

**Elektrotunnelöfen
mit Korbförderung
in der keramischen Industrie**

Von
Dr.-Ing. Rudolf Buchkremer

Sonderdruck aus Sprechsaal für Keramik · Glas · Email
Fach- und Wirtschaftsblatt

83, (1950) · Nr. 7

Druck und Verlag: Verlag des Sprechsaal Müller & Schmidt, Coburg

Elektrotunnelöfen mit Korbförderung in der keramischen Industrie

Von Dr.-Ing. Rudolf Buchkremer, Nürnberg

Zum Farbeinbrennen auf Porzellan hat sich der Elektrotunnelofen mit Korbförderung in der deutschen Porzellanindustrie in den letzten Jahren immer mehr eingeführt. Nicht nur die allgemeinen Vorteile des elektrischen Brennens, der Sauberkeit, der bequemen Bedienung, der Temperatungleichmäßigkeit, des zuverlässigen, stets gleich guten Ausfalles des Brandes, sondern ebenfalls die reinen Brennkosten machen in den meisten Fällen den Elektrotunnelofen gegenüber den brennstoffbeheizten Fürbringer-muffeln überlegen. Der Tunnelofen mit Korbförderung ist ebenfalls in der keramischen Industrie zum Glasurbrand bei Temperaturen von 1000° C aufgestellt worden, und zwar zum Brennen von Kunstkeramik und Glasurbrand von Elektrosteatitwaren¹⁾.

Zum Schrühbrand von Porzellan läuft ebenfalls ein Elektroofen mit Korbförderung²⁾.

I. Ausführung und Arbeitsweise der Öfen.

Die Tunnelöfen mit Korbförderung bestehen aus ein, zwei oder mehreren Ofenbahnen, durch die die Brennwaren in Körben aus hitzebeständigem Stahl gefördert werden. Die Körbe werden durch den Ofen gezogen oder gedrückt. Beide Konstruktionen haben sich bewährt, wenn die Körbe aus einem zunderbeständigen Chrom-Nickelstahl mit hoher Warmfestigkeit hergestellt wurden. Die Körbe gleiten über Schienen, Rohren oder Rollen durch den Ofen. Die Heizung befindet sich vor den Seitenwänden und im Boden des Ofens. Je nach der gewünschten Brennkurve hat der Ofen ein, zwei oder drei getrennt für sich regelbare Heizgruppen. Am Ende der Ofenbahn wird Luft zur Abkühlung der Brennware eingeblasen. Die Kühlluft erwärmt sich beim Vorbeistreichen an den Brennwaren und Stahlkörben. Sie kann so eingestellt werden, daß die Brennware weitgehend unabhängig von der Ofenzeit der Brennware handwarm den Ofen verläßt. Wenn die erwärmte Kühlluft in die Heizzone des Ofens eintritt, hat sie ungefähr die Temperatur des

1) Rudolf Buchkremer: Der Elektrokleintunnelofen mit Wärmerückgewinnung. Sprechsaal, **73** (1940), Nr. 25.

2) H. Masukowitz: Elektrisches Brennen von weißem Porzellan. Keram. Rundsch., **43** (1935), Nr. 2 und 3.

Brenngutes erreicht. In der Vorwärmzone des Ofens hat die Luft die Aufgabe, die Dämpfe aus den Farben und Glasuren oder die Wasserdämpfe bei rohen Brennwaren fortzuschaffen, das Brenngut gleichmäßig vorzuwärmen und hierdurch einen Teil der in der Brennware und in den Körben durch den Brennprozeß aufgespeicherten Wärme zurückzugewinnen. Bei den ersten Tunnelöfen mit Korbförderung war die Heizung nur in der Mitte des Ofens vorgesehen, wodurch in der Vorwärmzone des Ofens ein großer Temperaturunterschied in der Höhe des Ofens auftrat. Während die Brennware oben im Korb ziemlich gleichmäßig aufgeheizt wurde, ging der Temperaturanstieg unten im Korb zunächst nur sehr langsam vor sich, um bei Eintritt in die Heizzone plötzlich anzusteigen und die Temperatur oben im Ofen in kurzer Zeit einzuholen. Es mußten daher die Körbe mit Ofenzeiten von 3—4 Stunden durch den Ofen gefördert werden, um unten im Korb ein Reißen von Farbdrucken zu vermeiden, die einen plötzlichen Temperaturanstieg nicht vertragen können.

Abb. 1 zeigt den Temperaturverlauf in einem Tunnelofen mit Korbförderung zum Farbeinbrennen auf Porzellan mit dem großen Temperaturunterschied in der Vorwärmzone.

Um in der Vorwärmzone auch in der Höhe eine vollkommen gleichmäßige Temperatur zu erreichen, wird eine besondere Vorwärmheizung und regelbare Absaugung der durch den Ofen streichenden Luft vorgesehen.

Abb. 2 zeigt den Erfolg dieser Verbesserung des Ofens auf den Temperaturverlauf im Ofenquerschnitt. Hierdurch konnten die kurzen Ofenzeiten von 5 und 6 Minuten Schub-

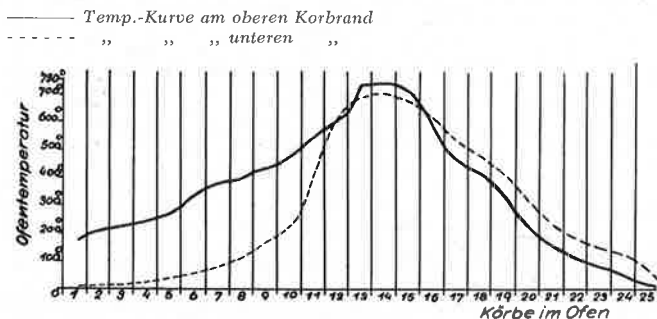


Abb. 1. Temperaturverlauf im Tunnelofen mit Korbförderung zum Farbeinbrennen auf Porzellan ohne Vorwärmzone.

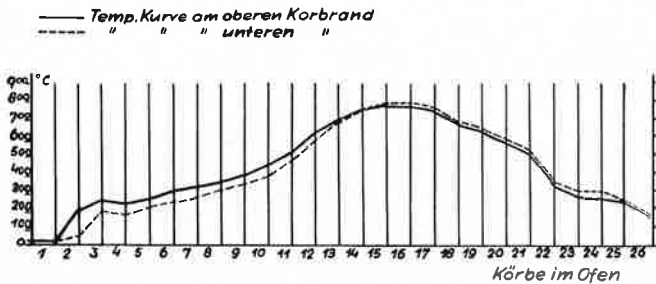


Abb. 2. Temperaturverlauf im Tunnelofen mit Korbförderung zum Farbeinbrennen auf Porzellan mit Vorwärmzone.

zeit erreicht werden. Der Rücktransport der Körbe nach dem Brennprozeß vom Entnahme- zum Beschickungsende wird meistens durch eine parallel zum Ofen laufende Rücklaufbahn auf Schienen oder Rollen durchgeführt.

Abb. 3 zeigt das Ausfahrtende eines Zweibahntunnelofens zum Farbeinbrennen auf Porzellan. Die Körbe werden durch eine Förderkette zum Einlaufende hingezogen. Bei dem Tunnelofen in Abb. 4 wird der Rücktransport der Körbe auf einer Rollenbahn vorgenommen. Der Transport der Körbe von der Ofenbahn auf die Rücklaufbahn und umgekehrt wird durch eine kleine Schiebebühne vorgenommen, so daß ein Aufheben der Körbe nicht mehr nötig ist. Diese Rollenrücklaufbahn befindet sich vor dem Ofen. Die Körbe werden nach Verlassen des Ofens auf die Rücklaufbahn geschoben und können hier gegebenenfalls noch einige Zeit vor dem Entleeren stehen bleiben, wenn z. B. bei schwerer Beschickung der Körbe bei kurzen Schubzeiten das Brenngut noch nicht bis zur Handwärme abgekühlt ist. Es ist ebenfalls vorteilhafter, wenn am Beschickungsende des Ofens auf der parallelen Rollenbahn die Körbe schon beschickt werden können. Das Bedienungspersonal des Ofens kann sich dann die Arbeitszeit viel günstiger einteilen.

Bei den Öfen mit Stoßvorrichtung kann die Überführung der Körbe von der Ofen- zur Rücklaufbahn sowie nach Erfordernis ein Teil der Rücklaufbahn noch ummantelt werden, um einen Teil der Abkühlzone auf die Rücklaufbahn zu verlegen und auf diese Weise die geradlinige Länge des Ofens zu reduzieren, wie Abb. 5 bei einer Anlage zum Brennen von Kunstkeramik erkennen läßt.

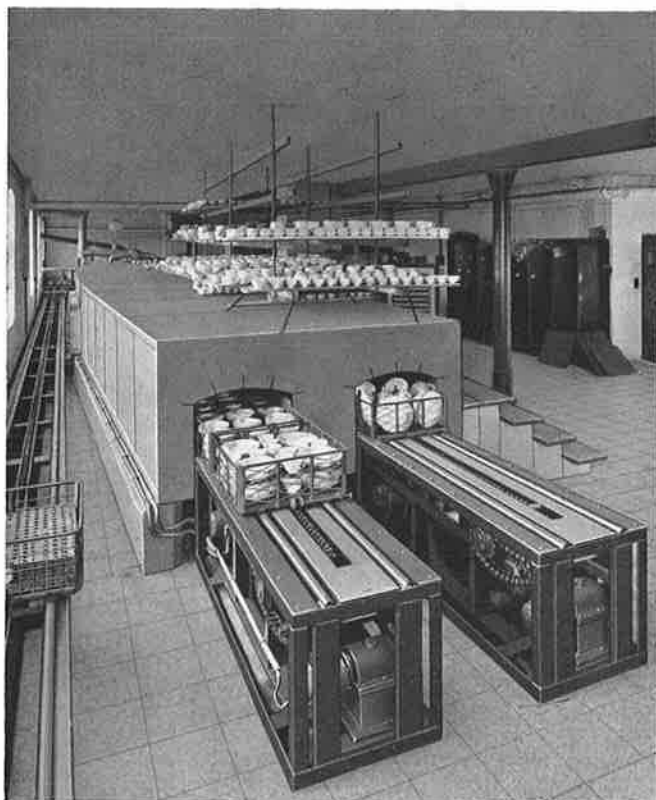


Abb. 3. Zweibahntunnelofen zum Farbeinbrennen auf Porzellan vom Ausfahrtende her gesehen.



Abb. 4. Tunnelofen mit Rollenrücklaufbahn.

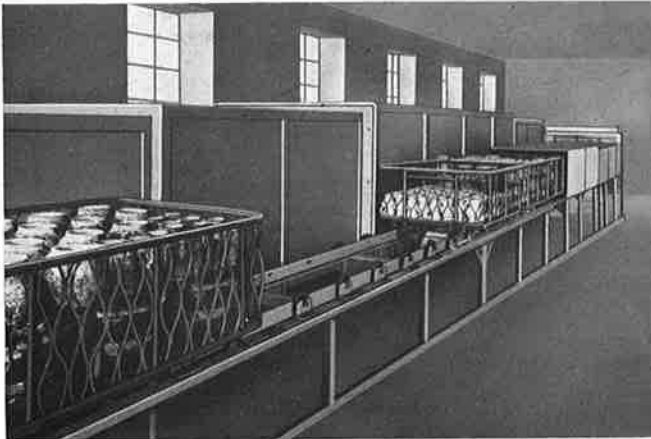


Abb. 5. Tunnelofen mit Korbförderung zum Brennen von Keramik
mit ummantelter Rücklaufbahn.

Bei Zweibahnöfen kann auf die Rücklaufbahn verzichtet werden, wenn an jedem Ofenende die eine Bahn das Entnahme- und die andere das Beschickungsende hat. Es wird jedoch bevorzugt, die Körbe bei beiden Bahnen in gleicher Richtung laufen zu lassen.

Durch die Möglichkeit des gleichmäßigen Erwärmens und Abkühlens kann bei den Tunnelöfen mit Korbförderung eine verhältnismäßig kurze Ofenzeit gewählt werden. Beim Farbeinbrennen auf Porzellan liegen die Ofenzeiten zwischen 2 und 4 Stunden. Das sind Schubzeiten eines Korbes von 4—10 Minuten, entsprechend einer stündlichen Leistung bis zu 15 Schmelzkörben je Ofenbahn. Bei Keramikware, besonders beim Brand roher Ware, ist eine Ofenzeit von 5 bis 8 Stunden erforderlich. Die Anzahl des Bedienungspersonals der Öfen ist bei den einzelnen Firmen sehr unterschiedlich, je nachdem wie dicht die Körbe gefüllt werden. Beim Farbeinbrennen auf Porzellan kann bei 10—15 Schüben in der Stunde je Bahn mit 2 Mann Bedienung zum Beschicken und Entleeren der Körbe gerechnet werden. Eine besondere Bedienung des Ofens gibt es nicht. Jede gewünschte Brenntemperatur kann an den Temperaturreglern eingestellt werden, die dann im Ofen konstant gehalten wird.

II. Wirtschaftlichkeit der Elektrotunnelöfen mit Korbförderung.

1. Stromverbrauch. In der Porzellanindustrie ist man gewohnt, die Brennkosten je Korb anzugeben, da die Körbe überall die gleichen Abmessungen von 600 mm Breite, 600 mm Länge bei geringen Schwankungen in der Höhe von durchschnittlich 230 mm Höhe haben. Die Kohlekosten werden von einzelnen Porzellanfabriken sehr unterschiedlich angegeben, sie schwanken zwischen Angaben des Kohlebedarfs je Korb von 3—10 kg und von 10—50 \mathcal{M} /Korb. Die unterschiedlichen Angaben über die Brennkosten hängen nicht nur von dem Alter und der Güte der Ofenanlage ab, sondern ebenfalls von den einzelnen Brennbedingungen. Untersuchungen an Elektroöfen zeigen den Einfluß des Beschickungs- und Korbgewichts, der Brenntemperatur, der Schubzeit und der Ofenverluste auf den Stromverbrauch. Den Haupteinfluß auf den Stromverbrauch je Korb üben das Gewicht des Brenngutes und des Korbes aus, wie die Tabelle I erkennen läßt.

Tabelle I

Einfluß des Beschickungs-Korbgewichtes und der Brenntemperatur auf den Stromverbrauch je Korb (Tag- und Nachtbetrieb)

Beispiel	Gewicht von Korb		Porzellan- gewicht	Stromverbrauch je Korb in kWh bei		
	+Aufbau-Material			700° C	800° C	850° C
Nr.	in kg		in kg			
1	16		12	3,5	4,03	4,25
2	16		18	4,3	5,03	5,25
3	25		25	5,96	6,93	7,16
4	32		35	8,95	9,3	9,75

Da die Ofenverluste nur sehr gering sind und der Wirkungsgrad des Elektrotunnelofens rund 90 % beträgt, hat die Schubzeit auf den Stromverbrauch, wie die Tabelle II zeigt, keinen großen Einfluß.

Tabelle II

Einfluß der Schubzeit auf den Stromverbrauch je Korb (18 kg Porzellanbeschickung bei Tag- und Nachtbetrieb)

Schubzeit in Minuten	Stromverbrauch kWh / Korb	Schubzeit in Minuten	Stromverbrauch kWh / Korb
10	5,2	6	4,9
8	5,0	5	4,8

Die Wirtschaftlichkeit des Tunnelofens wird sehr stark beeinträchtigt, wenn der Ofen nicht Tag und Nacht kontinuierlich durchgearbeitet, wie dies in den letzten Jahren meistens der Fall war. Der Ofen muß bei Nachtbetrieb täglich neu aufgeheizt werden. Das Mauerwerk ist nach Erreichung der Temperatur im Ofen noch lange nicht vollkommen durchwärmt, so daß immer noch eine weitere Wärmespeicherung des Mauerwerks vor sich geht. Eine Aufstellung des Stromverbrauchs je Korb im Laufe der Nacht bei einem Ofen mit Nachtbetrieb zeigt die Tabelle III.

Tabelle III

Stromverbrauch je Korb bei Nachtbetrieb in Abhängigkeit von der Durchwärmung des Ofenmauerwerkes

Zeit	kWh / Korb	Bemerkung
18.30		
20.00—21.00	12	Strom wird eingeschaltet
21.00—22.00	11	Beginn des Korbschiebens
22.00—23.00	9,8	
23.00—24.00	9,0	
24.00— 1.00	8,2	
1.00— 2.00	7,8	
2.00— 3.00	7,5	
3.00— 4.00	7,2	
4.00— 5.00	7,0	
5.00— 6.00	6,8	

Tabelle IV

Nachtstrombetrieb eines Tunnelofens zum Farbeinbrennen auf Porzellan

Korb 14 kg
 Einlegeblech 2 „
 Porzellan 18 „
 Gesamtgewicht / Korb 34 kg

Datum	Zeit	Ofentemperatur		Schubzeit	Anzahl Körbe	Stromverbrauch kWh	Stromverbrauch in kWh / Korb		Aufheizzeit	Stromverbrauch kWh / kg				
		I. Heizgruppe	II. Heizgruppe				Aufheizen	Schmelzen		Schmelzen	Gesamt			
11. 4.	18.15	20°	20°	10'	—	—	5,8	8,0	3,45 h					
	22.00	680°	770°									279		
	6.00	680°	770°									381		
12. 4.	18.30	260°	270°	10'	56	135	2,6	6,6	2 h					
	20.30	670°	760°									378		
	0.00	670°	760°									513		
13. 4.	13.20	300°	330°	10'	36	90	1,15	1,84	1,40 h					
	15.00	670°	760°									264		
	21.00	670°	770°									252		
14. 4.	5.06	670°	770°	78	606	1,15	6,65	7,8						
	5.00	670°	770°	55	306	—	5,57	5,57	0 h	0,164	0,31			
14. 4.	13.00	670°	770°	60	300	—	5,00	5,00		0,147	0,278			
	21.00	670°	800°	45	243	0	5,4	5,4						
	5.30	670°	800°	160	849	0	5,3	5,3						

Tabelle IV gibt näheren Aufschluß über die Verhältnisse beim Nachtstrombetrieb des Tunnelofens.

Am ersten Tag benötigt eine Ofenbahn zum Aufheizen des kalten Mauerwerks auf 770° C 279 kWh, so daß in dieser Nacht der Stromverbrauch je Korb 13,8 kWh beträgt. Tagsüber fällt die Temperatur im Ofen auf 270° C wieder ab. Der Aufheizstrom beträgt in der zweiten Nacht 135 kWh und in der dritten Nacht 90 kWh, entsprechend der höheren Ofentemperatur beim Beginn des abendlichen Aufheizens. Bei ständigem Nachtbetrieb kann mit ca. 80 kWh Aufheizstrom jeden Abend gerechnet werden. Der Stromverbrauch je Korb ist am nächsten Tag, an dem schon seit dem dritten Tag durchgebrannt wird, auf 5,3 kWh/Korb gefallen. Die günstigste Brennweise, ob kontinuierlicher Tag- und Nachtbetrieb oder nur Nachtbetrieb, hängt sehr von den Stromverträgen ab. In den meisten Fällen ist es aber vorteilhafter, bei einem Zweibahntunnelofen nur mit einer Bahn kontinuierlich durchzubrennen, als nur mit dem billigeren Nachtstrom mit 2 Bahnen des Nachts zu arbeiten. Die Gegenüberstellung in Tabelle V von einer Porzellanfabrik in Oberfranken zeigt die geringeren Brennkosten des kontinuierlich arbeitenden Betriebes.

Tabelle V

Gegenüberstellung des kontinuierlichen Betriebes (Tag und Nacht) einer Ofenbahn zum Nachtbetrieb von 2 Ofenbahnen nach Angaben der Praxis

	<i>Kontinuierlicher Betrieb einer Ofenbahn</i>	<i>von 2 Ofenbahnen 11,5 h Nachtstromzeit, davon 4—1 1/2 h Aufheizzeit sowie 23,5 h Ofenbetrieb am Wochenende</i>
Schubzeit	6'	6'
Anzahl Körbe / h	10	9,5 im Durchschnitt
Stromverbrauch je Korb bei rund 20 kg Porzellan	6 kWh	9 kWh
Anzahl Körbe im Jahr (360 Tage/Jahr)	86 400	86 400
Jährlicher Stromverbrauch	518 400 kWh	777 600 kWh
Stromkosten im Jahr bei 4,4 \mathcal{P} /kWh	<i>DM</i> 22 809,60	
Jährliche Grundgebühr je Ofenbahn	<i>DM</i> 5 460,00	<i>DM</i> 34 214,40
	<i>DM</i> 28 269,60	
Stromkosten je Korb (20 kg Porzell.)	33 \mathcal{P} /Korb	39,7 \mathcal{P} /Korb
Stromkosten je Korb (20 kg Porzell.) im Sommer (März—Oktober)	27,2 \mathcal{P} /Korb	

Besonders in den Sommermonaten mit einer geringen Grundgebühr ist der durchgehende Betrieb wirtschaftlicher. Bei der Stromkostenberechnung sind folgende Bedingungen des Stromvertrages zugrunde gelegt: Arbeitspreis 4,4 \mathcal{M} /kWh bei hochspannungsseitiger Strommessung; Grundgebühr \mathcal{M} 60,—/kW Anschlußwert in der Zeit von November bis Februar und \mathcal{M} 5,—/kW in der Zeit von März bis Oktober.

Bei Tunnelöfen mit Korbförderung zum Brennen von Keramik bei Temperaturen von 1000° C kommt nur ein kontinuierlich arbeitender Betrieb in Frage. Die Stromverbrauchszahlen liegen bei diesem Ofen günstiger als bei Großtunnelöfen mit Wagenförderung.

Aus Abb. 6 kann der Stromverbrauch dieses Ofens zum Keramikbrennen entnommen werden, der bei 5 Stunden Ofenzeit für vorgeschrübte Ware bei rd. 0,4 kWh/kg Brennware (netto) und bei 8 Stunden Ofenzeit für rohglatierte Ware bei rd. 0,65 kWh/kg Brennware (netto) äußerst günstig liegt.

2. Korbfragen Die Körbe haben in der Nachkriegszeit vor der Währungsreform eine besondere Rolle in der

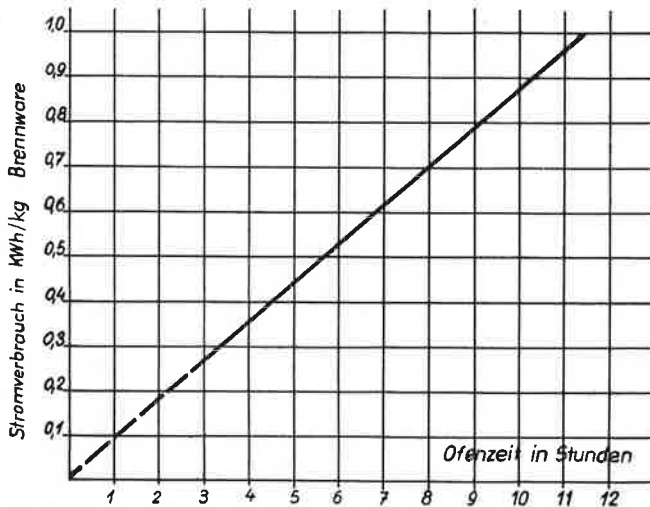


Abb. 6. Abhängigkeit des Stromverbrauches von der Ofenzeit beim Brenner von Kunstkeramik bei 1000° C.

Wirtschaftlichkeit der Öfen gespielt. Chromnickelstahlkörbe standen nicht zur Verfügung und die Ersatzkörbe aus Chrom-Manganstahl haben sich nicht bewährt. Sie zeigten nach kurzer Zeit ein Verspröden und mithin Aufreißen der Schweißnähte, was in manchen Betrieben zu ständigem Nachschweißen der Körbe Anlaß gab. Ein weiterer Nachteil der Körbe aus Chrom-Manganstahl wirkte sich bei Betrieben aus, die in den Öfen viele Porzellanwaren mit Fonds brannten. Der Chrom-Manganstahl zeigt schon bei Temperaturen von 800°C eine ziemliche Sprühzunderbildung, die zwar im Anfang am stärksten ist und nachher abnimmt. Seitdem wieder Körbe aus Chrom-Nickelstahl verwandt werden können, sind diese Schwierigkeiten behoben und es ist mit einer Lebensdauer der Körbe von 5—10 Jahren und noch länger, je nach Beanspruchung, zu rechnen. Der Tunnelofen mit Korbförderung zum Brennen von Keramik hat trotz des günstigen Stromverbrauchs für manche Zwecke den Nachteil, daß die Beschickungskörbe und Einlegebleche aus Chrom-Nickelstahl bei 1000°C die gleiche Erscheinung der Sprühzunderbildung wie die Chrom-Mangankörbe schon bei 800°C zeigen. Dieser Sprühzunder wird durch dunkle Punkte auf hellen Glasuren sichtbar.

Zum Schluß soll berichtet werden, daß in den verschiedenen Ländern andere Ofentypen zum Farbeinbrennen auf Porzellan gewählt wurden. So wird in den Vereinigten Staaten der Drehherdofen, in England der Förderbandofen bevorzugt, während man im übrigen Ausland ebenfalls den Tunnelofen mit Wagenförderung zum Farbeinbrennen antrifft. Da in Deutschland die Stromkosten von Bedeutung sind, hat sich der Tunnelofen mit Korbförderung als der wirtschaftlichste kontinuierlich arbeitende Ofen herausgestellt, da bei ihm das geringste Totgewicht aufzuheizen ist.

Anmerkung der Schriftleitung: Die Werk-Fotos wurden dankenswerterweise von der Firma Ludwig Riedhammer, Nürnberg, zur Verfügung gestellt.

