

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 36 (1945)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Elektroöfen in der Emaillier-Industrie  
**Autor:** Horowitz, J.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056521>

#### 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:** 16.01.2026

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

*La deuxième étape* comporterait l'installation du 3<sup>e</sup> groupe, partie mécanique et électrique au complet. Elle n'interviendrait qu'au moment où l'énergie essentiellement d'été produite par ce groupe aura trouvé son utilisation.

#### Délais d'exécution

Le présent projet a été adopté par le Conseil communal de Lausanne dans sa séance du 3 juillet 1945.

Les temps nécessaires au percement et à l'achèvement de la galerie d'aménée, à l'exécution du canal de fuite, à la construction de la centrale et à l'équipement mécanique et électrique sont tous inférieurs à celui qu'il faut prévoir pour l'exécution du barrage et des ouvrages annexes.

Le programme du chantier «Barrage et prise d'eau» dépend du régime du Rhône et des conditions météorologiques. Il comprend l'exécution des fondations dans le lit du fleuve pendant les périodes d'étiage, les parties hors de l'eau pourront être poursuivies pendant les crues. En tenant compte de ces différents éléments il est possible d'établir un tableau d'échelonnement comportant la mise en eau vers la fin de 1949. Il importe pour cela que les travaux puissent commencer au cours de l'hiver 1945—1946 et que le ciment nécessaire puisse être mis à disposition, ce qui n'est point encore assuré.

#### IV. Bilan de l'énergie

Le calcul des énergies mensuelles en année moyenne donne les résultats suivants, en millions de kWh:

Mois	En première période	Dans l'état définitif
Janvier . . . . .	13,0	13,0
Février . . . . .	10,5	10,5
Mars . . . . .	13,0	13,0
Avril . . . . .	18,0	18,0
Mai . . . . .	32,0	43,0
Juin . . . . .	29,0	40,0
Juillet . . . . .	30,0	41,5
Août . . . . .	30,5	42,5
Septembre . . . . .	30,5	43,0
Octobre . . . . .	28,5	28,5
Novembre . . . . .	18,5	18,5

Mois	En première période	Dans l'état définitif
Décembre . . . . .	14,5	14,5
Total d'énergie d'hiver (6 mois)	98,0	98,0
Total d'énergie d'été (6 mois) .	170,0	228,0
Energie annuelle . . . . .	268,0	326,0

Le passage à la seconde étape de construction procurerait donc un supplément d'énergie d'été de 58 millions de kWh.

Il y a lieu de relever que ces chiffres basés sur la moyenne des 22 années 1917—1938 ne tiennent compte que dans une faible mesure des aménagements effectués en amont à la fin de la période examinée (Dixence) et qui contribuent comme contribuera toute régularisation nouvelle en amont, à augmenter la production d'hiver.

La comparaison avec les chiffres de la consommation relevés au début de cette note démontre l'urgence de la construction envisagée. Il est possible également de constater que la production de l'usine redeviendra pour longtemps la base de l'énergie nécessaire à Lausanne. Des compléments d'énergie de pointe, très faibles au début, augmenteront avec le développement de la consommation générale.

#### V. Coût

Les calculs établis sur les prix du premier semestre 1945 donnent un montant total de 61 millions de francs environ, y compris les intérêts intercalaires.

Les frais d'exploitation, compte tenu des frais de capitaux, peuvent être, à la suite d'un examen précis, admis aux 7 % environ du capital d'établissement.

Il en résulte que les prix de revient du kWh, tenu compte des différentes qualités de l'énergie (hiver, été et déchet), se tiennent dans des limites très basses.

Il est d'autant plus indiqué de passer à l'exécution de cette grande œuvre qu'elle s'intégrera harmonieusement dans le réseau général de la Suisse romande en complément des usines existantes telles la Dixence et Verbois, et Rossens actuellement en construction.

#### Adresse de l'auteur:

P. Meystre, Ingénieur-Chef du Service de l'Electricité de la Ville de Lausanne, Lausanne.

## Elektroöfen in der Emaillier-Industrie<sup>1)</sup>

Von J. Horowitz, Olten

621.365.4 : 666.29

*Es wird zunächst das Problem des elektrisch beheizten Schmelzofens für die Herstellung von Rohemail (Emailfritte) behandelt. Obwohl bisher Elektroöfen für diesen Zweck noch nicht verwendet worden sind, erscheint dies nach dem heutigen Stand der Technik durchaus im Bereich der Möglichkeit zu liegen. Bei den bereits seit einer Reihe von Jahren benützten Elektroöfen für das Einbrennen von Email unterscheidet man Kammeröfen und Durchlauföfen. Es werden verschiedene Bauarten solcher Oefen, sowie einige ausgeführte Anlagen beschrieben, wobei auch verschiedene technologische und mit dem Betrieb zusammenhängende Fragen zur Sprache kommen. Die Elektrowärme ermöglicht eine wesentlich bessere Ausnutzung des Ofenraumes bzw. der Rostfläche sowie eine Verkürzung der Brennzeiten. Wesentlich für die Wirtschaftlichkeit ist das Gewichtsverhältnis zwischen durchgesetzter Nettoware und dem Totgewicht des Rostes und anderer Brennhilfsmittel.*

*L'auteur s'occupe tout d'abord du problème du four électrique pour la fonte de l'email brut. Quoique des fours électriques n'aient encore jamais été utilisés dans ce but, l'état actuel de la technique le permettrait certainement. Les fours électriques à émailler sont par contre utilisés depuis plusieurs années avec un plein succès. Il s'agit de fours à moufle et de fours-tunnel. M. Horowitz décrit divers modèles de fours, ainsi que quelques installations. Il traite également de certaines questions technologiques et d'exploitation. La chaleur électrique permet une bien meilleure utilisation de l'espace disponible du four et de la surface de la grille, ainsi qu'une réduction des durées de séjour dans le four, de sorte que la production est sensiblement plus grande qu'avec les fours à émailler chauffés au combustible. Le rapport entre le poids des pièces passées au four et celui de la grille et d'autres auxiliaires de four a une grande importance pour la consommation d'énergie nécessaire par unité de poids des pièces à émailler.*

<sup>1)</sup> Auf Wunsch der Redaktion wurde diese Arbeit wesentlich gekürzt. Es sei auf das demnächst im Verlage Hofmann A.-G., Zollikon erscheinende Buch des Verfassers: «Elektroöfen in der Glas-, Keramischen und Emailindustrie» verwiesen.

Unter Email (Porzellanemail, Feueremail) versteht man einen auf eine Metallocberfläche aufgeschmolzenen, opaken, glasartigen Ueberzug. Seine Verwendung zur Verzierung von Schmuck ist eine der ältesten bekannten Handwerkskünste. Die heutige grosse Bedeutung des Emails für die Herstellung von Gegenständen des täglichen Gebrauchs, für Apparate und Maschinen der Industrie, für medizinische Zwecke, aber auch für den Haushalt, beruht auf den hervorragenden, besonders den sanitären und hygienischen Eigenschaften, die damit diesen Erzeugnissen gegeben werden können. Die Wetterbeständigkeit führte zu einer weitgehenden Verwen-

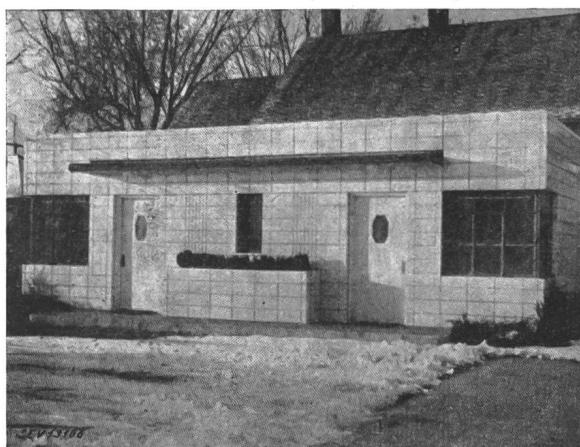


Fig. 1.  
Mit Porzellan-Email-Platten verkleidete Hausfassade  
(crèmeifarbig)

dung des Emails für Reklame- und Strassenschilder, Wegweiser usw. Neuerdings werden in Amerika bereits auch ganze Häuserfassaden mit Emailtafeln verkleidet (Fig. 1).

Die zu emaillierenden Gegenstände werden heute fast ausschliesslich aus Eisen und Stahlblech oder

Guss angefertigt. Die Herstellung zerfällt in zwei getrennte Fabrikationsstufen:

1. Das Erschmelzen des Rohemail, der sog. Fritte, aus den eigentlichen Grundmaterialien. In den meisten Fällen wird die Fritte nicht vom Emaillierwerk selbst erzeugt, sondern von Fabriken, die sich auf deren Erzeugung spezialisiert haben, bezogen.

2. Das Aufschmelzen einer oder mehrerer Emailschichten im Emaillierwerk. Die zum Auftrag gelangenden Mischungen werden aus einer fein gemahlenen Fritte geeigneter Qualität unter Zugabe verschiedener Versatzmaterialien (Flussmittel, Trübungszusätze usw.) hergestellt. Für das Auftragen auf die mit Beizen oder Sandstrahl vorbehandelten Gegenstände werden die verschiedensten Methoden verwendet, z. B. Aufspritzen mit Farbspritzpistolen, Tauchverfahren, Aufpudern usw.

### Das Problem des Elektro-Schmelzofens für Email- und Fritte-Herstellung

In Tabelle I sind einige Daten der wichtigsten Rohmaterialien, aus denen die Emailfritten erschmolzen werden, zusammengestellt, während Tabelle II einige typische Beispiele der Zusammensetzung amerikanischer und europäischer Emails enthält. Der so zusammengestellte Satz wird zunächst fein gemahlen, sehr gründlich gemischt und hierauf im geeigneten Ofen geschmolzen. Hierfür wurden bisher noch keine Elektroöfen verwendet, zum mindesten ist hierüber nichts bekannt geworden.

Die zur Erschmelzung der Fritte erforderlichen Temperaturen betragen ca. 1050...1400° C. Solche Temperaturen werden heute mit Elektroöfen mit indirekter Widerstandsheizung mit Leichtigkeit erreicht. Es existieren bereits eine ganze Anzahl in Betrieb befindlicher Elektroöfen für die Erschmelzung der verschiedensten Arten von Gebrauchs- und optischen Gläsern, die mindestens ebenso hohe Schmelztemperaturen benötigen und die nach dem Prinzip der indirekten Widerstandsheizung arbeiten. Als Widerstandsmaterial werden nichtmetallische Heizstäbe aus siliziumkarbidhaltigem Material,

Rohmaterialien für Emailschmelzen.

Tabelle I

Bezeichnung	Chemische Formel	Schmelzpunkt	Bemerkungen
Kieselsäure (Quarz) . . . . .	Si O <sub>2</sub>	1712° C	Basischer Bestandteil
Feldspat . . . . .	K <sub>2</sub> O Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .6 Si O <sub>2</sub>	1280° C	Basischer Bestandteil
Borax prism. krist. . . . .	Na <sub>2</sub> B <sub>4</sub> O <sub>7</sub> .10 H <sub>2</sub> O	742° C	Flussmittel
Kalz. Soda . . . . .	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	849° C	Flussmittel
Kalkspat . . . . .	Ca CO <sub>3</sub>	Dis. 825° C	Flussmittel
Baryt . . . . .	Ba CO <sub>3</sub>	Dis. 900° C	Flussmittel
Kryolith . . . . .	Na <sub>3</sub> Al F <sub>6</sub>	977° C	Fluss- und Trübungsmittel
Zinkoxyd . . . . .	ZnO	—	Flussmittel
Antimonoxyd . . . . .	Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	Trübungsmittel
Natriumnitrat (Natronsalpeter) . . . . .	Na NO <sub>3</sub>	316° C	Oxydationsmittel
Kobaltoxyd . . . . .	Co <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	310° C	Haftoxyd und Färbemittel (Blau)
Nickeloxyd . . . . .	Ni <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	Haftoxyd u. Färbemittel (Braun)
Braunstein . . . . .	Mn O <sub>2</sub>	—	Haftoxyd u. Färbemittel (Violett)
Tonerde . . . . .	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2010° C	
Flußspat . . . . .	Ca F <sub>2</sub>	1250° C	Fluss- und Trübungsmittel
Kaolin (Ton) . . . . .	2 Si O <sub>2</sub> .Al <sub>2</sub> O <sub>6</sub> .2H <sub>2</sub> O	1750° C	Mühlenzusatz
Kalisalpeter . . . . .	K N O <sub>3</sub>	355° C	Oxydationsmittel
Borsäure Krist. . . . .	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .3 H <sub>2</sub> O	185° C	Flussmittel
Mennige . . . . .	Pb <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	880° C	Flussmittel
Magnesiumcarbonat . . . . .	Mg CO <sub>3</sub>	—	
Zinnoxyd . . . . .	Sn O <sub>2</sub>	1127° C	Trübungsmittel
Natriumantimonat . . . . .	Na <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	350° C	Trübungsmittel

Zusammensetzung einiger typischer Emails (in Gewichtsprozenten)  
IIa Schmelzsätze für die Herstellung der Emailfritte

Tabelle IIa

Email-No.	A	B	C	D	E	F <sup>4)</sup>	G
Provenienz	Amerika			Deutschland		Frankreich	
Verwendungszwecke und Art des Emails	Blechgrund	weisses Deckemail für Bleche	Puderverfahren für Guss	Blech-Grund-Email	weisses Deckemail für Bleche	Deckender Blechgrund	weisses Deckemail für Bleche
Kieselsäure/Quarz . . .	20,0	12,0	6,0	15,0	20,0	16,0	25,0
Feldspat . . . . .	28,0	31,0	23,0	34,0	26,0	40,0	22,8
Borax . . . . .	33,0	28,0	30,0	35,0	28,0	33,7	22,8
Kalz. Soda . . . . .	7,0	3,0	8,0	8,0	7,0	4,0	—
Flusspat . . . . .	6,0	7,5	—	5,0	—	2,4	2,4
Kryolith . . . . .	—	7,0	5,0	—	16,0	—	13,0
Zinkoxyd . . . . .	—	4,0	4,0	—	—	—	—
Natriumantimonat . . . . .	—	4,5	3,0	—	—	—	—
(Na <sub>2</sub> Sb <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )							
Natronalsalpeter . . . . .	5,0	3,0	6,0	2,5	3,0	2,4	3,0
Kobaltoxyd . . . . .	0,3	—	—	0,2	—	—	—
Nickeloxyd . . . . .	0,4	—	—	0,3	—	1,5	—
Braunstein . . . . .	0,3	—	—	—	—	—	—
Kalkspat . . . . .	—	—	0,3	—	—	—	—
Baryt . . . . .	—	—	12,0	—	—	—	—
Koalinpulver . . . . .	—	—	—	—	—	—	6,5
Zirkonoxyd . . . . .	—	—	—	—	—	—	3,7

Mühlen-Versätze (in kg bezogen auf 100 kg Fritte-Grenalien)  
Tabelle IIb

pro 100 kg Fritte werden zugesetzt (in kg):	A und D	B	E	E'	F	G
Pfeifenton	6	6	6	6	10	5
Ceroxyd	—	—	—	2	5,3	3
Borax	1	—	—	—	—	—
Wasser	55	45	45	45	45	44
Zinnoxyd	—	6	8	—	—	—
Magnesiumcarbonat	—	0,125	—	—	—	—

z. B. «Globar»-Stäbe, benutzt<sup>2)</sup>). Die Verwendung des Elektroofens für die Erschmelzung von Email-

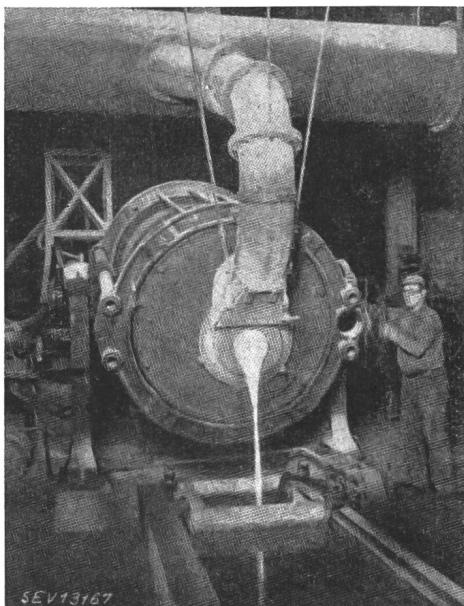


Fig. 2.  
Oelgefeuerter Trommelofen für das Erschmelzen von Emailfritten  
(Ofen während des Ausgiessens der Schmelze)

<sup>2)</sup> Horowitz: Elektrisch geheizte Ofen in der Glasindustrie. Glashütte 1934, S. 401 und 415.

fritten liegt somit durchaus im Bereich des technisch möglichen. Da überdies der Elektroschmelzofen den Vorteil der absolut reinen und neutralen Ofenatmosphäre aufweist, erscheint die Einführung von Elektroöfen auch für diesen Zweck nur als eine Frage der Zeit.

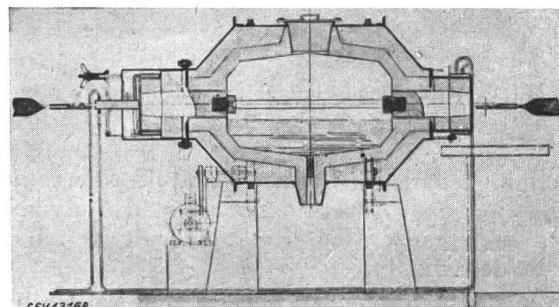


Fig. 3.  
Schnitt durch Elektro-Trommel-Schmelzofen mit wassergekühlten Stromzuführungen für Temperaturen bis 1650...1800°C. Beheizung durch axial angeordneten Graphit-Heizstab.

Während die oben erwähnten Elektroglasöfen Hafenöfen sind, werden für die Erschmelzung der Emailfritten meistens Trommellofen verwendet. Fig. 2 zeigt einen solchen modernen brennstoffgefeuerten Emailschmelzofen während des Ausgiessens der Schmelze. Auch Trommellofen werden heute bereits als Elektroöfen mit indirekter Widerstandsheizung ausgeführt, und zwar für Schmelztemperaturen bis 1650°C. Fig. 3 stellt den Schnitt durch einen solchen Ofen dar, Fig. 4 zeigt eine ausgeführte Ofenanlage, die bereits längere Zeit im Betrieb steht<sup>3)</sup>. Eine automatische Oszillierungsvorrichtung sorgt für eine gleichmäßige Durchmischung des Schmelzgutes. Die Entleerung erfolgt durch Drehung um 180° um die Längsachse.

<sup>3)</sup> R. Sevin: Fours électriques à rayonnement. Revue Chauffage électrique 1936, No. 6/7.

<sup>4)</sup> Schmelzpunkt 1240°C.

Kubische Ausdehnungskoeffizienten verschiedener Emails

Tabelle III.

Material	Temperatur-Bereich °C	Kub. Ausdehnungs-Koeffizient	Erweichungstemperatur °C
<b>1. Allgemeine Werte</b>			
Grundemail allgem.	0 ... 100	$240 \dots 290 \times 10^{-7}$	—
Deckemail allgem.	0 ... 100	$320 \dots 350 \times 10^{-7}$	—
Eisenblech allgem.	0 ... 100	$300 \dots 420 \times 10^{-7}$	—
Gusseisen allgem.	0 ... 100	$320 \dots 330 \times 10^{-7}$	—
<b>2. Werte der reinen Schmelze</b>			
Eisenblech A-Kurve Fig. 5	50 ... 450	$450 \times 10^{-7}$	—
Blechemailgrund B-Kurve Fig. 5	50 ... 450	$333 \times 10^{-7}$	537
Blechemailgrund B-Kurve Fig. 5	50 ... 536	$469 \times 10^{-7}$	537
Blechdeckemail C-Kurve Fig. 5	50 ... 450	$353 \times 10^{-7}$	525
Blechdeckemail C-Kurve Fig. 5	50 ... 525	$482 \times 10^{-7}$	525
Fertiges Email-Blech inkl. 2 Deckschichten D-Kurve Fig. 5	50 ... 450	$428 \times 10^{-7}$	—
Fertiges Email-Blech inkl. 2 Deckschichten D-Kurve Fig. 5	50 ... 525	$447 \times 10^{-7}$	—
<b>3. Werte im fertig aufgebrannten Email nach Untersuchungen von Dietzel &amp; Meures<sup>4)</sup></b>			
Eisenblech	0 ... 470	$410 \times 10^{-7}$	—
Grundemail aufgebrannt	0 ... 470	$385 \times 10^{-7}$	470
tiefere Schichten	0 ... 510	$360 \times 10^{-7}$	510
obere Schichten	0 ... 510	$350 \times 10^{-7}$	520
Deckemail aufgebrannt	0 ... 570	$324 \times 10^{-7}$	570
Grundemail rein, nicht aufgebrannt			

Die abgebildeten Oefen sind für andere Verwendungszwecke als für Emailerschmelzung bestimmt. Da mit diesen Oefen jedoch Temperaturen bis  $1650^{\circ}\text{C}$  erreicht werden können und die verwendeten Elektroden aus Spezialgraphit den Berichten<sup>3)</sup> zufolge keine Verunreinigungen an das Schmelzgut abgeben, liegt eine konstruktive Anpassung auch sol-

fritte abgeschreckt, die nur noch getrocknet werden muss. Auf die weiteren Operationen und Arbeitsgänge bis zum Auftrag der verschiedenen Schichten auf die zu emaillierenden Gegenstände braucht hier nicht weiter eingegangen zu werden.

#### Die Elektro-Emaillieröfen im allgemeinen

Die für das Einbrennen der auf die zu emaillierenden Flächen aufgetragenen Schichten dienenden Oefen werden bereits seit einer Reihe von Jahren auch mit Elektroheizung ausgeführt. Diese eigentlichen Elektro-Emaillieröfen haben sich, rein technisch betrachtet, außerordentlich gut bewährt.

In Fig. 5 ist ein Diagramm mit einigen charakteristischen Temperatur-Ausdehnungs-Kurven für Eisenblech sowie für Grund- und Deck-Blechemails und auch eine Kurve für das fertiggebrannte emailierte Produkt, bestehend aus Stahlblech einer Grund- und zweier Deckschichten dargestellt. Tabelle III gibt eine Zusammenstellung der entsprechenden Daten für Rohmaterialien und Emails. Über die Einbrenntemperaturen verschiedener Emails gibt Tabelle IV einige Anhaltspunkte.

Die in Fig. 5 sowie in den Tabellen angegebenen Werte sollen nur einige Anhaltspunkte, soweit diese im Zusammenhang mit dem Elektrofenbau in Betracht kommen, vermitteln. Es sei an dieser Stelle jedoch auch auf die neueren Untersuchungen von A. Dietzel und K. Meures<sup>5)</sup> über die kubischen Ausdehnungskoeffizienten von Grund- und Deckemail für Bleche hingewiesen, nach denen der kubische Ausdehnungskoeffizient für eingearbeiteten Grund im Gebiete von  $0^{\circ}\text{C}$  bis zum Erweichungspunkt nur wenig kleiner ist als der des Bleches und dass dabei dieser innerhalb der Grundsicht vom Blech bis zur Deckemailssicht abnehme. Sie führen diese Erscheinung auf die durch die Grundemailssicht aus

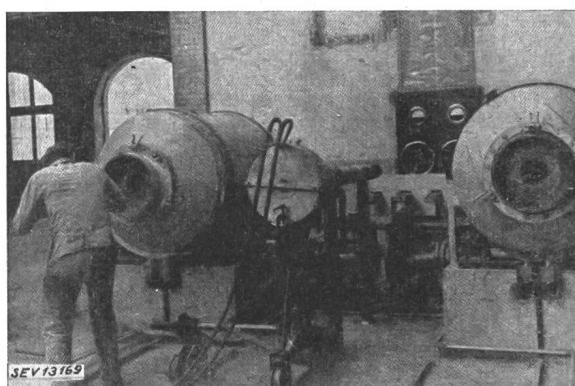


Fig. 4.

Anlage mit 2 Elektro-Trommel-Schmelzöfen  
Anschlusswert je 175 kW. Das Bild zeigt den Ofen mit herausgezogenem Graphit-Heizstab (auf nebenstehendem Fahrgestell liegend).

cher Oefen für die Emailschmelze durchaus im Bereich der Möglichkeit. Es sei noch erwähnt, dass die Elektroden das Schmelzgut nicht berühren. Die Klemmenspannung der Elektroden ist gering (24...36 V), die aufgenommene Stromstärke hingegen beträchtlich. Ein Abstäuben von Graphitteilchen von den Elektroden, das früher zur Verunreinigung der Schmelze führte, soll nicht mehr auftreten, was durch die niedrige Spannung sowie durch Verwendung von Spezialmaterial für die Elektroden erklärt werden kann.

Das geschmolzene Email wird durch Ausgiessen aus dem Ofen in kaltes Wasser zur bekannten Email-

<sup>5)</sup> Glashütte 1934, Nr. 3 und 4. J. americ. Ceram. Soc. 1935, Nr. 2, S. 37/38.

*Einbrenntemperaturen verschiedener Emails*  
Tabelle IV.

Grundemailbrand für Eisenblech . . .	800...1000° C
Deckemailbrand für Eisenblech . . .	750...900° C
Blechgrundemail A aus Tabelle II . .	860° C
Weisses Deckemail B aus Tabelle II . .	831° C
Gussemail C (Puderverfahren) aus Ta-	
belle II . . . . .	540...740° C
Blechgrundemail F aus Tabelle II . .	850° C
Weisses Deckemail G aus Tabelle II . .	820...850° C

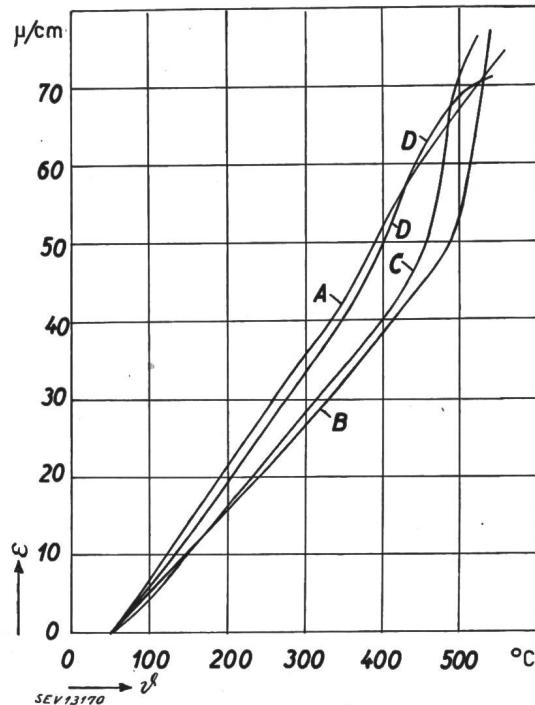
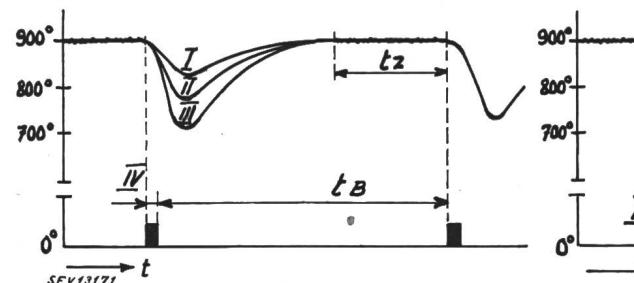


Fig. 5.

Charakteristische Temperatur-Ausdehnungskurven  
für Blechemail

$\varepsilon = \Delta l/l$  Ausdehnung.  
 $\vartheta$  Temperatur.  
A Stahlblech.  
B Grundemail.  
C Deckemail.  
D fertig emailiertes Eisenblech mit einer Grundemailschicht und zwei Deckemailschichten fertig eingearbeitet.

Die kubischen Ausdehnungskoeffizienten zu den Kurven können der Tabelle III entnommen werden.



Links: Ofen mit Brennstoff-Feuerung.  
Rechts: Elektro-Emaillierofen.  
I Temperatur hinten im Brennraum in der Nähe der Rückwand.  
II Temperatur in der Mitte des Brennraumes.

<sup>1)</sup> Moennisch. Der neuzeitliche Elektro-Emaillierofen, BBC-Nachrichten 1935, Nr. 3.

dem Eisen aufgelösten Eisenoxyde zurück<sup>6)</sup>. Sie ermittelten eine ganze Anzahl von Abstufungen (s. Tabelle III unten). Durch diese Untersuchungen wer-

<sup>6)</sup> Siehe auch W. Leume, H. Salmang und J. Brink, II. Fachbericht des VDE über das Haften von Frittegrundemail auf Gusseisen.

den allem Anschein nach die bisherigen Messungen über Blechgrundemails in Frage gestellt, denn diese basierten auf den Werten für die reine Schmelze.

Die Wichtigkeit einer absolut reinen, neutralen Ofenatmosphäre für einen guten Emailbrand ist bekannt. Sie muss frei von Staub und Gasen sein, die irgendwelche Einwirkungen auf das Email haben könnten. Aus diesem Grunde werden die brennstoffgefeuerten Öfen mit einer Chamotte- oder Carborundum-Muffel versehen. Während nun beim brennstoffgefeuerten Ofen die geringste Undichtigkeit der Muffel genügt, um den Eintritt der schädlichen Verbrennungsgase zu ermöglichen, ist beim Elektroofen eine neutrale, einwandfreie und reine Ofenatmosphäre immer gewährleistet. Hierin liegt ein wichtiger Vorteil des Elektro-Emaillierofens. Die Muffel kommt in Wegfall, die Beheizung erfolgt durch direkte Bestrahlung mit metallischen Widerständen aus speziellen, hitzebeständigen Legierungen.

Der elektrisch beheizte Emaillierofen ist dem brennstoffgefeuerten aber noch in einigen weiteren Punkten überlegen, wobei zunächst nur die rein technische Seite berücksichtigt werden soll. Die Rostfläche des Elektro-Emaillierofens kann voll belegt und somit auch ganz ausgenutzt werden.

Bei günstiger Unterteilung der Heizelemente und richtiger Verteilung im Ofeninnern erfolgt die Erwärmung des Ofenraums und der Charge völlig gleichmäßig durch direkte Wärmestrahlung, da keine Muffel erforderlich ist. Im brennstoffgefeuerten Muffelofen hingegen steigt meist die Temperatur in der Nähe der Ofentüren und gegen die Ofenmitte zu langsamer an als im inneren Teil, wegen des grossen Temperaturgefälles und des Temperatursprungs in der Muffelwandung. Dies hat zur Folge, dass bei voller Belegung der Rostfläche ein Teil der Ware nicht gar wird, während ein anderer ausbrennt.

Wie aus Fig. 6 hervorgeht, ermöglicht die gleichmässige Temperaturverteilung im Elektroofen nicht nur eine wesentlich bessere Ausnutzung der verfügbaren Rostfläche, sondern auch eine Verkürzung der Gesamtbrenndauer pro Charge, woraus sich eine weitere Erhöhung des Durchsatzes bei sonst gleichen Ofenabmessungen ergibt.

Fig. 6.  
Vergleich des Temperaturverlaufs im Kammer-  
Emaillierofen  
(nach Moennisch)<sup>1)</sup>

III Temperatur vorn in Türnähe.  
tz Effektive Nutz-Brenndauer.  
tb Gesamt-Brennzeit.  
IV Dauer des Offenhaltens der Türe.

baren Rostfläche, sondern auch eine Verkürzung der Gesamtbrenndauer pro Charge, woraus sich eine weitere Erhöhung des Durchsatzes bei sonst gleichen Ofenabmessungen ergibt.

Der vielleicht wichtigste Vorteil, den der Elektroofen bietet, wird jedoch durch die elektrischen

Heizungsart eigene, mit verhältnismässig einfachen Mitteln erzielbare, vollautomatische Temperaturregulierung gebildet. Diese ermöglicht, im Ofen jede gewünschte und erforderliche Temperatur mit Sicherheit einzuhalten.

### Typen und Bauarten der Elektro-Emaillieröfen

Man kann zwei Typen von Elektro-Emaillieröfen unterscheiden:

1. Kammeröfen;
2. kontinuierliche oder Durchlauföfen.

Beide Arten werden ausschliesslich als Ofen mit indirekter Widerstandsheizung gebaut. Untersuchungen und Analysen während des Betriebes erbrachten den Nachweis, dass die Luftzusammensetzung im Ofen während des ganzen Prozesses unverändert bleibt; die ideale, am besten für den Brennprozess geeignete Atmosphäre bleibt im Widerstandsofen stets erhalten, auch ohne besondere Aufmerksamkeit oder Sorgfalt seitens des Bedienungspersonals.

Welcher der beiden Ofentypen in einem gegebenen Fall zu wählen ist, hängt von einer ganzen Reihe, durch die Eigenart des Betriebes bedingter Faktoren ab. Von den wichtigsten seien folgende erwähnt:

1. Grösse und Form der zu emaillierenden Waren,
2. Regelmässigkeit der Produktion und des Auftragseinganges, sowie ob sehr verschiedenartige oder mehr gleichförmige Artikel hergestellt werden,
3. Art des Arbeitsprozesses,
4. Elektrizitätspreis.

Im Grunde genommen müssten die emaillierten Gegenstände nach dem Einbrennen ebenso sorgfältig wie Glaswaren gekühlt werden, damit das Auftreten schädlicher Spannungen, hervorgerufen durch rasche Abkühlung, vermieden wird<sup>7)</sup>. Dies gilt sowohl für brennstoffgefeuerte als auch für elektrisch geheizte Emaillieröfen. Eine solche thermische Nachbehandlung der Emailwaren kann jedoch wohl in wirtschaftlicher Weise nur im kontinuierlichen Emaillierofen vorgenommen werden. Bei Anlagen mit Kammeröfen wäre dies nur durch Aufstellen separater Kühlöfen, ähnlich wie in der Glasindustrie, möglich. Dies dürfte sich jedoch schon aus wirtschaftlichen Gründen verbieten. Bei kontinuierlichen Emaillieröfen des Durchlauftyps ermöglicht nun die selbsttätige Temperaturregulierung nicht nur die Einhaltung einer bestimmten Temperatur, sondern es können regelrechte Temperaturkurven eingestellt werden, so dass bei dieser Ofenart der Brennprozess auch in seinem zeitlichen Verlauf genau festgelegt werden kann. Durch die Möglichkeit, das Einbrennen genau nach der theoretisch und praktisch besten Temperatur-Zeit-Kurve durchzuführen, kann der Ausschuss ganz bedeutend reduziert werden. Anderseits werden hierdurch auch die Kosten für die Energie pro Stück erheblich verringert.

### Elektro-Emaillierofen des Kammerofentyps

Während dem kontinuierlichen Durchlaufofen mehr spezielle Fälle und vor allem die Bewältigung

einer grossen und zum mindesten in gewissen Grenzen gleichförmigen und gleichartigen Produktion vorbehalten bleibt, stellt der Elektrokammerofen einen universell verwendbaren Ofentyp dar. Er bewährt sich in Anlagen, deren Emaillierbetrieb interminierenden Charakter hat, und auch dort, wo mit häufigen Unterbrüchen kürzerer Dauer gerechnet werden muss. Er eignet sich auch zur Bewältigung einer stark verschiedenenartigen Fabrikation, welche die heutigen Marktverhältnisse mit ständig wechselndem und veränderlichem Auftragseingang mit sich bringen.

In ein und demselben Elektroofen des Kammentyps können ohne Schwierigkeiten, wenn dies beim Entwurf des Ofens schon berücksichtigt worden ist, Emailwaren der verschiedensten Grösse, Gewicht und Form, als auch selbst der Brenn- und Email-eigenschaften behandelt werden, ohne eine Einbusse der Wirtschaftlichkeit des Ofens befürchten zu müssen. Der Elektrokammerofen ist überdies stets rasch betriebsbereit. Die Beschickung ist sauber und geht rasch vor sich.

Beim Entwurf eines Elektrokammerofens muss auch darauf Rücksicht genommen werden, dass man den Betrieb gegebenenfalls mehrere Tage hintereinander, wegen schwachen Bestellungseingangs oder aus anderen Gründen, sollte unterbrechen können, ohne dass hierdurch die Wiederaufheizzeiten allzu lang würden. Die Leerlaufverluste dürfen die Wirtschaftlichkeit des Betriebes nicht in Frage stellen oder wesentlich beeinträchtigen.

Gerade diese Forderungen lassen sich durch geeignete elektrisch beheizte Emaillieröfen des Kammentyps gut erfüllen und machen deshalb diese Ofenart unter der Voraussetzung annehmbarer Energiepreise für solche schwierigen Betriebsfälle besonders geeignet.

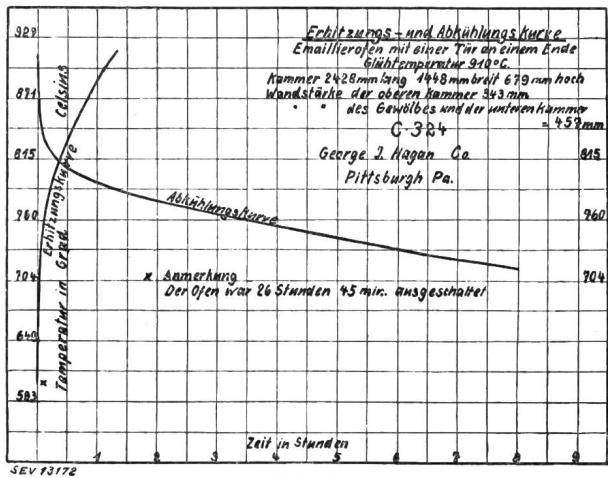
Bei flauem Betrieb sinkt der Energiebedarf des Elektroofens praktisch fast proportional mit der Produktion, während nur etwa 7...15 % des Vollastenergiebedarfs für die Aufrechterhaltung der Ofentemperatur und zur Deckung der Wärmeverluste erforderlich sind. Diese Verhältnisse liegen sehr ähnlich wie beim elektrisch beheizten Glaskühlofen. Demgegenüber verbraucht ein mit Kohle beheizter Emaillierofen etwa 40...60 % seines Vollastbedarfs an Brennmaterial zum Warmhalten während der Leerlaufzeit, wobei noch die zur Unterhaltung des Feuers erforderlichen Aufwendungen an Arbeitslöhnen kommen.

Die Praxis hat gezeigt dass nach dem durch das Wochenende bedingten Betriebsunterbruch, wobei die Energiezufuhr abgeschaltet wurde, und bei geschlossener Ofentüre der Elektrokammerofen am Montagmorgen nach einigen Stunden Aufheizzeit wieder betriebsbereit ist, so dass bei Schichtbeginn mit dem Emaillierbrennprozess sofort begonnen werden kann (Fig. 7).

In diesem Zusammenhang sind die Betriebsdaten eines in der Schweiz arbeitenden Elektro-Emaillierofens von Interesse. Der Ofen von 190 kW Anschlusswert wurde jeweilen am Samstag um 18 h bei Arbeitsschluss abgestellt, bei einer Ofentemperatur

<sup>7)</sup> Horowitz, Elektro-Kühlöfen, Glashütte 1935, Nr. 23...26.

von 820° C. Am Montag früh 3 h wurde der Ofen wieder eingeschaltet, und zwar nur mit der halben Ofenleistung von 95 kW. Um diese Zeit war die Ofentemperatur auf 520° C gesunken. Um 6 h 30 hatte die Ofentemperatur bereits 775° C erreicht, und es



Abkühlungs- und Wiederaufheizkurven eines Elektroemaillier-Kammerofens

wurde nun die ganze Ofenleistung eingeschaltet. Bei dem eine halbe Stunde später, d. h. um 7 h, stattfindenden Arbeitsbeginn wurde bereits die volle erforderliche Ofentemperatur von 870° C festgestellt. Aehnliche Erfahrungen wurden mit anderen Elektro-Emaillieröfen gemacht.

das Wiederaufheizen des Ofens am Montag früh die billige Nachtenergie auszunützen, was ebenfalls durch die Schaltuhr selbsttätig eingeleitet werden kann.

Es sei auch erwähnt, dass der Elektro-Emaillierofen rasch jeder Neueinstellung des Temperaturregulators folgt, da der Kammerofentyp eine kleine Wärmeträgheit aufweist. Man kann diese Eigenschaft gut ausnützen, denn dadurch ist es möglich, fast ohne Betriebsunterbrechung verschiedene Waren rasch hintereinander im gleichen Ofen mit der hierfür günstigsten Temperatur einzubrennen, trotzdem diese nach Warengattungen verschieden ist.

Fig. 8 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines elektrisch geheizten Emaillierofens des Kammentyps heutiger Bauart. Die Unterschiede der verschiedenen Fabrikate und Ausführungsformen betreffen hauptsächlich die Bauart und die Befestigung der Widerstände, sowie deren Einbau und Verteilung im Ofeninnern. Weitere Unterschiede bestehen in der Art und Ausführung der Temperaturregulierung, das Grundprinzip des Ofens bleibt aber stets dasselbe.

Fig. 9 und 10 zeigen Ausführungsbeispiele von Elektro-Kammeröfen. Beim Elektroofen ist es außerordentlich wichtig, dass die Beschickungseinrichtungen dem Fabrikationsprogramm gut angepasst sind, damit bei den verschiedenen Warengattungen rasch und rationell gearbeitet werden kann. Einsparungen in den Öffnungs- und Beschickungszeiten wirken sich gerade beim Elektroofen mit

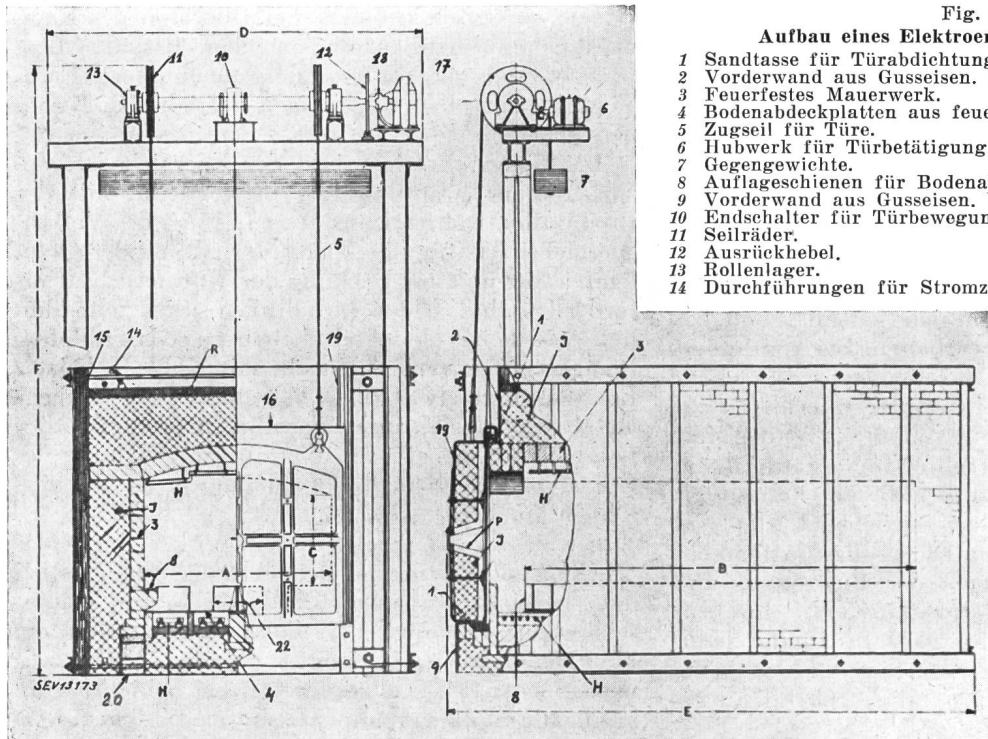


Fig. 8.

#### Aufbau eines Elektroemaillier-Kammerofens

- 1 Sandtasse für Türabdichtung.
- 2 Vorderwand aus Gusseisen. Oberteil.
- 3 Feuerfestes Mauerwerk.
- 4 Bodenabdeckplatten aus feuerfester Stahllegierung.
- 5 Zugseil für Tür.
- 6 Hubwerk für Türbetätigung mit Elektromotorantrieb.
- 7 Gegengewichte.
- 8 Auflageschienen für Bodenabdeckplatten.
- 9 Vorderwand aus Gusseisen. Unterteil.
- 10 Endschalter für Türbewegung.
- 11 Seilträger.
- 12 Ausrückhebel.
- 13 Rollenlager.
- 14 Durchführungen für Stromzuleitung.
- 15 Seitenverschalung.
- 16 Tür.
- 17 Reduziergetriebe.
- 18 Ausrückkupplung.
- 19 Führungsschienen für Tür.
- 20 Isoliersteine.
- 22 Öffnungen für Charriérechen.
- H Heizwiderstände.
- J Isoliermauerwerk.

Das Einschalten des Heizstromes während der Nachtzeit zwischen Samstag und Montag, sowie das sukzessive Wiedereinschalten der Heizleistung kann vollkommen selbsttätig durch einen Zeitschalter oder eine Schaltuhr erfolgen. Es ist vorteilhaft, für

seinem hohen Wärmewirkungsgrad und im Verhältnis hohem Energiepreis viel mehr aus als beim brennstoffgefeuerten Ofen.

Aus ähnlichen Gründen ist auch die rationelle Ausbildung des Rostes beim Elektroofen von we-

sentlichem Einfluss auf die Heizkosten und somit auf die Wirtschaftlichkeit. Der Rost bildet ja im Grunde genommen einen Teil der Chargiervorrichtung. Am günstigsten ist es, wenn der Rost ständig im Ofen verbleiben und die einzubrennende Ware

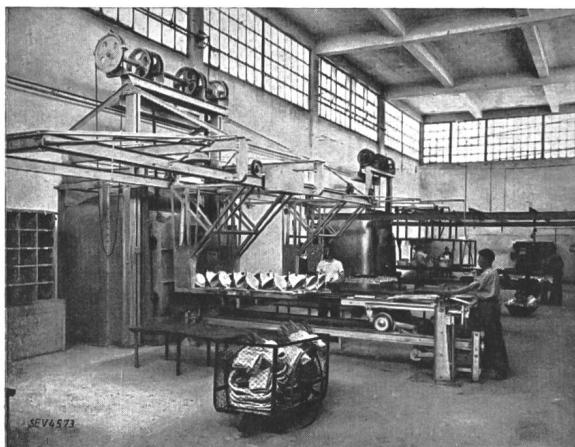


Fig. 9.

**Elektro-Brennofen-Anlage in einem schweizerischen Emaillierwerk**

2 Kammeröfen mit je 220 kW Anschlusswert. Brennraum 2,4 m tief, 1,2 m breit, 0,9 m hoch. Hydraulisch betätigtes Chargiervorrichtung (Wechselrost). Verschiebebühne für das seitliche Ablegen des Rostes mit Antrieb durch Elektromotor.  
Max. Ofentemperatur 975° C.

mittels des Beschickungsmechanismus auf diesen abgelegt werden kann. In diesem Falle werden zusätzliche Wärmeverluste vermieden. Fig. 11 zeigt das Innere eines solchen mit einem sog. Dauerrost versehenen Ofens. Muss jedoch der Rost zusammen

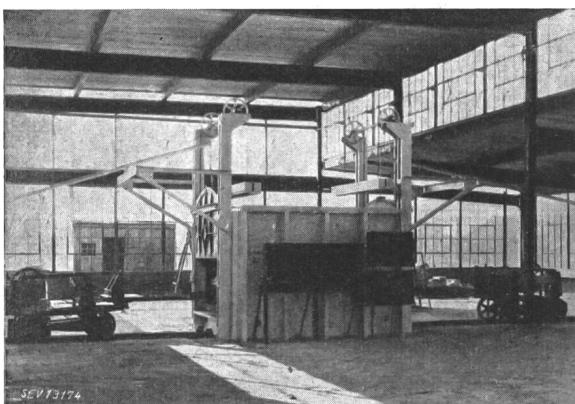


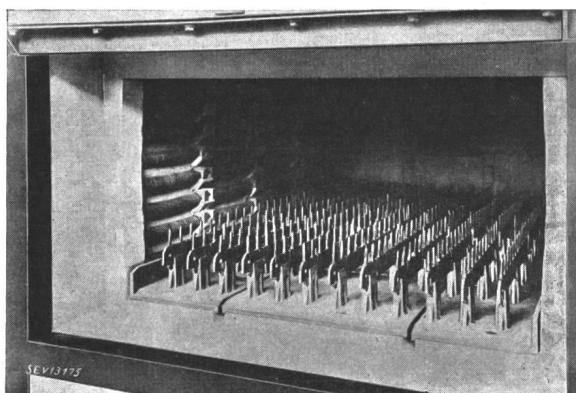
Fig. 10.

**Amerikanische Elektrokammerofen-Anlage für das Emaillieren von Ofenbestandteilen**

Bauart Hagan, Anschlusswert 240 kW, Brennraum 2,7×1,5×0,6 m.  
Max. Ofentemperatur 900° C. Ausführung mit beidseitiger Chargiervorrichtung.

mit dem Brenngut den Ofen verlassen, ausserhalb des Ofens entladen, und mit frischer Ware beschickt wieder in den Ofen gefahren werden, so entstehen pro Charge zusätzliche Wärmeverluste durch das ständige Abkühlen und Wiederaufheizen des Rostes. Diese Verlustquelle kann durch eine geeignete Konstruktion, die das Gewicht des Rostes soweit als nur möglichst reduziert, auf ein Mindestmass herabgesetzt werden.

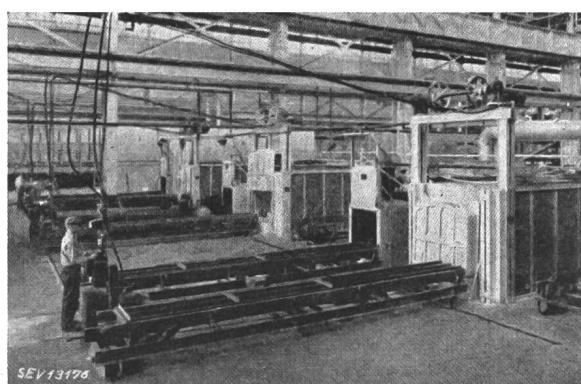
Fig. 12 zeigt eine interessante Anlage mit 3 Elektroeinbrennofen in einem amerikanischen Emaillierwerk, in dem Stahlblechkästen emailliert werden. Die Oefen haben jeder einen Brennraum von 3,6 m Länge, 1,2 m Breite und 0,45 m Höhe. Der An-



**Fig. 11.**  
**Brown-Boveri-Elektro-Emaillierofen mit Dauerrost**  
(Kammerofen)

Blick ins Innere der Brennkammer.

schlusswert eines Ofens beträgt 260 kW. Die Wärmeverluste bei geschlossener Ofentüre und bei einer Ofentemperatur von 830° C betragen ungefähr 21 kW, somit ca. 8,5 % des Anschlusswertes. Die Anlage umfasst auch 3 dampfgeheizte Trockenöfen zum Trocknen der nassgespritzten Bleche. In Fig. 10 sind diese Trockenöfen gut sichtbar. Je einer befindet sich links neben einem der Elektro-Emaillieröfen. Die nasse Ware gelangt auf einem Transportband



**Fig. 12.**  
**Amerikanische Elektro-Emaillierofen-Anlage mit 3 Kammeröfen von je 260 kW**

in die Trockenöfen. Ein weiteres Transportband zum Wegbringen der fertiggebrannten Bleche befindet sich rechts neben jedem Einbrennofen. Deren Enden sind ebenfalls zu sehen. Die im Vordergrund sichtbare Chargiervorrichtung besteht aus zwei nebeneinander angeordneten Rechen, die im Gleichtakt arbeiten. Der Abstand zwischen den beiden Rechen entspricht dem Abstand zwischen Trockenofen und Elektroemailierofen. Der Abstand zwischen Elektroofen und abgehendem Transportband ist ebenfalls gleich gross gewählt.

## Betriebsresultate verschiedener Elektro-Emaillierkammeröfen

Tabelle V.

Anlage	A	B <sup>8)</sup>	C
Anschlusswert des Ofens . . . . .	260 kW	220 kW	125 kW
Abmessungen der Brennkammern: Tiefe . . . . .	3660 mm	2400 mm	2100 mm
Breite . . . . .	1240 mm	1200 mm	1000 mm
Höhe . . . . .	457 mm	900 mm	350 mm
Warengattung . . . . .	Stahlblechplatten 1,5 m <sup>2</sup>	Diverse Emailwaren und Schilder	Herdbleche und Herdbestandteile
Stückgewicht . . . . .	18,15 kg	durchschnittlich 0,3 kg	0,5...3 kg
Stückzahl pro Charge . . . . .	4	—	15...30
Nettogewicht <sup>9)</sup> Ware pro Charge . . .	72,5 kg	—	15...45 kg
Betriebsart . . . . .	durchgehender Wochenbetrieb	durchgehender Wochenbetrieb	durchgehender Wochenbetrieb
Zahl der Arbeitsschichten pro Tag . . .	3 Schichten	3 Schichten	33 Schichten
Arbeitszeit pro Woche . . . . .	144 h	144 h	144 h
Rost . . . . .	verbleibt im Ofen	Wird mit Chargievorrichtung herausgefahren	
Zahl der ausgeführten Chargen pro h . .	9...12	—	10...15
Temperaturen im Trockenofen . . . .	100° C	—	—
Brennraumtemperaturen beim: a) Grundemailbrand . . . . .	860° C	870° C	900° C
b) Deckemailbrand . . . . .	830° C	825° C	830° C
Wöchentliche Produktion: Glühgut kg . . . . .	—	10 520 kg (ca. 400 kg/Std.)	—
Stückzahl . . . . .	—	—	—
Emailwaren 1mal gebrannt Gesamtnettogewicht <sup>9)</sup> . . . . .	98 100 kg 5 404 Platten	16 800 kg 50 750 Stück	9980 kg —
Anzahl Brände <sup>10)</sup> für Emailwaren fertig emailliert . . . . .	3 × gebrannt	Emailwaren 3 × Schilder 4 ×	3 × gebrannt
Energieverbrauch:			
Gesamtstromverbrauch pro Woche . . .	26 847 kWh	19 590 kWh	6780 kWh
Hiervon für Glühen insgesamt . . . . .	—	4 630 kWh	—
Hiervon für Glühen bezogen auf 1 kg Glühgut . . . . .	—	0,44 kWh/kg	—
Hiervon für Emailwaren insgesamt . . .	26 847 kWh	14 960 kWh	6780 kWh
bezogen auf 1 kg Nettoware <sup>9)</sup> für 1 Emailbrand . . . . .	0,276 kWh/kg	0,89 kWh/kg	0,68 kWh/kg
bezogen auf 1 m <sup>2</sup> 1mal gebrannter Emailfläche . . . . .	3,35 kWh/m <sup>2</sup>	—	—
mit 1 kWh wurde gegläht . . . . .	—	2,27 kg/kWh	—
mit 1 kWh wurden 1mal emailliert . . .	3,62 kg/kWh	1,12 kg/kWh	1,47 kg/kWh
mit 1 kWh wurden 1mal eingebrennt	ca. 0,3 m <sup>2</sup> /kWh	—	—
Mittlere Ofenleistung kW . . . . .	186 kW	130 kW	80 kW
Mittlere Ofenleistung % . . . . .	71,5 %	59 %	64 %

Die Chargievorrichtung führt auch seitliche Bewegungen aus. Die Arbeitsweise ist folgende. Beim Hineinfahren in die Oefen hebt der linke Rechen

<sup>8)</sup> Auf Grund von Angaben, die von der Erstellerin, der A.G. Brown, Boveri & Cie., Baden zur Verfügung gestellt wurden, berechnet.

<sup>9)</sup> Unter Nettoware wird das Gewicht des Brenngutes ohne Rost oder anderer Hilfseinrichtungen wie Brennspitzen usw. verstanden.

<sup>10)</sup> inkl. Grundemailbrand.

die im Trockenofen getrocknete Rohware hoch, während der rechte Rechen die fertig gebrannten Emailbleche aus dem Emaillierofen herauftaucht. Die beiden Rechen fahren nun zurück, die ganze Chargievorrichtung verschiebt sich um den Abstand der beiden Oefen nach rechts, die beiden Rechen werden nach vorn geführt, der linke beschickt den Elektroemaillierofen, während der rechte die Fertigware auf dem Transportband ablegt. Sämtliche Bewegun-

gen werden durch elektrischen Antrieb bewerkstelligt. Die Steuerung des ganzen Aggregats erfolgt von einer Stelle aus.

Die sehr interessanten Betriebsdaten dieser Ofenanlage sind in Tabelle V zu finden (Kolonne 1, Ofenanlage A). Sie stellen einen Wochendurchschnitt

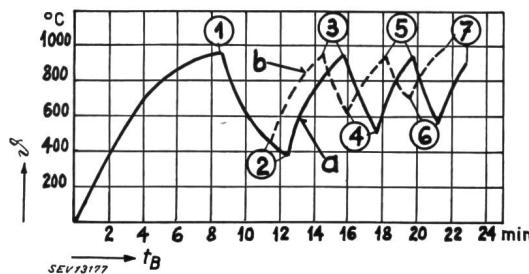


Fig. 13.

- Fig. 2.

**Temperatur des Brenngutes beim Puderverfahren**

  - 0—1 Einbrennen der Grundemailschicht.
  - 1—2 Erstes Pudern.
  - 2—3 Einbrennen der ersten Puderemail-Schicht.
  - 3—4 Zweites Pudern.
  - 4—5 Einbrennen der zweiten Puderemail-Schicht.
  - 5—6 Drittes Pudern.
  - 6—7 Einbrennen der dritten Puderemail-Schicht.
  - Kurve a gusseiserne Badewannen.
  - Kurve b grosse gusseiserne Waschkessel.
  - $t_b$  Brennzeit.
  - $\vartheta$  Temperatur.

dar. Zu deren Ergänzung sei noch hinzugefügt, dass für diese Betriebsperiode der Wärmeverlust durch das Offenhalten der Beschickungstüre des Emaillierofens mit ca. 1 kWh pro Ofen für jede Beschickung ermittelt wurde. Dies entspricht ca. 5 % des Gesamtwärmeaufwandes.

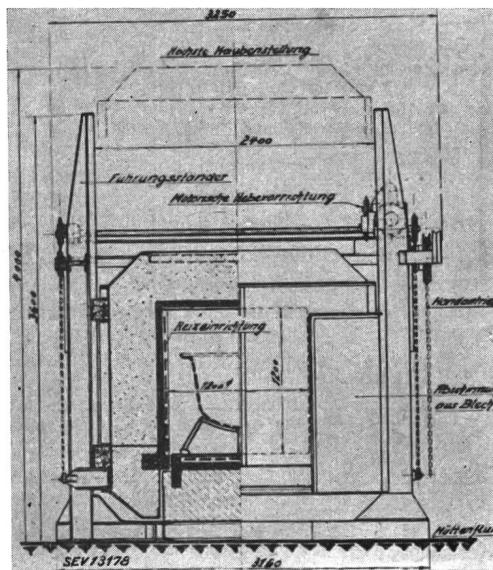


Fig. 14.

**Fig. 14.**  
**Spezial-Elektro-Emallierofen für das Einbrennen von grossen  
gusseisernen Waschkesseln nach dem Puderverfahren**  
Haubenofen mit rundem Ofenraum, Ø 1,2 m.  
Anschlusswert 120 kW.

Die Betriebsresultate der in Fig. 9 gezeigten Ofen-anlage eines schweizerischen Emailierwerkes sind in Kolonne B der gleichen Tabelle V zusammenge-stellt. Als dritte wurde eine in Frankreich stehende Anlage aufgenommen. Beim vor allem für Guss-waren angewendeten Puderverfahren werden die

Deckemailschichten sofort nach dem Herausfahren aus dem Ofen auf die rotglühenden Gegenstände aufgestäubt (aufgepudert) und durch rasches Wiedereinführen in den Ofen nacheinander aufgeschmolzen (Fig. 13). Fig. 14 zeigt einen als Haubenofen mit zylindrischem Brennraum ausgebildeten Spezialofen von 120 kW Anschlusswert für das Emaillieren von runden Gusswaschkesseln nach dem Puderverfahren.

Aus betriebstechnischen Gründen ist man bestrebt, einen Fabrikationsgang zu erreichen, bei dem die Ware die verschiedenen Bearbeitungsstufen auf einem möglichst kurzen Weg durchläuft, ohne Kreuzungen oder Umwege. Dies wird bei Kammeröfen der üblichen Bauart durch die Notwendigkeit erschwert, den Ofen an derselben Stelle mit Rohware beschicken zu müssen, an der auch das Fertigprodukt abgeladen wird.

Um den Kammentyp dieser Forderung anzupassen, wird dieser auch mit Türen und Beschickungseinrichtungen an beiden Stirnseiten ausgeführt (Fig. 10). Auf diese Weise ist es möglich, auf der einen Seite den Ofen mit der Rohware zu beschicken und auf der andern das Fertigprodukt abzutransportieren.

## **Der kontinuierliche oder Durchlauf-Elektro-Emaillerofen**

Die Forderung nach möglichst rationellen Fabrikationsmethoden führte auch in vielen Werken der Emaillierindustrie zum Fliessbetrieb mit laufendem Band. Das Bestreben ging aus den gleichen Gründen bald dahin, auch den Emaillierofen in die Fliess-

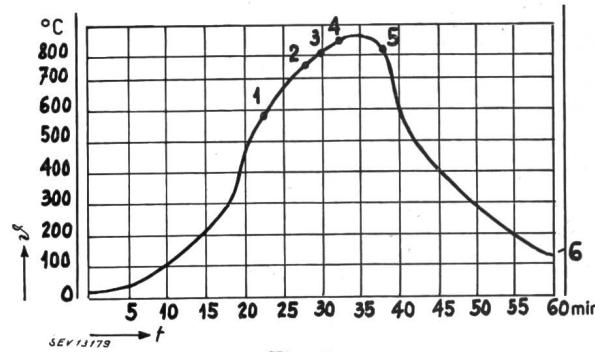


Fig. 15.  
**Brennkurve in einem kontinuierlichen Elektro-Emaillofen  
in U-Form**

- in U-Form

Durchlauf des gesamten Weges im Ofeninnern 16,5 m  
innert 60 min.

Temperatur-Zeit-Kurve in der Mitte des Brenngutes gemessen.

  - 1 Beginn der Heizzone.
  - 2 Eintritt in Umkehrende.
  - 3 Ofenmitte.
  - 4 Ende der Umkehrzone.
  - 5 Austritt der Brennzone.
  - $t$  Zeit.
  - $\vartheta$  Temperatur.

fertigung einzubeziehen. Diese Entwicklung führte zum Bau der sogenannten kontinuierlichen oder Durchlauf-Emaillieröfen, bei denen das Brenngut auf einer Fördervorrichtung oder Hängebahn durch den Ofen wandert. Dieser Ofentyp ist vor allem in jenen Fällen geeignet, wo es sich darum handelt, eine grosse und gleichartige Produktion zu bewältigen, d. h. vor allem bei Massenerzeugung. Ihr haftend

*Konstruktionsdaten und Betriebsresultate  
eines U-förmigen Durchlauf-Elektro-Emaillierofens*  
Tabelle VI

Anschlusswert . . . . .	300 kW
Stromart . . . . .	Drehstrom 3×220 V
Aussenabmessungen des Ofens (ohne Fördereinrichtung)	
Gesamtlänge . . . . .	17 000 mm
Breite der Heizkammer . . . . .	3 960 mm
Höhe der Heizkammer . . . . .	3 660 mm
Breite des Eintrittendes . . . . .	3 050 mm
Höhe des Eintrittendes . . . . .	2 130 mm
Aufheizen des Ofens	
Dauer . . . . .	10½ h
Strombedarf . . . . .	3150 kWh
Betriebsart . . . . .	Durchgehender Wochenbetrieb
Warengattung . . . . .	Herdbleche u. Herdbestandteile aus Stahlblech
Stückgewicht . . . . .	0,5...1,5 kg
Grösse der Stücke . . . . .	0,3...1,0 m <sup>2</sup>
Einbrenntemperaturen	
Grundemailbrand . . . . .	871° C
Deckemail je nach Emailart . . . . .	815...838° C
Durchgehende Arbeitszeit pro Woche . . . . .	168 h
Wöchentliche Produktion:	
Gesamtnettogewicht der Ware . . . . .	156 350 kg
Gesamtoberfläche 1 × gebrannt . . . . .	16 528 m <sup>2</sup>
Gesamtgewicht der Tragroste . . . . .	123 420 kg
Ausschuss insgesamt . . . . .	1,06 %
Energieverbrauch	
Gesamtstromverbrauch pro Woche bezogen auf 1 kg Nettoware . . . . .	39 775 kWh
bezogen auf 1 m <sup>2</sup> 1 × . . . . .	0,254 kWh/kg
Gebrannter Email flach mit 1 kWh wurden emailliert kg	2,40 kWh/m <sup>2</sup>
Mittlere Ofenleistung . . . . .	3,93 kWh/kg
Mittlere Ofenleistung % . . . . .	237 kW
	79 %

natürlich die bekannten Vor- und Nachteile des Fließbetriebes an.

Auch hier ist der elektrisch beheizte kontinuierliche Durchlauf-Emaillierofen dem brennstoffgefeuerten

feuerten in der Anpassungsfähigkeit an die Brennbedingungen verschiedenartiger Emailwaren sehr überlegen. Die selbsttätige Temperaturregulierung des in eine grössere Zahl unabhängig voneinander einstellbarer Heizzonen unterteilten Elektrofens erlaubt, jede gewünschte Temperaturkurve einzustellen und einzuhalten. Der kontinuierliche Elektrofen hat jedoch an und für sich eine wesentlich grössere Wärmeträgheit als ein Kammerofen. Dies ist schon durch die Bauart bedingt. Die Umstellung des Durchlaufofens von einer Warengattung auf eine andere benötigt deshalb auch mehr Zeit. Gegenüber dem brennstoffgefeuerten Durchlaufofen ist jedoch diese benötigte Umstellungszeit bei der Elektroheizung wesentlich kürzer. Vor allem kann auch die neue Brennkurve genau eingestellt und deren Einhaltung genau kontrolliert werden (Fig. 15 und Fig. 16).

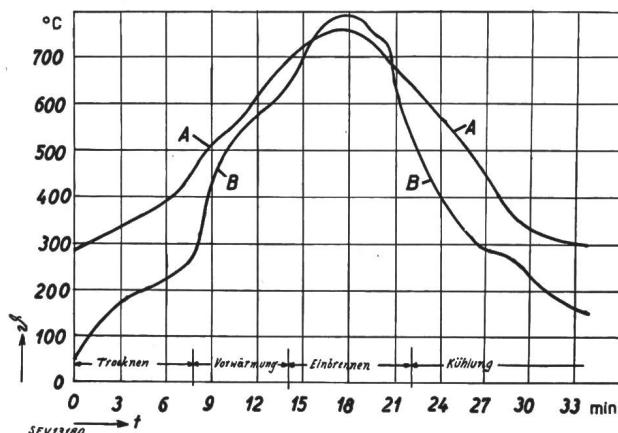


Fig. 16.  
Brennkurve in einem kontinuierlichen Emaillierofen mit Brennstofffeuerung

A Temperatur im Gewölbe gemessen.  
B Temperaturverlauf in Bodennähe gemessen.  
t Zeit.  
θ Temperatur.

Die Durchlauf-Emaillieröfen werden entweder als Tunnelöfen mit gerader Ofenachse oder auch in sogenannter U-Form gebaut. Besonders die U-förmigen Ofen haben den Vorteil, in einfacher Art und Weise

*Betriebsergebnisse kontinuierlicher Elektro-Emaillieröfen (U-Ofen)*

Tabelle VII.

Anlage No.	Anschlusswert des Ofens kW	Brenngut	stündlicher Durchsatz		Verhältnis Brennhilfsmittel zu Nettoware	stündlicher Energieverbrauch kWh/h	Spezifischer Energieverbrauch		
			brutto <sup>2)</sup> kg/h	netto kg/h			brutto <sup>2)</sup> kWh/kg	netto kWh/kg	netto kWh/m <sup>2</sup>
1	—	Gusseisernes Küchengeschirr . . . . .	2060	454	35 : 10	324	0,157	0,714	—
2	—	Graues Emailgeschirr aus Stahlblech . . . . .	5540	1130	39 : 10	580	0,105	0,512	—
3	550	Herdbleche . . . . .	—	2360	—	450	—	0,19	—
4	660	Emailschilder . . . . .	6250	4200	5 : 10	640	0,102	0,153	—
5	350...400 <sup>1)</sup>	Ofenbestandteile . . . . .	—	—	—	—	0,13...0,15	0,25...0,28	—
6	620	Külschränke und Bestandteile . . . . .	2940	2150	3,7 : 10	425	0,145	0,2	—
7	225	Gusseisenteile . . . . .	1360	1140	2 : 10	200	0,147	0,176	—
8	300	Herdbleche und Herdbestandteile . . . . .	1670	930	8 : 10	236	0,142	0,254	2,40

<sup>1)</sup> Durchschnittswerte mehrerer Ofenanlagen.

<sup>2)</sup> Gesamtdurchsatz durch den Ofen, Brenngut und Brennhilfsmittel (Hängegestelle usw.).

die Möglichkeit zu bieten, die Eigenwärme der fertig gebrannten Emailwaren für die Trocknung und Vorwärmung des Brenngutes auszunützen zu können. Fig. 17 zeigt schematisch den Grund- und Aufriss eines solchen U-förmigen Emaillierofens amerikanischer Bauart.

In Tabelle VI sind die Konstruktionsdaten eines solchen Durchlauf-Elektroofens mit einem Ausschlusswert von 300 kW zusammengestellt. In Ame-

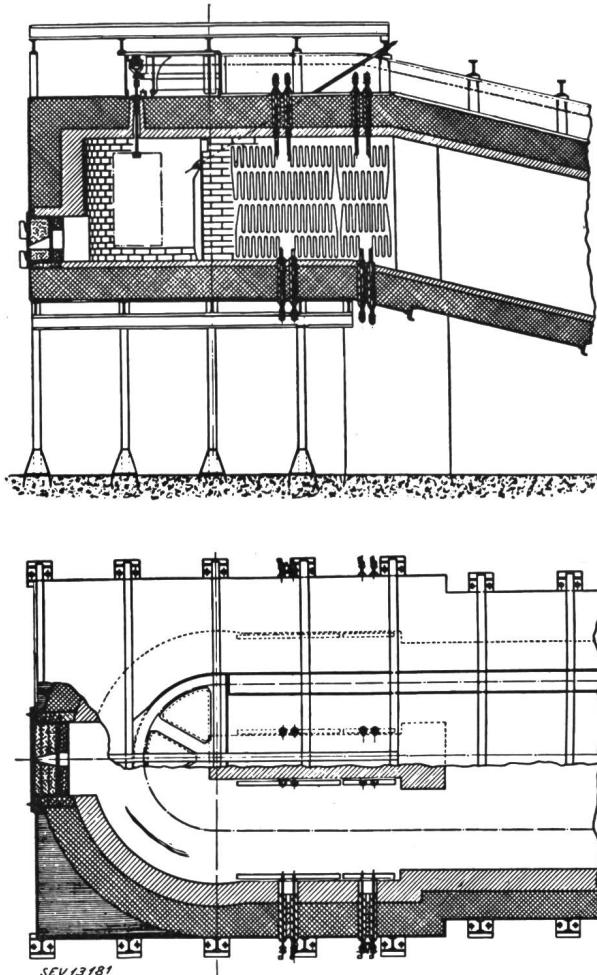


Fig. 17.

Grund- und Aufriss des Oberteils eines kontinuierlichen Elektro-Emaillierofens in U-Form

rika steht bereits eine grosse Zahl solcher U-Ofen in Betrieb, mit Ausschlussleistungen bis zu 1200 kW. Sie haben sich gut bewährt (vgl. Tabelle VII und Fig. 18). Auch in Europa wurden in grossen Emailierwerken bereits eine ganze Reihe kontinuierlicher Emaillieröfen aufgestellt. Ein gerader Ofen von 7 m Länge, der zum Einbrennen von beidseitig emaillierten Schildern bestimmt ist, wurde von einer Schwei-

zer Firma nach Frankreich geliefert. Der Anschlusswert beträgt 450 kW. Die Fördervorrichtung besteht aus einer Hängebahn mit Kette, an der die Schilder mit S-förmigen Haken aufgehängt werden. Die Anlage arbeitet nach dem Taktsystem. Während des Brennprozesses, der etwa 6...8 Minuten dauert, je nach Emailart und Farbe, steht die Transportbahn still, um sodann um einen Schritt von 7 m Länge weiterzurücken. Um ein sanftes Anfahren und Anhalten zu erreichen, ohne dass die Schilder ins Schaukeln geraten, erfolgt das Anlassen und Abstellen der Antriebsvorrichtung progressiv mittels einer Stufenschaltung. Nach Angaben der Erstellerfirma beträgt der Energieverbrauch pro kg Nettoware 0,3...0,45 kWh/kg.

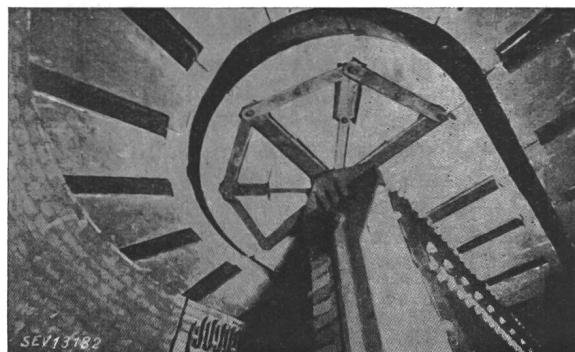


Fig. 18.

Kontinuierlicher Elektro-Emaillierofen in U-Form  
Blick auf die Gewölbedecke im Umkehrteil der Heizzone.

Der Ofen hat an der Decke unter der Hängebahn einen Spalt in der Richtung der Ofenachse, um den Durchlauf der Befestigungshaken mit den daranhängenden Schildern zu ermöglichen. Eine Rekuperationsvorrichtung benutzt die durch diese Öffnung verursachten Wärmeverluste, indem die austretende Warmluft aufgefangen und zur Trocknung und Vorwärmung des Emailgutes in einen Vorheitzunnel geleitet wird. Der Emaillierofen ist in 5 Heizzonen unterteilt, die ebenso wie die Bodenheizung je mit einer separaten Temperaturregulierung ausgerüstet sind.

Im allgemeinen liegen die mit kontinuierlichen Emaillieröfen erzielten Betriebsresultate eher unter dem spez. Energieverbrauch, der mit Kammeröfen erreicht wird, trotz den Wärmeverlusten durch die Fördereinrichtung bzw. Hängebahnen usw. (vgl. Tabelle VII). Diese günstigen Ergebnisse können allerdings nur erreicht werden, wenn diese Anlagen angemessen ausgenutzt werden.

#### Adresse des Autors:

J. Horowitz, Ingenieur, Postfach 30000, Olten.