \left(\frac{c + z}{100} \right) \cdot V \\ D &= \frac{V \cdot J \cdot d}{100} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

S = Schmelzkosten pro kg erschmolzenen Glases.
 q = Prozentsatz der schmelzfehlerfreien Waren.
 i = Ofenausnutzungskoeffizient.
 A = Brennstoff- resp. Energiekosten pro Jahr und Ofen.
 t = Dauer der Ofenreise in Arbeitstagen pro Jahr.
 J = installierte Ofenleistung in $t/24$ h.
 B = Jahresausgaben pro Ofen für Bedienung, Aufsicht, Beschickung usw.
 C = Amortisation und Verzinsung pro t installierte Tagesleistung.
 V = Anlagekosten pro t installierte Tagesleistung.
 c = jährliche Amortisationsquote in % der Anlagekosten.
 z = Zinsfuß.
 D = Jahresausgaben für Instandhaltung, Ausbesserung usw. des Ofens, inkl. Brennstoff für die warme Reparatur.
 d = desgleichen in % der Anlagekosten.
 q = Energiebedarf des Ofens pro kg erschmolzenen Glases in kcal/kg resp. kWh/kg.
 r = Preis der Brennstoff- resp. Energieeinheit.
 e, g, h Index für Elektrowanne, bzw. Generatorgas, bzw. Heizöl.

Bedingung für die Wirtschaftlichkeit des Elektroofens ist, dass bei einem maximalen Energiepreis r_{max} der Gestehungspreis nicht höher als bei anderen Ofen werde. Für die Höhe der Anlagekosten,

Abschreibungen usw. können ungefähr folgende Ansätze gemacht werden:

	V Fr./t	c %	d %
Gasgeheizte Regenerativwanne komplett, jedoch ohne Kamin und Generatoranlage	7000	20 bis 25	10
Ölwanne mit Rekuperatoren komplett	6000	25	10
Elektrowanne inkl. elektrische Ausrüstung und Elektrodenverschleiss	3500	25	15 bis 20

Die Ansätze sind je nach Grösse, Güte, Ausführung usw. der Öfen sehr verschieden; die angegebenen Werte sollen Anhaltspunkte für Anlagen mittlerer Grösse (10 bis 15 t/24 h) geben.

Die Dauer der Ofenreise soll für alle Ofenarten ungefähr gleich zu $t = 250$ Arbeitstagen pro Jahr angenommen werden. Gleichheit kann auch für die Grössen i und q , sowie für die Bedienungskosten B angenommen werden, so dass diese für den Vergleich ausser Betracht fallen. Für B ist dies allerdings nur statthaft, wenn für Generatorgas die Erzeugungskosten des Gases dadurch berücksichtigt werden, dass der Preis der Brennstoffeinheit franko Ofen eingesetzt wird. Der kleine Vorteil, den in dieser Hinsicht der Elektroofen bietet, soll als willkommene Zugabe betrachtet werden. Somit ergibt sich für $r_{e \max}$

$$r_{e \max} \leq \frac{a_g \cdot r_g}{a_e} + \frac{63 \cdot 10^{-4}}{a_e}$$

$$\text{resp.} \leq \frac{a_h \cdot r_h}{a_e} + \frac{43 \cdot 10^{-4}}{a_e} \text{ Fr./kWh}$$

Der Preis des Generatorgases hängt vom Preis und Heizwert der vergasteten Kohlen, von der Menge und Art ihrer Asche, vom Wirkungsgrad der Gaserzeugeranlage, deren Anlagekosten und Amortisation, dem Belastungsfaktor und den Vergasungslöhnen ab. Die Entfernung zwischen Ofen und Generatoren beeinflusst den Heizwert des Gases am Ofen und somit den Gaspreis franko Ofen. In Glashütten kann bei gutem Betrieb mit einem Generatorwirkungsgrad von 75 bis 80 % gerechnet werden. Am einfachsten wird der Preis für 10^6 kcal franko Ofen aus der in der Kohle enthaltenen Wärmemenge und dem Generatorwirkungsgrad ermittelt, indem man die gesamten Kosten der Vergasung auf die Tonne vergaster Kohle aufteilt und zum Kohlenpreis am Generator addiert. Die Vergasungskosten schwanken je nach den Löhnen usw. zwischen 4.— und 9.— Fr./t. Auch die Kohlenpreise schwanken ständig; heute kostet ca.

Gute Generatorkohle franko Basel verzollt	kcal/kg	Fr./t
Generatorkohle ab deutscher Grube	7500	ca. 30.—
Generatorkohle frei Anschlussgleis deutscher Glashütte ungefähr	7500	18.75
Generatorkohle frei Generator in moderner deutscher Glashütte ungefähr	7500	25.—
Braunkohlenbrikett ab Grube	4800	26.—
		12.50

Im allgemeinen kann heute für günstig gelegene deutsche Glashütten mit einem Gestehungspreis von Fr. 4.— bis 4.25 M pro 10^6 kcal Generatorgas frei Ofen gerechnet werden, während in der Schweiz selbst im günstigsten Fall Fr. 6.— und mehr eingesetzt werden muss.

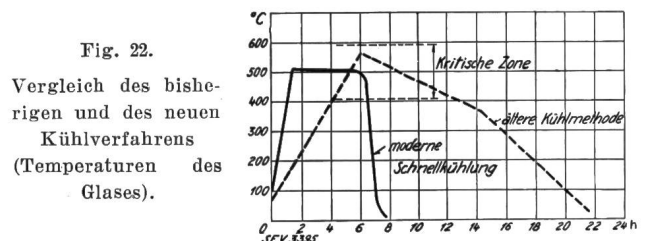
Für gutes schwefelreines Heizöl muss heute ca. Fr. 5.50 per 100 kg verzollt, franko Basel, bei einem Heizwert von ca. 10^4 kcal bezahlt werden. Für die Durchrechnung seien folgende Verbrauchszahlen eingesetzt:

Generatorgasgefeuerte Wanne .	4500 kcal/kg Glas
Ölwanne	2750 kcal/kg Glas
Elektrowannenofen	1,1 kWh/kg Glas

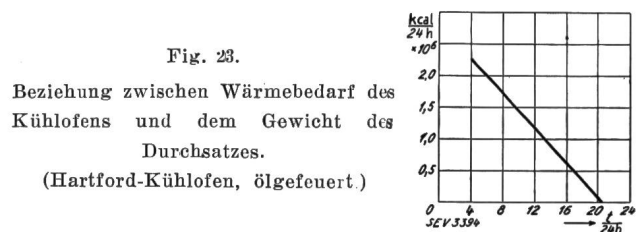
Dies sind gute Betriebswerte für Flaschengrünglaswannen (s. auch Tabelle II). Wie eine Durchrechnung leicht ergibt, ist bei den heutigen Preisen das Heizöl wirtschaftlicher als Gas. Beim Vergleich mit diesem dürfte der Preis der elektrischen Energie, gemessen am Ofen, etwa 1,76 Rp./kWh betragen, damit die Gestehungskosten beim Elektroofen nicht höher werden als beim ölbeheizten Ofen. Bei Berücksichtigung der elektrischen Verluste in den Transformatoren, Leitungen usw. ergibt sich die Kostengleichheit bei etwa 1,6 Rp./kWh.

B. Kühl- und Nebenöfen der Glasindustrie.

Der wichtigste Nebenofen ist der Kühllofen; seine Aufgabe besteht darin, die fertigen Glasgegenstände einer thermischen Nachbehandlung zu unter-



werfen, um die Spannungen auszugleichen. Der moderne kontinuierliche Kühllofen besteht aus einem geheizten Tunnel mit Transportvorrichtung, auf der die Glasgegenstände den Ofen durchlaufen und so



die erforderliche Temperaturbehandlung gemäss einer sorgfältig ermittelten Kühlkurve²⁶⁾ (Fig. 22) die genau eingehalten werden muss, durchmachen. Eine Schwierigkeit liegt darin, dass die Kühlkurven wohl die Glasktemperaturen, nicht aber die erforderliche

²⁶⁾ Adams und Williamson: J. Franklin Inst. Bd. 190, S. 597 und 835. Gehlhoff und Thomas: Z. f. techn. Physik 1925, S. 333—338. M. Thomas, Glastechn. Ber. Bd. IV 1926/7, S. 323—332.

derlichen Ofentemperaturen angeben, da sich diese direkt nicht ermitteln lassen. Während bei den früher üblichen Kühlmethode die Waren 12 bis 16 und mehr Stunden im Ofen verblieben, durchlaufen

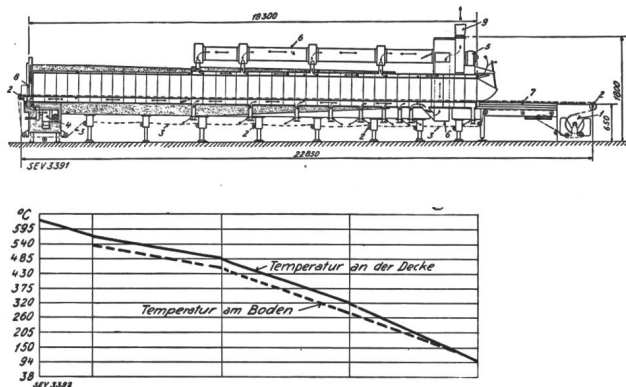


Fig. 24.

Ofentemperaturen im Hartford-Kühlöfen (ölgefeuert)
(nach Glass 1926, S. 88).

1 Antriebsmechanismus, 2 Leitrollen, 3 Förderband aus Stahldrahtgewebe, 4 Feuerkasten, 5 und 6 Ventilator mit Saugzug (Hilfssaugleitung zur Temperaturregulierung), 7 Entnahmeende mit Tisch, 8 Einlegeöffnung, 9 Abzugskamin.

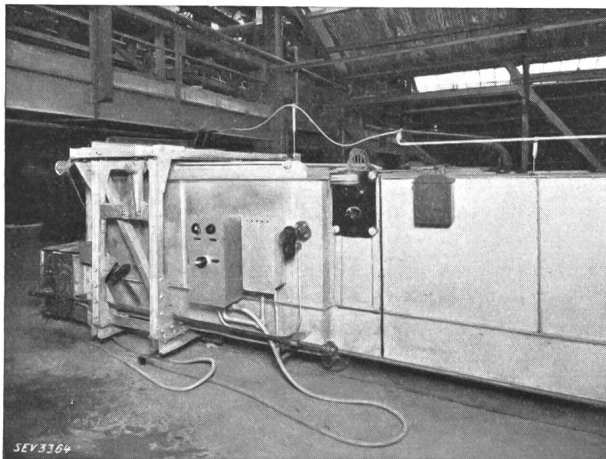


Fig. 25. 27)

Moderner Elektrokühlöfen mit durchlaufendem endlosem Band.
(Einlegeende entsprechend 8 in Fig. 24.)

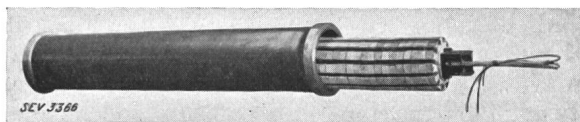


Fig. 26. 27)

Heiztrommel des Elektrokühlöfens Fig. 25, über die das Transportband am Einlegeende geführt ist. Die sich drehende Trommel enthält einen 7-kW-Heizkörper, wodurch das Transportband auf 250° bis 480° C vorgewärmt werden kann. Der Heizkörper dreht sich nicht mit der Trommel mit und ist auf einem I-Formstück aus Nickelchrom montiert.

sie diesen bei modernen Anlagen in kürzester Zeit, z. B. im Hartford-Kühlöfen in knapp 1½ h. Der Bau solcher elektrisch geheizter Kühlöfen bietet heute keine technischen Schwierigkeiten mehr; sie sind bereits vielfach in Anwendung, zumeist in

Amerika, aber auch in Europa, wo jedoch ihrer Einführung vor allem der hohe Preis solcher Anlagen entgegensteht. Der Energiebedarf des elektrisch geheizten Kühlöfens hängt von allerlei ver-

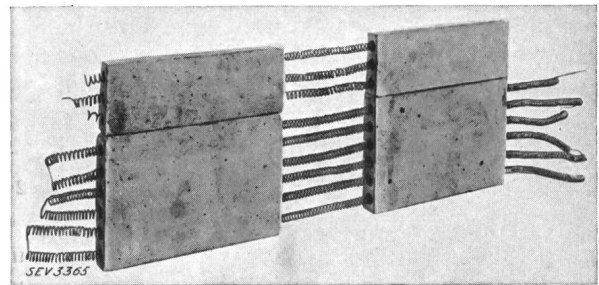


Fig. 27. 27)

Heizkörper der Seitenwände zu Elektroöfen Fig. 25. Die Platten, die Heizwiderstände aus Nichrome-Metall enthalten, bilden die Seitenwände des Kühlöfens innerhalb der ersten 1,8 Meter.

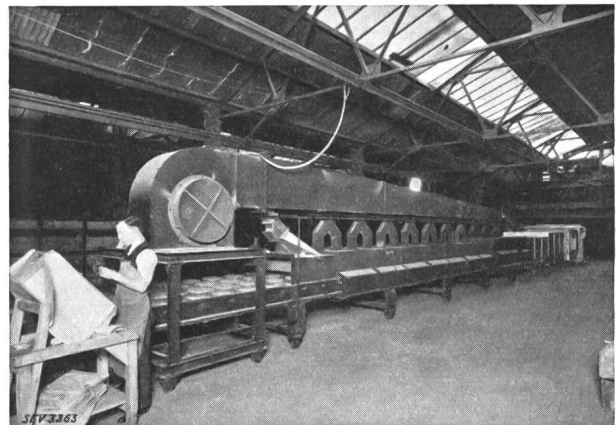


Fig. 28. 27)

Gesamtansicht des Elektroöfens Fig. 25 vom Sortier- und Austrageende aus.

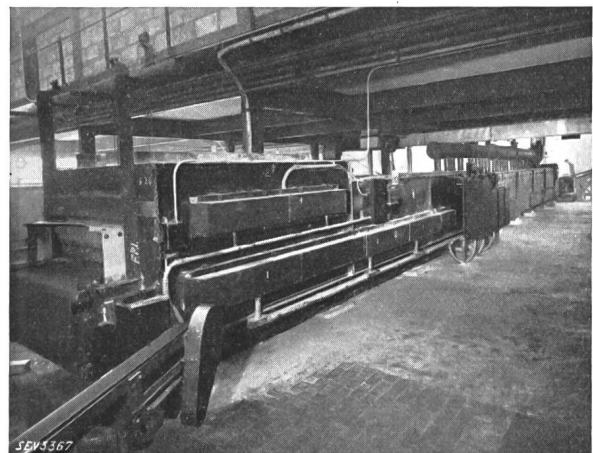


Fig. 29.

Ansicht eines modernen amerikanischen Elektrokühlöfens der Simplex Co. (elektr. Ausrüstung von der General Electric Co.) vom Einlegeende aus.

27) Fig. 25 bis 28 wurden von Herrn J. C. Moorshead von der United Glass Bottle Co. zur Verfügung gestellt.

schiedenen Faktoren ab und kann 60 bis 180 kWh/t Einsatz betragen (Fig. 23). Der zulässige Energiepreis ist ebenfalls sehr verschieden; während im allgemeinen die Wirtschaftlichkeit bei 2,5 bis 5,0 Rp./kWh je nach den näheren Umständen gegeben sein dürfte, tritt in manchen Fällen der Energiepreis neben anderen Faktoren, wie der Ersparnis durch verminderten Ausschuss, in den Hintergrund. Erwähnt sei ein solcher Fall ²⁸⁾ aus der optischen Glasindustrie, wo der Ausschuss von 18 bis 20 % auf 2 bis 3 % herunterging, bei einem Wert der täglich pro Ofen durchgesetzten Waren von Fr.

²⁸⁾ E. L. Smalley: Firing of ceramics in electric furnaces. Glass Ind. 1922, S. 205.

10 000.—. Die Ersparnis überwog bei weitem die anderen Betriebskosten.

Ausser dem kontinuierlichen Kanalkühlofen wird manchmal auch der Kammerkühlofen ²⁹⁾ verwendet, in den die Waren hineingeschichtet werden und der nach einer Heizperiode zusammen mit dem Einsatz abkühlt. Solche Öfen wurden bereits mehrfach mit elektrischer Heizung ausgeführt. Als weiterer Nebenofen mit elektrischer Heizung sei der Muffelofen ³⁰⁾ zum Einbrennen der Farben, Emailieren der Glasgegenstände usw. erwähnt. Auch solche wurden bereits mehrfach ausgeführt.

²⁹⁾ K. Tamele. ETZ 1929, Heft 9, S. 300, Fig. 12.

³⁰⁾ F. Berger: Elektr. geheizte Glasbrennmuffeln. Glas-Ind. 1929, Heft 9. Glastechn. Ber. VII (1929/30), S. 317.

Ueber die Berechnung der Nutzenstreuung bzw. der Nutleitwertzahl in den von den Wicklungen ausgefüllten Teilen.

Bull. SEV 1933, Nr. 19, S. 454.

Berichtigung und Nachtrag.

Wir geben im folgenden das Wort dem Verfasser zur Berichtigung seiner Arbeit, die ihn infolge Nichtberücksichtigung der Verkettungsfaktoren im Innern der einzelnen Stäbe zu unrichtigen Resultaten führte. Im Anschluss an die Berichtigung wird kurz ausgeführt, wie die in der Arbeit verwendete Betrachtungsmethode in besonderen Fällen nützlich sein kann.
Die Redaktion.

Nous donnons ici la parole à l'auteur pour une rectification de son étude. En négligeant les facteurs d'enchaînement à l'intérieur des barres, l'auteur en était arrivé à des conclusions erronées. La rectification est suivie d'un bref aperçu sur l'utilité que peut présenter dans certains cas l'application de la méthode exposée dans le premier article. La Rédaction.

Die in diesem Aufsatz gemachten Ausführungen bedürfen einer Berichtigung. Die Ableitung wurde mit Flussröhren, welche sich über die Höhe der einzelnen durchfluteten Stäbe erstrecken, vorgenommen. Die Verkettung der einzelnen Stäbe mit diesen Flussröhren wurde jedoch unrichtig eingesetzt. Die richtige Verkettung eines einzelnen Stabes ergibt sich aus einer Mittelwertberechnung über den ganzen Stabquerschnitt der durch die betreffende Kraftrohre erzeugten EMK. Der den Stab durchflutende Fluss ist mit den unteren Teilen des Stabes stärker verkettet als mit den weiter oben liegenden. Es ergibt sich jeweils für eine linear zunehmende oder dreieckförmige Flusspartie ein innerer Verkettungsfaktor von der Grösse $\frac{2}{3}$, da die Verkettung in diesem Falle, einer Parabel folgend, von oben nach unten zunimmt. Für einen rechteckförmigen Flussanteil, der einen einzelnen Stab durchflutet, ergibt sich dementsprechend ein innerer Verkettungsfaktor von der Grösse $\frac{1}{2}$. Die Einführung der inneren Verkettungsfaktoren reduziert die im Aufsatz gemachten Ableitungen auf die Formeln für die gebräuchlichen Leitwertzahlen zurück.

Da die Berechnung der im Aufsatz abgeleiteten Leitwertzahlen die innern Verkettungsfaktoren

nicht mit einschliesst, so gibt der Quotient aus den gebräuchlichen Leitwertzahlen und den im Aufsatz abgeleiteten die Summe der inneren Verkettungsfaktoren aller Stäbe einer Spulenseite. Die inneren Verkettungsfaktoren für die einzelnen Stäbe können entsprechend dem rechteckförmigen und dem dreieckförmigen Flussanteil (Aufteilung wie in den Figuren des Aufsatzes) und den zugehörigen Faktoren $\frac{1}{2}$ und $\frac{2}{3}$ bestimmt werden.

Der gewählte Berechnungsgang kann in seiner berichtigten Form für die Bestimmung spezieller Streuspannungen praktische Verwendung finden. Dies ist z. B. bei Wechselstrom-Kollektormaschinen, insbesondere bei solchen mit geringer Leiterzahl pro Pol, der Fall. Die Pollücken stellen hier gewöhnlich Nuten von nicht regelmässiger Form dar und man rechnet praktisch vorteilhaft mit einzelnen Flussröhren. Nachdem die Form der Flussverteilung über die Höhe einer Röhre, welche einen einzelnen Stab durchflutet, festgelegt wurde, kann der Verkettungsfaktor ähnlich wie nach den gemachten Ueberlegungen, entsprechend der jeweiligen Flussform bestimmt oder abgeschätzt werden.

K. Schönbächler.