Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 26 (1935)

Heft: 7

Artikel: Die Elektrowärme in der Industrie

Autor: Knoops, Fr.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-1060299

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

VERLAG UND ADMINISTRATION:
A.-G. Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei, Zürich 4
Stauffacherquai 36/40

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXVI. Jahrgang | N° 7 | Mittwoch, 27. März 1935

Bericht über die Diskussionsversammlung des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)

abgehalten am Samstag, dem 24. November 1934, in Langenthal.

Die Diskussionsversammlung des SEV vom 24. November 1934 fand unter dem Vorsitz von Herrn Direktor Schiesser, Präsident des SEV, statt. Sie war von etwa 150 Mitgliedern und Gästen besucht. Es wurden folgende Themata behandelt:

1. *Die Elektrowärme in der Industrie; einleitendes Referat von Herrn Professor Dr. F. Knoops, Freiberg in Sachsen;*
2. *Ueberblick über den heutigen Stand der Hochfrequenztechnik; Referat von Herrn Professor Dr. F. Tank, Zürich;*
3. *Entwicklungsaussichten gittergesteuerter Vakuum-Stromrichter für Starkstrom; Referat von Herrn Ingenieur A. Gaudenzi, Baden.*

Dank freundlichen Entgegenkommens der Porzellanfabrik Langenthal hatten die Teilnehmer Gelegenheit, vor der Versammlung die interessanten Anlagen dieser Fabrik zu besichtigen; besonderes Interesse fand dabei der elektrische Versuchsofen zum Brennen von Porzellan.

Wir beginnen in dieser Nummer mit der Veröffentlichung des ersten Referates und der zugehörigen Diskussion.

L'assemblée de discussion de l'ASE du 24 novembre 1934 s'est déroulée sous la présidence de M. Schiesser, président de l'ASE. Elle compta environ 150 participants, membres et hôtes. Les thèmes suivants ont été traités:

1° *Les applications industrielles du chauffage électrique, introduit par M. F. Knoops, professeur à Freiberg en Saxe.*
2° *L'état actuel de la technique de la haute fréquence, introduit par M. F. Tank, professeur à Zurich.*
3° *L'avenir des soupages à vide à grille polarisée pour courant fort, introduit par M. A. Gaudenzi, ingénieur à Baden.*

Grâce à l'amabilité de la Manufacture de porcelaine de Langenthal, les participants ont pu visiter, avant l'assemblée, les intéressantes installations de cette fabrique; le four électrique d'essai a particulièrement retenu l'attention des visiteurs.

Nous commençons dans ce numéro la publication des conférences données et de la discussion qui les suivit.

Die Elektrowärme in der Industrie.

Referat von Prof. Dr.-Ing. *Fr. Knoops*, Freiberg/Sa.

621.364

Die Elektrowärme, die, 1870 erstmalig durch Werner von Siemens praktisch angewendet, seit etwa 1900 stetig wachsende Bedeutung erlangt hat, kann durch Lichtbogen, Induktionswirkung oder Widerstände erzeugt werden. In der Metallindustrie werden sowohl Lichtbogen- als auch Induktions- und Widerstandsöfen verwendet, und zwar zum Schmelzen und Warmbehandeln von Metallen. Die für die einzelnen Verwendungszwecke benutzten Ofenarten werden angeführt und Zahlen für den spezifischen Energieverbrauch gegeben. In der Glas- und keramischen Industrie dient die Elektrowärme sowohl zum Glasschmelzen als auch zum Brennen von Porzellan, Steingut usw. sowie zum Einbrennen von Farben auf Porzellan, Glas u. a. Weiter werden ihre Verwendungszwecke in der Papier- und Pappenindustrie, in Druckereien, in der Textil- und Filzindustrie, Leder- und Gummiindustrie, Holz-, Nahrungs- und Genussmittel- sowie chemischen Industrie wie auch zur Bodenbeheizung aufgezählt und die Erzeugung von Dampf und Heisswasser behandelt. Von den vielen Vorteilen der elektrisch erzeugten Wärme ist besonders die Möglichkeit der genauen und automatischen Temperaturregelung bei der Widerstandsheizung hervorzuheben. Wirtschaftlich gesehen, ist die Nutzbarmachung billiger Ueberschussenergie ebenso bedeutsam wie der Zeit- und Geldgewinn, der durch Verlegung gewisser Arbeitsprozesse in die Nachtzeit erzielt wird. Diese Tatsachen werden durch eine Reihe von Zahlenbeispielen belegt. Für den Stromerzeuger bringt die Abgabe grosser Mengen von Ueberschussenergie für Elektrowärmezwecke eine Verbesserung des Leistungsfaktors des Werkes mit sich. Ein gedeihliches Zusammenarbeiten zwischen Erzeuger- und Abnehmerkreisen ist hierfür allerdings Voraussetzung.

La production de chaleur par l'électricité, appliquée pratiquement pour la première fois en 1870 par Werner von Siemens, a pris une importance toujours croissante depuis 1900 environ; à cet effet, on peut se servir soit de l'arc électrique, soit du phénomène d'induction, soit de l'effet Joule. Dans l'industrie métallurgique on utilise les trois types de fours, à arc, à induction et à résistances, pour la fonte et le recuit des métaux. L'auteur décrit les types de fours utilisés pour les différentes applications et cite des chiffres relatifs à la consommation spécifique d'énergie de chacun. Dans l'industrie céramique et dans la verrerie, on se sert de fours électriques pour fondre le verre, pour cuire la porcelaine, la faïence et le grès, etc. pour fixer la peinture sur porcelaine, sur verre, etc. Suit un exposé des applications de l'électrothermie dans l'industrie du papier et du carton, dans l'imprimerie, dans l'industrie textile et du feutre, dans l'industrie du cuir et du caoutchouc, dans l'industrie du bois, dans l'industrie alimentaire, dans l'industrie chimique, pour le chauffage du sol et pour la production de vapeur et d'eau chaude. Parmi les principaux avantages du chauffage électrique, il y a lieu de relever la possibilité de réglage exact et automatique de la température lors du chauffage par résistance. Au point de vue économique, l'utilisation de l'énergie bon marché dite de «déchet» est aussi importante que le gain matériel et de temps que l'on obtient en réservant les heures creuses pour certains processus de fabrication. Une série d'exemples numériques viennent appuyer cette thèse. Pour le producteur, la vente de grandes quantités d'énergie dite «de déchet» pour produire la chaleur entraîne une amélioration sensible du facteur de puissance de l'installation. Cependant, pour cela il est nécessaire qu'une étroite collaboration s'établisse entre producteurs et consommateurs.

Die Möglichkeit, mit Hilfe des elektrischen Stromes Wärme zu erzeugen, fand 1870 durch Werner von Siemens erstmalig ihre praktische Auswertung beim Schmelzen von Stahl. Etwa 30 Jahre später, um die Wende des Jahrhunderts, trat dann die Nutzbarmachung der Elektrowärme über Laboratoriumsversuche hinaus in ein Entwicklungsstadium ein, das die praktische Bedeutung der elektrischen Beheizung unter Beweis stellte. Die sodann in der folgenden Zeit bis zum heutigen Tage gemachten Fortschritte kommen gleicherweise in der grossen Zahl der eroberten Anwendungsgebiete wie in der steigenden Zahl, Fassung und Anschlussleistung der Oefen zum Ausdruck.

Erzeugung der Elektrowärme.

Die Elektrowärme kann entweder mit Hilfe des Lichtbogens oder durch Induktionswirkung oder drittens in Widerständen erzeugt werden. Während die Heizung mit dem elektrischen Lichtbogen infolge der enormen Hitze, die dieser entwickelt, eine Temperaturregelung nur innerhalb eines beschränkten Bereiches zulässt und daher fast ausnahmslos zum Schmelzen von Stoffen mit hohen und höchsten Schmelzpunkten verwendet wird, setzt der Induktionsofen, der eine Temperaturregelung in weiteren Grenzen gestattet, eine elektrische Leitfähigkeit des Schmelzgutes voraus. Im Gegensatz hierzu eignet sich die Widerstandsheizung sowohl für das Schmelzen als auch für die Warmbehandlung und Erhitzung von Stoffen ohne Rücksicht auf die Höhe des Schmelzpunktes und die elektrische Leitfähigkeit. Sie gestattet vor allem eine Feinheit der Temperaturregelung, wie sie bei keiner anderen Wärmequelle erzielt wird.

Bei der *Lichtbogenheizung* unterscheidet man:

a) die direkte Heizwirkung, bei der der Strom durch Bad und Elektrode fliesst;

b) die indirekte Erwärmung, bei der nur die Elektroden vom Strom durchflossen werden, und

c) die kombinierte Heizung mit einer dritten, von unten durch den Ofen ins Bad hineinragenden Elektrode.

Die *Induktionsheizung* kennt Oefen mit nieder- oder mittelfrequentem Strom, gemeinhin als Induktionsöfen bezeichnet, und solche, die mit hochfrequentem Strom betrieben und Hochfrequenzöfen genannt werden.

Die *Widerstandsöfen* erfahren ihre Einteilung nach der stofflichen Beschaffenheit der Heizelemente. Es gibt metallische und nichtmetallische Widerstände.

a) Die wichtigsten metallischen Widerstände für höhere Temperaturen bestehen aus Chromnickel (bis 1100 °), Chromeisenlegierungen (bis 1250 °), Eisen-Chrom-Aluminium-Legierungen, die bis zu 1300 ° aushalten, ferner Molybdän (bis 1500 °) und Wolfram (bis 3000 °) unter Schutzgasatmosphäre.

b) Bei den nichtmetallischen Widerständen spielen Siliziumkarbide, wie die Erzeugnisse Silit und Globar, eine bedeutende Rolle, die Temperaturen bis 1400 ° bei genügender Lebensdauer aushalten. Für höhere Temperaturen kommt Kohle als Kohlengriess (bis 2200 °) und in Form von Rohren und Tiegeln (bis 3000 °) in Frage.

Anwendungsgebiete der Elektrowärme.

In der *Metallindustrie* verwendet man sowohl die Lichtbogen-, als auch Induktions- und Widerstandsöfen.

Die *Lichtbogenöfen* mit direkter Beheizung dienen dem Schmelzen von Eisen, Stahl, Stahlguss, sowie der Herstellung von synthetischem Roheisen. Der Energieverbrauch beträgt je nach Feinungsdauer

	kWh/t
bei Grauguss	450 bis 550
» legiertem Werkzeugstahl .	650 » 850
» Stahlformguss	500 » 750

Der Elektrodenverbrauch schwankt zwischen 3,5 und 6 kg/t. Besonders wertvolle Dienste leistet der Lichtbogenofen bei der Herstellung der verschiedensten Eisensorten aus bereits flüssigem Material. Man braucht dann nur einen verhältnismässig kleinen Ofen. Der direkt beheizte Lichtbogenofen eignet sich bei Beachtung gewisser Vorsichtsmassnahmen, wie Anbringung einer schützenden Schlakkenschicht, auch zum Schmelzen von Nichteisenmetallen, z. B. von Nickel, Silber und Kupfer. Davon abgesehen, werden für Nichteisenmetalle in

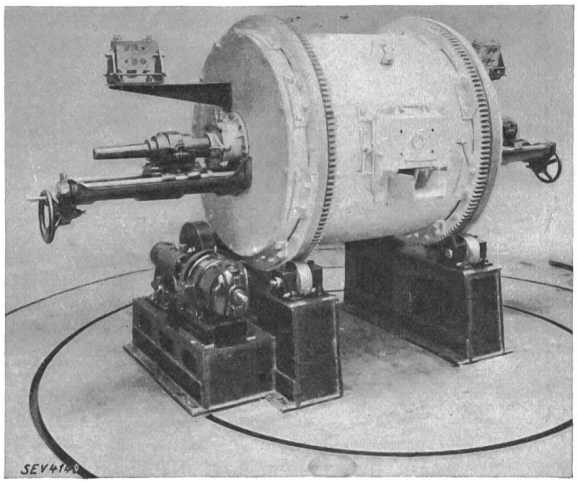

Fig. 1.
Lichtbogen-Schaukelofen für 300 kg Einsatz.

der Regel Lichtbogenöfen mit indirekter Beheizung verwendet, in denen man die meisten Metalle und Legierungen schmelzen kann. Bei der Bauweise der Oefen unterscheidet man je nach ihrem Bewegungszustand während des Schmelzens ruhende und Dreh- oder Schaukelöfen (Fig. 1). Die kleinen Oefen werden einphasig, die mittleren und grösseren entweder zweiphasig unter Anwendung der Scottschen Schaltung oder direkt dreiphasig angeschlossen. Die gebräuchlichsten Ofenfassungen liegen zwischen 50 und 1000 kg.

Energieverbrauch bei	kWh/t
Reinnickel	900
Nickellegierungen	700
Kupfer	400
Messing	370
Bronze	350
Neusilber	215

Im Schaukelofen kann auch Grauguss geschmolzen werden. Von einem diesem Zweck dienenden Ofen seien beispielsweise folgende Daten angeführt: Fassung 1000 kg, Anschluss zweiphasig bei 4 Elektroden, Energieverbrauch 500 kWh/t.

Am günstigsten ist das Schmelzen von Nichteisenmetallen im *Induktionsofen.* Bei den Nieder- und Mittelfrequenzöfen (Fig. 2) ist dabei allerdings Voraussetzung, dass ununterbrochen oder nur mit kurzen Unterbrechungen geschmolzen wird, weil der Ofen auch während der Pausen unter Zuführung von etwa 20 % der Anschlussleistung warm gehalten werden muss, da er nur solange betriebsbereit ist, als sich in seiner Schmelzrinne noch ein flüssiger Metallrest, der als «Sumpf» bezeichnet wird, befindet.

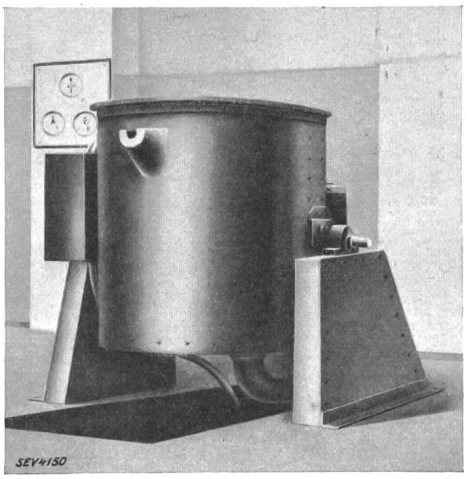

Fig. 2.
Niederfrequenz-Induktionsofen für 600 kg Einsatz.

Der Energieverbrauch für das Schmelzen von Messing beträgt bei 20stündiger Arbeitszeit 210 bis 230 kWh/t, bei grösseren Ofeneinheiten nur etwa 190 kWh/t. Nickel, Nickellegierungen, Kupfer usw. werden oft ausser im Niederfrequenz- auch im Mittelfrequenzofen geschmolzen. Der Hochfrequenzofen dagegen bleibt meistens dem Schmelzen hochwertiger Stähle vorbehalten. Oefen dieser Art mit einem Fassungsvermögen bis über 4 t sind schon seit langer Zeit in Betrieb. Von Interesse ist noch ein kernloser Induktionsofen mit schalenförmiger Herdform, ähnlich wie beim Lichtbogenofen, der an Drehstrom von Netzfrequenz angeschlossen wird und ähnliche Wirkung wie ein Hochfrequenzofen zeigt.

Die *Widerstandsöfen* dienen in der Hauptsache zum Schmelzen von Metallen, deren Schmelztemperatur nicht über 750 ° liegt. Für das Schmelzen von Zinn, Zink, Blei und Lagermetallen baut man Oefen, die als Höchsttemperatur 600 ° erreichen, für das Schmelzen von Aluminium (Fig. 3) solche bis 900 °. In kleinen Widerstandsöfen lassen sich auch höhere Temperaturen bis 1300 ° erreichen. Diese Oefen finden beim Schmelzen von Messing, Silber, Gold, Münzlegierungen usw. Verwendung. Das elektrische Schmelzen insbesondere von Aluminium und verwandten Leichtmetallen sowie der bei noch niedrigerer Temperatur schmelzenden Metalle wird wahrscheinlich in Zukunft an Verbreitung noch bedeutend zunehmen. Der Energieverbrauch beim Schmelzen von Aluminium im Herdofen beträgt je nach Verwendungszweck 40 bis 60 kWh/100 kg.

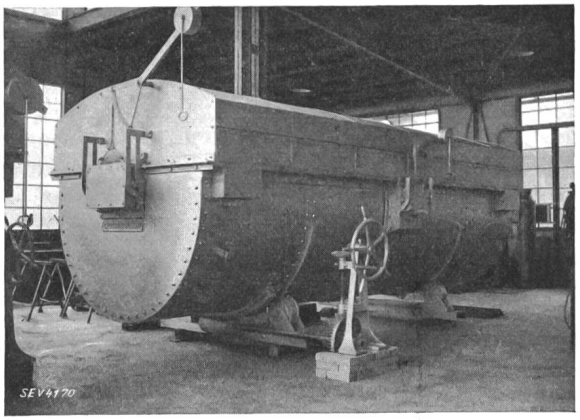

Fig. 3.
Widerstandsschmelzofen für Aluminium, 200 kW.

In der Weiterbehandlung der Metalle nimmt das *Glühen und Vergüten* einen besonders breiten Raum ein. Man verwendet hierfür fast ausschliesslich Widerstandsöfen, und zwar in Form von Muffel- (Fig. 4), Luftumwälzungs-, Durchziehöfen usw. Bei Verwendung von Chromnickel als Heizleiter lassen sich 1100 ° erreichen, mit Silit oder Globar, neuerdings auch Chrom-Eisen-Aluminium 1250 ° und darüber.

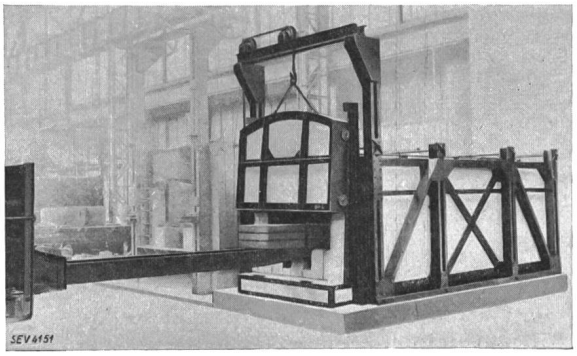

Fig. 4.
Glühofen für Kupfer, Messing, Neusilber usw.
Einsatz bis zu 8 t, 270 kW.

Für das Glühen von Aluminium braucht man im Dauerbetrieb etwa 220 kWh/t, für Messing etwa 100 kWh/t, bei Messingblöcken 110 kWh/t. Das

Glühen von Stahlstangen erfordert je nach deren Qualität 550 bis 690 kWh/t, wohingegen man beim Glühen von Röhren in Röhrenglühöfen mit etwa 205 kWh/t auskommt. Erwähnt sei noch ein Ofen von 380 kW Anschlusswert zum Härten (870 °) und Anlassen (560 °) von über 7 m langen Hohlbohrstangen aus hochwertigem Material, der an Strom für beide Arbeitsvorgänge zusammen 580 kWh/t verbraucht.

Soll ein Glühgut den Ofen wieder mit vollkommen blanker Oberfläche verlassen, so muss die Glühung unter Schutzgasatmosphäre oder im sauerstoffreien Raum vorgenommen werden. Für die Durchführung dieses Prozesses werden besondere *Blankglühöfen* gebaut. Als Schutzgas dient Wasser- oder Stickstoff, man kommt aber auch, wie z. B. bei Kupfer, mit Wasserdampf sehr gut aus. Zur Erzielung eines sauerstoffreien Glühraumes verfährt man so, dass die Luft aus dem Ofen durch das Anheizen weitestgehend herausgetrieben und ein zurückbleibender Sauerstoffrest nach Beschickung und Abschliessen des Glühtopfes durch das Verbrennen von etwas vorher beigegebener Putzwolle aufgezehrt wird. Die Durchglühung des Gutes wird beschleunigt durch eine zusätzliche Innenheizung oder auch durch wärmeleitende Platten, die zwischen die Schichten des Glühgutes gelegt werden.

Beim *Härten* unterscheidet man zwischen einfacher Wasser- oder Oelhärtung und Einsatzhärtung. Angaben über eine einfache Wasserhärtung, zu der ein Muffelofen verwendet wird, werden in Tabelle I gemacht:

Tabelle I.

Einsatz Nr.	Bemerkungen	Gewicht kg	Einzelteile Anzahl	Energieverbrauch kWh
1	(Ofen über Nacht abgekühlt)	43	14	32
2		43	14	25
3		43	14	24
4		43	14	20
	$1^1/_2$ h Pause			
5		34	11	19
6		35	11	17
	Schluss der Arbeitszeit			
		241		137
	oder pro	100		56,5

Zum Zwecke des Einsatzhärtens wird das Material in Härtepulver eingepackt und auf etwa 800 bis 850 ° erhitzt. Ist diese Temperatur erreicht, so verbleibt das Härtegut noch bis zur Erreichung der gewünschten Einsatztiefe im Ofen. Der Energieverbrauch beläuft sich dabei auf rund 800 kWh/t. Nachteilig bei dieser Art der Einsatzhärtung ist die Erhöhung des Energieverbrauches durch das tote Gewicht des Einsatzkastens und des Härtepulvers, was bei Verwendung einer besonderen Härtepaste vermieden wird, mit der das zu härtende Gut nur bestrichen zu werden braucht. Auf diese Weise erzielt man nicht nur eine höhere Stromausbeute, sondern auch eine intensivere Wirkung und damit eine Beschleunigung des Prozesses.

Die Einsatzhärtung kann ferner durch Eintauchen in elektrisch beheizte Blei- oder Salzbäder vorgenommen werden.

Zum *Schmieden* verwendet man elektrisch beheizte Schmiedeöfen (Fig. 5) mit Temperaturen bis zu 1300 °. Der Energieverbrauch liegt hierbei zwischen 400 und 500 kWh/t.

Das *Verzinnen* und *Verzinken* wird ebenfalls schon vielerorts in elektrisch beheizten Bädern ausgeführt, da hier der Metallverlust durch Abbrand im Gegensatz zu andern Beheizungsarten ganz unbedeutend ist. Für das Verzinken von Röhren steht u. a. ein Bad von 7 m Länge in Betrieb, dessen Anschlusswert bei 230 kW liegt. Die Badtemperatur beträgt 450 ° und wird mit Temperatur-

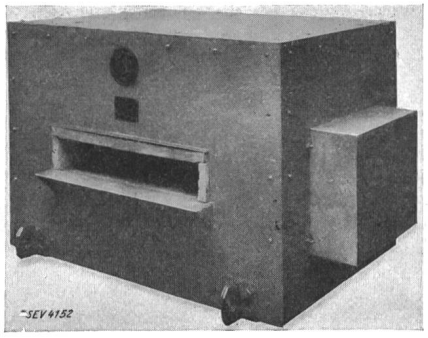

Fig. 5.
Schmiedeofen mit Silitbeheizung, 12 kW.

regler konstant gehalten. Die ganz gleichmässige Temperaturverteilung im Bad schliesst die Entstehung von Hartzink so gut wie vollkommen aus, wie auch die Prüfung der Anlage nach 14monatigem Betrieb bestätigte. Stündlich können an Röhren 1800 kg verarbeitet werden. An Energie werden bei 24stündiger Arbeitszeit 110 kWh/t, bei 10stündiger Arbeitszeit 165 kWh/t verbraucht. Der gesamte Energiebedarf beläuft sich bei Dauerbetrieb auf 1,55 Millionen kWh/Jahr, wobei sich die Benutzungsdauer auf 7000 h beziffert, während dem Netz bei nur 10stündigem Betrieb 1 Million kWh bei rund 4000 h Benutzungsdauer entnommen werden.

Auch in vielen Verzinnereien sind elektrische Bäder aufgestellt worden, so z. B. eine Verzinnungsanlage mit 2 grösseren und 40 kleinen Oefen. In einem andern Werk steht ein Durchziehofen zum Verzinnen von Drähten in Betrieb. Hier wird eine ganze Reihe von Drähten gleichzeitig durch ein elektrisch beheiztes Zinnbad von 75 kW Anschlusswert hindurchgezogen, wobei 65 kWh/t verbraucht werden.

Ein weiteres, sehr wichtiges Anwendungsgebiet der Elektrowärme ist das *Emaillieren*. In den meisten Fällen werden Muffelöfen benutzt (Fig. 6). Die erforderliche Ofentemperatur liegt bei 900 °. Der Energieverbrauch schwankt, je nachdem, wie oft das Material gebrannt werden muss, zwischen

250 und 800 kWh/t. Als praktisches Beispiel sei ein Ofen angeführt, der eine Temperatur von 850° aufweist und 200 kW Anschlusswert besitzt. Der Gesamtenergiebedarf beläuft sich auf 640 kWh/1000 kg. Eine andere Anlage mit 2 Oefen zu je 180 kW

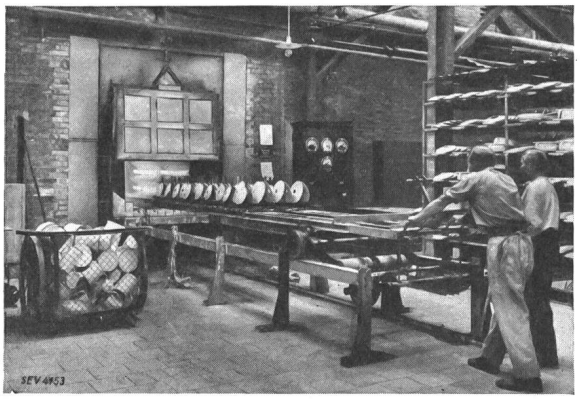

Fig. 6.
Emaillierofen mit Schnelladevorrichtung, 110 kW.

verbraucht zum Brennen von Grundemail und dreimaligem Garbrand 860 kWh/t. Beide Oefen zusammen kommen auf die hohe Zahl von 7200 Benutzungsstunden und 1,35 Millionen kWh jährlichen Energieverbrauch.

An dieser Stelle soll noch einiges über die *Durchlauföfen* gesagt werden, bei denen das zu behandelnde Gut entweder durch den Ofen gezogen oder geschoben wird oder auf einer schiefen Ebene durchrollt. Auf diese Weise wird ein ununterbrochener Bandbetrieb ermöglicht.

In der Nichteisenmetallindustrie stehen eine ganze Reihe Durchziehöfen für Messingband in Betrieb. Als Beispiel sei ein solcher mit 50 kW Anschlusswert zum Durchziehen von 6 mm breiten Messingbändern erwähnt, dessen Gesamtlänge 4 m beträgt. Hinter dem Durchziehofen befindet sich ein Beizbad mit Trocknungsvorrichtung. Der Ofen verbraucht bei einem Durchsatz von 300 kg/h einschliesslich Beizbadheizung und Trocknung 110 kWh/t. Ein anderer Ofen mit Drehherd von 50 kW setzt bei einer Temperatur von 800° 250 kg/h durch. Der Energieverbrauch beträgt dabei 225 kWh/t. Dem Anlassen von Drahtstiften dient ein Durchgangsofen mit Umlaufheizung. Die Anschlussleistung beträgt 12 kW, die Anlasstemperatur 300°, seine Durchsatzleistung 65 kg/h. Der Energieverbrauch schwankt je nach Ausnutzung des Ofens zwischen 70 und 80 kWh/t. Endlich sei noch ein Drahtpatentierofen für das Durchziehen von gleichzeitig 16 Stahldrähten genannt. Er ist 7 m lang, die Härtetemperatur beträgt 900°, die Anlasstemperatur 300°. Der Energieverbrauch einschliesslich Anlassen beträgt 280 kWh/t bei kleiner Drahtstärke.

Zum Schluss einiges über das elektrische *Trocknen.* Man unterscheidet folgende Ofenarten:

1. einfache Trocknungsöfen,
2. Trocknungsöfen mit Luftumwälzung,
3. Trocknungsöfen mit Vakuumeinrichtung,
4. Trocknungsöfen mit laufendem Band.

Als höchste erforderliche Temperatur für das Trocknen kann man etwa 250° annehmen. In der Metallindustrie werden Trocknungsöfen vielseitig verwendet. Man braucht sie zum Trocknen von lackierten Teilen, wie z. B. Fahrradgestellen, Gehäusen für Messinstrumente, Motoren (Fig. 7) u. a. Besonders wichtig, dabei noch sehr ausbaufähig ist das Trocknen von Formen und Kernen in Giessereien, was vorteilhaft in den Nachtstunden geschehen kann, wo billige Energie zur Verfügung steht. Für grössere Formstücke gibt es bewegliche Einrichtungen, die ein Trocknen an Ort und Stelle gestatten. Der Vorzug dieser elektrischen Trocknungsmethode liegt nicht allein im Wegfall der Transportkosten, sondern vor allem darin, dass die Form selbst beim Giessen noch genügend heiss ist, so dass man mit geringerer Ueberhitzung des Gussmetalls auskommt, als sonst nötig ist. Für das Kerntrocknen stehen schon seit längerer Zeit eine ganze Anzahl Oefen in Betrieb, teils mit, teils ohne Wanderung des Trocknungsgutes. Der Energiebedarf beläuft sich im Durchschnitt auf 0,23 kWh/kg. Wichtig

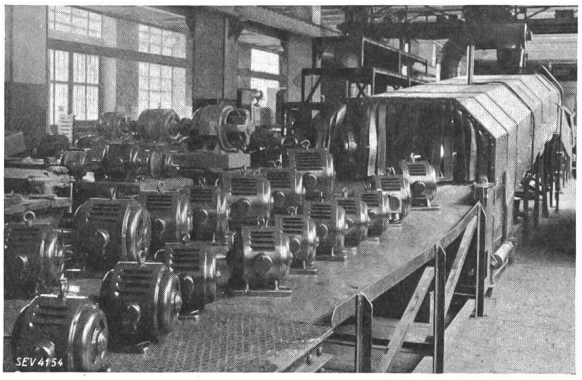

Fig. 7.
Durchziehtrocknungsofen für lackierte Motoren, die beim Durchgang laufen.

ist, dass die Trocknungstemperatur nicht zu hoch gewählt wird. Eingehende Versuche haben gezeigt, dass 200 bis 250° vollkommen ausreichen.

Glas- und keramische Industrie.

Für diese Zwecke verwendet man fast ausschliesslich Widerstandsöfen, und zwar in Form von Muffel-, Durchlauf-, Trocknungsöfen mit und ohne Luftumwälzung, Tunnel- oder Schachtöfen, sowie Oefen mit direkter Beheizung zum Schmelzen von Glas.

Für das *Brennen* von Porzellan, Steinzeug und Steingut liegt die erforderliche Temperatur, wie genauere Untersuchungen ergaben, niedriger, als der Keramiker meistens in der Literatur angibt. Eine Temperatur von 1350° ist in fast allen Fällen ausreichend. Man kann diese Temperatur ohne weiteres im Widerstandsofen erreichen. Beim Porzellanbrennen ist darauf zu achten, dass von etwa 800° ab eine reduzierende Atmosphäre im Ofen

herrscht, was sich mit geeigneten Vorrichtungen auch unschwer bewerkstelligen lässt. Die Oefen stehen nur etwa 12 bis 16 h lang in Betrieb, um dann längere Zeit der Abkühlung überlassen zu bleiben. Die Betriebszeit kann also so gewählt werden, dass sie ausserhalb der Höchstbelastungszeit des Werkes fällt. In gleicher Weise wie Porzellan kann man auch Steinzeug, Steingut, Kacheln usw. brennen.

Weiter hat auch das Garbrennen und das *Einbrennen von Farben* auf Porzellan, keramische Erzeugnisse und Glas Bedeutung. Für Keramik und Porzellan liegt die erforderliche Temperatur zwischen 700 und 900 °, für Glas bei etwa 400 °. Fig. 8 zeigt einen Kammerofen zum Farbeneinbrennen auf Wandplatten und Kacheln. Sein Anschlusswert

Fig. 8.
Chromnickel-Muffelofen zum Brennen von Keramik, 80 kW.

ist 80 kW, die Brenntemperatur 1000 °. Ein Ofeneinsatz beträgt 900 kg, die Anheizzeit etwa 10 h. An Energie werden pro Einsatz annähernd 800 kWh gebraucht, d. s. 0,8 bis 0,9 kWh/kg Brenngut. Für das Aufbrennen von Farben auf Geschirrporzellan verwendet man ausser Muffel- auch Durchziehöfen. Hier kommt man im Durchschnitt mit 0,4 kWh/kg aus, da die Anheizperiode im Hinblick auf die lange Arbeitsdauer wenig ins Gewicht fällt.

In der Glasindustrie hat man für das *Schmelzen von Glas* entweder Oefen mit indirekter Beheizung durch besondere Heizkörper oder Oefen mit direkter Beheizung, wobei das Glasbad selbst den Widerstand darstellt, und drittens Oefen mit kombinierter Heizung. Solche mit direkter Beheizung kommen nur dort in Frage, wo es sich um die Herstellung grösserer Mengen handelt. Eine Schwierigkeit besteht bei dieser Schmelzweise darin, das Glas vollkommen farblos zu halten. Zu diesem Zwecke müssen die Elektroden sehr sorgfältig gewählt werden. Für das Schmelzen kleinerer Mengen Glas benützt man Oefen mit indirekter Beheizung, deren bereits mehrere in Betrieb stehen. Man schmilzt über Nacht und braucht am Tage während der Verarbeitung den Ofen nur warm zu halten. Bei direkt beheizten Oefen werden etwa 0,8 kWh/kg Glas, bei indirekt beheizten zwischen 2 und 3 kWh/kg Glas verbraucht.

Ein sehr wichtiges Gebiet für die Anwendung der Elektrowärme in der Glasindustrie ist noch das *Entspannen und Abkühlen* des Glases. Wenn dieses nämlich fertig geblasen ist, muss es sehr langsam abkühlen, um innere Spannungen zu vermeiden. Zum Zweck einer solchen Entspannung werden die Gläser entweder in einem Muffelofen während der Nachtzeit erwärmt und sodann der Ofen nach einem genau vorgeschriebenen Schema mit Programmregler vollkommen automatisch der Abkühlung überlassen, oder man verwendet einen Glasdurchziehofen, der durch besondere Einteilung der Heizspiralen und die dadurch erzielte gleichmässige Abnahme der Temperatur die gewünschte Abkühlung sichert. Wird das Glas unmittelbar nach dem Blasen, also noch heiss, in einen solchen Ofen gebracht, so sind für den Abkühlungsvorgang nur ganz geringe Energien, nämlich 30 bis 80 kWh/t aufzuwenden.

Sehr bedeutsam ist die Verwendung der Elektrowärme auch bei der Herstellung splitterfreien Glases, bei der ebenfalls auf eine ganz bestimmte Temperatur aufzuheizen und dann abzukühlen ist. Auf dem Gebiet der

Papier- und Pappenindustrie und im Druckereigewerbe

verwendet man nur Widerstandsöfen, und zwar als Schmelzkessel oder Schmelzöfen, als Trocknungsschränke und -schirme, als Lufterhitzer oder in Form beweglicher Heizkörper.

Für das *Schmelzen* von Letternmetall braucht man in der Setzmaschine Schmelzkessel von etwa 1,2 kW. Nach einstündigem Anheizen und erfolgtem Schmelzen des Metalles wird im normalen Betrieb mit etwa 0,5 kW warm gehalten. Der grösste Vorteil liegt darin, dass auch in der Gießschnauze ein Heizkörper angebracht werden kann, so dass das Material mit richtiger Temperatur und genügendem Flüssigkeitsgrad in die Matrizen fliesst. Grössere Schmelzkessel werden ausserdem zum Umschmelzen und Reinigen von gebrauchtem Stereotypmaterial verwandt. Derartige Kessel fassen zwischen 750 und 1500 kg und haben 18 bis 36 kW Anschlusswert. Der Energieverbrauch hängt sehr von dem gewünschten Feinungsgrad oder Säuberungszweck ab.

Zum Trocknen von Matrizen, gedrucktem Papier, Pappe usw. verwendet man Trocknungswalzen oder Trocknungsschränke. Sehr interessant ist die Herstellung von Isolierpapier und Isolierplat-

ten. Fig. 9 zeigt einen Ofen, in dem solches Isoliermaterial erst erwärmt und dann gepresst wird.

Die Druckereiindustrie stellt ein Gebiet dar, das infolge seiner vielen Anwendungsmöglichkeiten für

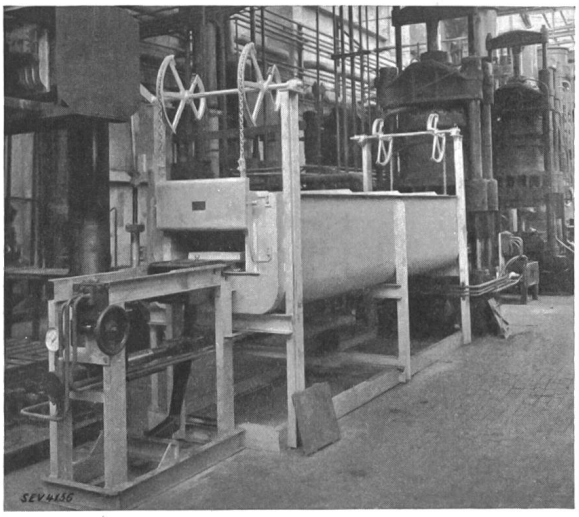

Fig. 9.
Plattenstossofen mit Presse, zum Erwärmen und Pressen von Papier, 75 kW.

die Elektrowärme eine entsprechende Bearbeitung auf jeden Fall lohnen wird. In die

Textil- und Filzindustrie

hat die Elektrowärme Eingang gefunden zur Beheizung von Farbbottichen, Spannrahmen, Zeugdruckmaschinen, Kalanderwalzen, Stoffballenpressen, zum Trocknen von Pflanzenfasern, Wäsche, zum Absengen von Tuchen, zum Pressen von Strümpfen usw.

Die Leder-, Gummi- und verwandten Industrien

trocknen elektrisch in Trocknungskammern und -hallen mit Lufterhitzern unter Einhaltung eines ganz bestimmten Feuchtigkeitsgrades, ferner in Trocknungsschränken, -trommeln und -kesseln. Hervorgehoben sei das Trocknen von Rohgummi, Vulkanisieren, Ausbessern von Autoreifen und -schläuchen sowie das Pressen von Leder. In elektrisch beheizten Pressen wird gewöhnlichem Spaltleder durch eine Imitierung der Oberfläche das Aussehen hochwertigeren Leders verliehen. Auch bei der Herstellung von Kunstleder wird Elektrowärme angewendet. In der

Holzindustrie

kommt die Verwendung von Trocknungskammern mit Lufterhitzern immer mehr in Aufschwung. Der besondere Wert der elektrischen Holztrocknung liegt in der Umgehung der grossen Zinsverluste, die mit dem oft jahrelangen Lufttrocknen verbunden sind. Im Kleinen verwendet man Trocknungsschränke, weiter Pressheizplatten zum Pressen von Furnieren sowie Heiztische und Wärmeplatten zum Leimen usw. Nicht zu vergessen sind die Brennstempel, die entweder von Hand oder mit Pressen betrieben werden. Man denke an das Einbrennen von Marken- und Firmennamen auf Zigarrenkistchen.

Für die

Nahrungs- und Genussmittelindustrie

hat die Elektrowärme zum Erhitzen von Flüssigkeiten, Dörren von Obst und sonstigen Nahrungsmitteln, für das Entkeimen von Milch usw. steigende Bedeutung erlangt. Gerade das elektrische Dörren von Obst und Gemüse an Ort und Stelle wird mehr und mehr Eingang finden, weil die Transportkosten für getrocknete Erzeugnisse infolge des erheblich verminderten Gewichtes viel niedriger sind.

Auch die

chemische Industrie

bedient sich in steigendem Masse der Elektrowärme, in der Hauptsache deswegen, weil die Explosionsgefahr vielfach ausgeschaltet oder wenigstens stark vermindert wird. Es sei erinnert an das Trocknen von Filmen, an das Schmelzen leicht entflammbarer Materialien, wie Wachs, Paraffin, Asphalt usw. Für das letztgenannte gibt es besondere Schmelzwagen, für die der Strom den Oberleitungen der Strassenbahnen entnommen werden kann, so dass die Erhitzung des Asphalts an der Arbeitsstätte möglich ist.

Von besonderer Wichtigkeit ist die Ausnutzung von Nacht- und Ueberschussenergie durch die elektrische

Erzeugung von Dampf

in Hoch- oder Niederspannungs-Dampfkesseln (Fig. 10). An Orten, wo grössere Einheiten aufge-

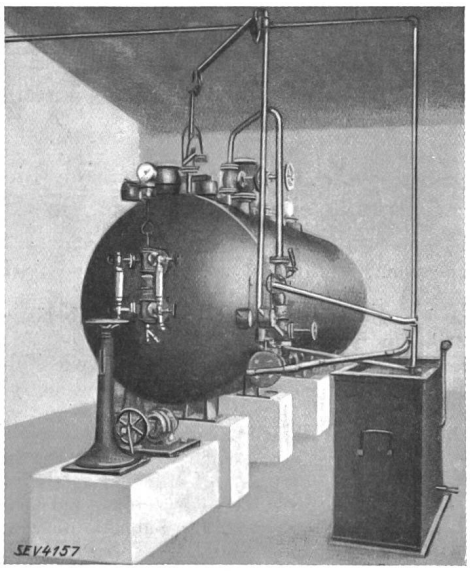

Fig. 10.
Elektro-Dampfkessel, 6000 V, 2000 kW.

stellt werden können, ist der Hochspannungs-Dampfkessel zu bevorzugen. Stellt ein Elektrizitätswerk eigene Elektrodampfkessel in irgendeinem Betrieb auf und verkauft nur den Dampf, so ge-

schieht die Einschaltung der Kessel zu Zeiten der Ueberschussenergie mit Fernregulatoren. Ist die Beschaffung genügend reinen Wassers für die Hochspannungsdampfkessel zu schwierig, so arbeitet man mit zwei Kesseln. Im ersten, mit reinem, eventuell destilliertem Wasser gefüllten Kessel wird der Dampf elektrisch erzeugt und in die Rohrschlangen des zweiten Kessels geleitet, der das ungereinigte Wasser enthält, das durch den Heissdampf des ersten Kessels verdampft wird. Der Dampf aus dem ersten Kessel wird kondensiert und wieder zurückgeleitet, so dass nur die Verluste zu decken sind.

Weiter lässt sich Abfallenergie durch Erzeugung von heissem Wasser nutzbar machen, wie z. B. in grossen Badeanstalten, wo die Erwärmung in grossen Bottichen vorgenommen wird. Die Anwendung von Durchlauferhitzern kommt weniger in Frage, weil für die Erwärmung laufenden Wassers grössere Energiemengen gebraucht werden.

Nicht zu vergessen wäre auch die Erzeugung von heisser Luft für Trocknungs- und Heizungszwecke. Hierbei kann allerdings nicht auf Vorrat gespeichert werden, da die erzeugte Heissluft sofort verwendet werden muss.

Zum Schluss sei noch kurz die Verwendung von Elektrowärme zur

Bodenbeheizung

in Gartenbau und Landwirtschaft gestreift. Geschieht die Erwärmung des Bodens in der Nachtzeit, um die Pflanzen auf warmem Fuss zu halten, so kann mit Hilfe billiger Nachtenergie einerseits die Erzeugung von Frühgemüse gefördert, andererseits auch bis in den späten Herbst hinein das Wachstum verschiedener Pflanzen aufrecht erhalten werden .

Die Vorteile der Elektrowärme.

1. Auf technischem Gebiet.

Gegenüber der Verbrennungswärme bietet die durch Elektrizität erzeugte folgende Vorteile:

a) Verbrennungsgase werden nicht erzeugt.
b) Anfuhr von Brennstoffen und Abfuhr von Asche fallen fort.
c) Keine Rauch- und übermässige Wärmebelästigung für das Bedienungspersonal.
d) Ausschliessung von Wärmeverlusten durch Zuleitungen.
e) Möglichkeit der Wärmeerzeugung auch an schwer zugänglichen Stellen.
f) Bei der Widerstandsheizung automatische, bis auf $\pm 5°$ genaue Temperaturregelung auch bei hohen Wärmegraden.
g) Keine oder stark verringerte Explosionsgefahr.
h) Der Elektroofen lässt sich jederzeit so aufstellen, dass eine organische Gliederung des Fabrikationsganges möglich ist, wodurch Zeit- und Geldverlust verursachende Transporte innerhalb eines Betriebes wegfallen.

Am wichtigsten ist wohl die Möglichkeit der genauen Temperaturregelung, wie sie die Widerstandsheizung gestattet. Während sie bei der durch Verbrennung erzeugten Wärme viel schwieriger zu erreichen ist, da eine Regulierung der Flammentemperatur nur durch Veränderung von Menge oder Mischungsverhältnis des Brennstoffes geschehen kann, erlaubt es die Natur des elektrischen Stromes, die Regelung ohne Schwierigkeit automatisch vorzunehmen und vor allem aufs feinste abzustufen. Dieser Vorteil ist nicht nur besonders bedeutsam für das Schmelzen von Metallen, wobei die Abbrandverluste auf einen ganz unbedeutenden Betrag herabgedrückt werden, er spielt eine ausschlaggebende Rolle namentlich bei der Herstellung und Behandlung jenes hochwertigen und höchstbeanspruchbaren Materials, ohne das die Leistungsfähigkeit der heutigen Motoren, Kraftfahrzeuge, Flugmaschinen usw. gar nicht denkbar wäre. Wird doch die Güte eines Materials oftmals entscheidend beeinflusst von der genauesten Einhaltung einer bestimmten Temperatur beim Giessen, Glühen, Härten, Vergüten usw.

2. Auf wirtschaftlichem Gebiet.

Es soll jetzt noch eingehend auf die wirtschaftlichen Auswirkungen der Elektrowärmeverwendung sowohl für den Bezüger als auch für den Erzeuger hingewiesen werden. Zunächst der Energieverbraucher: In der Industrie liegt während der Nachtzeit für gewöhnlich nur in geringem Masse Bedarf an Energie vor, da die gesamte Arbeit und damit der Energieverbrauch hauptsächlich in die Tageszeit fällt. Nur in besonderen Fällen wird eine die Betriebskosten erhöhende Nachtschicht tragbar sein. Wird dagegen mit Elektrowärme gearbeitet, so kann eine Energieentnahme auch während der Nacht erfolgen, weil eine Beaufsichtigung nicht nötig ist. Darüber hinaus bringt die Erhöhung des Energiebezuges noch den Vorteil verbilligter Energiepreise mit sich.

Wenn z. B. irgendein Material auf eine genau vorgeschriebene Temperatur erwärmt und diese dann einige Stunden lang konstant gehalten werden soll, um darauf einer langsamen Abkühlung ausgesetzt zu werden, so ist dieser Vorgang mit einem Programmregler vollkommen automatisch durchführbar. Es ist also ohne weiteres möglich, Prozesse, wie das Glühen, Härten, Trocknen usw. in die Nachtstunden, wie überhaupt in alle die Zeiten zu verlegen, in denen grössere Energiemengen zur Verfügung stehen. Einige Beispiele mögen dies erläutern:

1. Eine Anlage, bestehend aus zwei Muldenöfen zu je 80 kW, dient zum Glühen von hochwertigem Stahl. Da eine Glühhaube nicht verwendet wird, muss die Glühung wie auch die anschliessende Abkühlung sehr langsam vor sich gehen. Unter Zuhilfenahme eines Programmreglers kann dieser Vorgang ohne Aufsicht in der Zeit zwischen 19 und 6 Uhr durchgeführt werden. Einer Anzahl Versuchsprotokolle wurden folgende Mittelwerte entnommen:

Von 19 bis 21 Uhr wird Ofen 1 bei voller Leistung auf 300° C aufgeheizt; Energieverbrauch 160 kWh. Die Temperatur wird 1 Stunde konstant gehalten, wobei 4 kWh verbraucht werden. Ab

22.00 bis 00.30 Uhr wird weiter bis auf 500° C aufgeheizt. Dazu sind rund 200 kWh erforderlich. 1½ Stunden lang wird wiederum konstant gehalten, und zwar mit 10 kWh. Dann wird innerhalb von 2 Stunden auf 650° C aufgeheizt, wozu 160 kWh erforderlich sind. Diese Temperatur wird sodann unter Zuführung von 24 kWh bis 6 Uhr konstant gehalten. Bei einer Gesamtenergieentnahme von 558 kWh und einer Ofenfassung von 2 t beträgt der spezifische Energieverbrauch 280 kWh/t. Von 6 Uhr an kühlt das Material im Ofen langsam ab. Am nächsten Abend wird Ofen 2 in gleicher Weise in Betrieb genommen und im Laufe des folgenden Tages Ofen 1 entladen und neu beschickt. Diese wechselseitige Beheizung der Oefen über Nacht ermöglicht eine monatliche Energieentnahme von 15 000 kWh, ohne das Leistungsmaximum zu erhöhen.

2. Beim Brennen von Glasur auf Porzellan in dem bereits erwähnten Muffelofen von 80 kW braucht man 10 Stunden, um auf Temperatur zu kommen, worauf Abkühlung erfolgt. Die ganze Heizzeit wird hier ebenfalls in die Nachtstunden verlegt. Ohne auch in diesem Falle das bisherige Leistungsmaximum zu überschreiten, werden monatlich 6000 bis 8000 kWh Nachtenergie verbraucht.

3. Beim Glühen von hochwertigen Eisenknüppeln in einem Ofen von 350 kW Anschlusswert (Fig. 11) dauert das Aufheizen 24 bis 30 Stunden. Man setzt daher den Ofen zur Zeit reichlicher

Fig. 11.
Glühofen für Eisenknüppel, 350 kW.

Ueberschussenergie in Betrieb und drückt später während der Spitzenzeit die Leistungszufuhr stark herab oder schaltet 1 bis 1½ Stunden überhaupt aus, was in Anbetracht der grossen Speicherwärme des Ofens ganz unbedenklich ist. Die darauffolgende Abkühlung dauert 40 bis 60 Stunden.

Wie diese Beispiele zeigen, kann bei einiger Ueberlegung mit Hilfe der Elektrowärme eine Verbesserung ebenso in betriebstechnischer wie in wirtschaftlicher Hinsicht erzielt werden. Inwieweit sich diese auswirkt, soll noch an Hand einiger Zahlen gezeigt werden.

a) In einem Messingwerk wird ein Oelofen durch einen Induktionsofen ersetzt. Dieser arbeitet 20 Stunden mit einem Maximum von 60 kW. Das Werk bezog früher im Jahr 162 000 kWh bei einer Spitze von 55 kW und einer Benutzungsdauer von 2950 Stunden. Die Nachtenergieentnahme betrug rund 20 %. Nach Inbetriebnahme des Elektroofens wurde die Spitze zwar erhöht, dafür stieg aber auch der Energieverbrauch auf 576 000 kWh, die Benutzungsdauer auf 5000 Stunden, der Nachtenergieanteil auf 45 %.

b) In einer Verzinnerei werden die elektrischen Zinnbäder *vor* Arbeitsbeginn aufgeheizt, so dass eine Erhöhung der Tagesspitze nicht eintritt. Vor Einführung der Elektrowärme bezog das Werk im Jahr 182 000 kWh bei 3000 Benutzungsstunden. Obwohl nur am Tage gearbeitet und die Nachtenergie allein für das Aufheizen der Bäder verwendet wird, erhöhte sich der Energiebedarf auf 413 000 kWh und die Benutzungsdauer auf 3600 Stunden.

c) Ein Industriewerk stellte einen Aluminium-Elektroschmelzofen auf und arbeitet mit diesem nur tagsüber. Früher betrug der Energieverbrauch 263 000 kWh bei 2920 Benutzungsstunden. Nach Aufstellung des Ofens erhöhten sich diese Zahlen auf 827 000 kWh bzw. 4300 Stunden. Sollte der Ofen dagegen nur nachts betrieben werden, so müsste er zwar grösser gewählt werden, dafür könnte man dann aber eine Benutzungsdauer von 8000 Stunden erreichen, wenn die Nachtspitze, wie es oft der Fall ist, nicht gezählt wird.

d) Ein Eisenwerk, das früher 2 292 000 kWh bezog, verbrauchte nach Anschaffung eines Elektroofens 3 434 000 kWh. Nach der weiteren Aufstellung eines Glühofens stieg der Verbrauch auf rund 4 Millionen kWh. Beide Oefen werden so in Betrieb genommen, dass nur eine geringe Erhöhung des Maximums eintritt. Die ursprüngliche Benutzungsdauer von rund 3000 Stunden stieg nach Aufstellung der Elektroöfen zunächst auf 4500, dann auf 5300 Stunden. Der Nachtenergieanteil erhöhte sich von 20 auf 46 %.

e) Nach Aufstellung eines elektrisch beheizten Emaillierofens stieg in einem Werk der Energieverbrauch von 2 237 000 kWh auf 3 680 000 kWh. Das Leistungsmaximum stieg nur von 750 auf 900 kW, obwohl der Ofen einen Anschlusswert von 240 kW hat. Die Benutzungsdauer nahm zu von 3000 auf 4100 Stunden.

f) In einem vollelektrifizierten Messing- und Kupferwerk beläuft sich der Gesamtenergieverbrauch auf 41 Millionen kWh, wovon 22 Millionen auf Tag-, 19 Millionen kWh auf Nachtstrom entfallen. Die Benutzungsdauer beziffert sich auf 4700 Stunden.

In welcher Weise wirkt sich nun die vermehrte Verwendung der elektrischen Energie zur Erzeugung von Wärme auf die energieerzeugende Industrie aus?

Bei geeigneter Tarifgestaltung und grosszügiger Freigabe der elektrischen Energie, wie Kürzung der Sperrzeiten, steht eine starke Verbesserung des Energieabsatzes zu erwarten, ohne dass dabei die

Leistungsabgabefähigkeit der Elektrizitätswerke überschritten und demzufolge kostspielige Erweiterungen bedingt würden. Weiter wirkt die Erzeugung der Elektrowärme, besonders die zur Beheizung der Widerstandsöfen verwendete, verbessernd aufs Netz, da der Leistungsfaktor dieser Oefen gleich 1 ist. So beträgt in dem oben erwähnten, voll elektrifizierten Werk der Leistungsfaktor 0,95. Die besondere Konstruktion der Oefen gestattet es, diese bei Spitzenüberhöhung auf kurze Zeit ohne Betriebsstörung auszuschalten. Z. B. hat ein Werk, das 50 % seines Energiebedarfs für Elektrowärme verwendet (Fig. 12), die Betriebsführung durch Maximumanzeiger mit optischen Signalen so verbessert, dass die Benutzungsdauer von 2800 auf 4200 Stunden gestiegen ist.

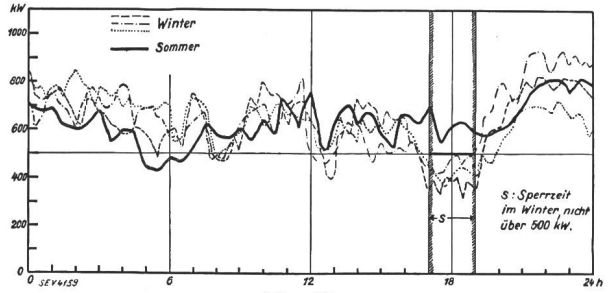

Fig. 12.
Belastungskurven eines Metallwerkes mit 50 % Elektrowärme.

Wo immer ein Wille vorhanden ist und Energieerzeuger wie Energieverbraucher mit gegenseitigem Verständnis an die hier behandelten Probleme herangehen, da werden diese auch gelöst werden: zunächst zum Nutzen der Beteiligten, darüber hinaus aber auch zum Wohle der Gesamtheit. Diese Feststellung gilt ganz besonders auch für schweizerische Verhältnisse.

Diskussion.

Der **Vorsitzende** spricht dem Vortragenden für das umfassende Referat den besten Dank aus und eröffnet die Diskussion.

A. Wälchli, Aargauische Elektrizitätswerke, Aarau: Die Vertreter der Elektrizitätswerke können Herrn Professor Knoops für den reichhaltigen Vortrag, der auch vor Industriellen, z. B. im Verein schweizerischer Maschinenindustrieller gehalten werden sollte, nur dankbar sein. Sie erfuhren vieles, was ihnen bei den Verhandlungen mit Industriellen, die für die Anschaffung elektrischer Oefen in Frage kommen, sehr wertvoll sein wird. Die schweizerischen Industriellen sind im allgemeinen über die Vorteile der Elektrowärme viel zu wenig aufgeklärt und — man darf es schon sagen — auch bei vielen Elektrizitätswerken mangelt es heute noch oft an den nötigen Kenntnissen, um die Fabrikanten ihres Versorgungsgebietes mit Erfolg für Elektrowärme zu gewinnen. Eine grosse Schwierigkeit taucht bei jeder Verhandlung sofort mit grossem Gewicht auf: der Preis für die Energie. Darüber weiss man heute noch sehr wenig, und es wäre daher sehr zu begrüssen, wenn der Herr Vortragende sein Referat, das im Bulletin erscheinen wird, mit Aequivalenzzahlen ergänzen würde; erwünscht wären Erfahrungszahlen darüber, wieviel Rp./kWh man für die verschiedenen Anwendungen der Elektrowärme bei einem bestimmten Preis des Oels oder der Kohle verlangen darf, um konkurrenzfähig zu sein. Es ist interessant, festzustellen, dass beispielsweise in den Vereinigten Staaten und in England, wo das Oel viel billiger ist als bei uns, die Elektrowärme sehr verbreitet ist, trotzdem die elektrische Energie zu industriellen Wärmezwecken wesentlich teurer abgegeben wird; in der Schweiz haben wir teureres Oel und billige Energie und trotzdem noch wenig Elektrowärme.

Der **Vortragende** teilt einige Erfahrungszahlen aus normal geführten Betrieben mit: Bei einer mittleren Messingschmelzanlage entspricht bei durchaus vergleichbaren Verhältnissen ein Oelpreis von 120 RM/t loco Ofen einem Preis der elektrischen Energie von 5,5 Pfg./kWh. Bei einer Aluminiumschmelzanlage ergab sich bei gleichem Oelpreis ein Aequivalenzpreis der elektrischen Energie von 7 Pfg./kWh. (Weitere Beispiele siehe Antwort zum Votum Binz.)

Der **Voristzende** dankt für diese Angaben. Die Lösung der Frage, warum wir in der Schweiz noch so wenig industrielle Elektrowärme haben, liegt vielleicht im Umstand, dass unsere Industriellen in den letzten Jahren sehr wenig Kapital frei hatten, um Betriebsumstellungen vornehmen zu können. Die Initiative muss von den Werken herkommen, und es wird intensive Einzelbearbeitung nötig sein.

G. Keller, A.-G. Brown, Boveri & Cie., Baden: Herr Professor Knoops hat in seinem Vortrag gezeigt, dass die Elektrowärme heute in alle Gebiete Einlass gefunden hat, wo Wärme überhaupt gebraucht wird, selbst in solchen, welche noch vor wenigen Jahren der Kohle, dem Oel oder dem Gas als absolut reserviert erschienen.

In einer Tabelle hat uns der Herr Vortragende die Verwendungsmöglichkeit verschiedener Metall-Legierungen für Heizkörper gezeigt. Für die hauptsächlichst verwendete Chrom-Nickel-Legierung gab Herr Prof. Knoops in seiner Tabelle eine Temperatur von 1100° C an. Für dieses Material ist eine Temperatur von 1100° C die Grenztemperatur, für welche es überhaupt noch verwendet werden darf, wenn nicht die Lebensdauer der Heizelemente allzu kurz ausfallen soll. Es herrscht nun vielfach die Meinung, dass man Oefen, welche mit Chrom-Nickel-Draht ausgerüstet sind, ganz allgemein für Temperaturen bis zu 1100° C gebrauchen könne. Dies ist nun absolut nicht so. Wenn wir einen Draht an freier Luft durch Stromdurchgang auf 1100° C erhitzen, dann bildet sich an der Oberfläche eine leichte Oxydschicht, welche das darunter liegende Metall vor weiterer Oxydation schützt. Steigern wir die Temperatur, dann vermag die äussere Oxydschicht diesen Schutz nicht mehr zu gewähren und die Oxydation schreitet gegen die Tiefe zu vorwärts; der Draht wird zerstört. Bei gleichbleibender Strombelastung steigt nun die Oberflächentemperatur des Drahtes um so mehr, je mehr wir den Heizdraht mit Chamotte oder mit isolierendem Material umgeben. Da 1100° C die Grenztemperatur für die Verwendungsfähigkeit von Chrom-Nickelmaterial ist, so ergibt sich folgerichtig, dass die Betriebstemperatur eines Ofens um so niedriger sein muss, je mehr die Heizkörper in Chamotte eingebettet sind. Diese Erkenntnis scheint noch nicht bei allen Ofenfabrikanten durchgedrungen zu sein, und es ist bedauerlich, wenn heute noch den Interessenten die möglichste Verkapselung der Heizwiderstände als besonderer Vorteil einer Ofenkonstruktion angepriesen wird.

Herr Prof. Knoops hat in seinem Vortrag ganz allgemein nur die grossen Vorteile der Elektroofenanlagen hervorgehoben. Es wäre unklug, zu verschweigen, dass es auch Ofenanlagen gibt, welche die an sie gestellten Erwartungen nicht erfüllen. Ich habe in meiner langjährigen Tätigkeit auf dem Elektroofengebiete sehr oft die Erfahrung machen müssen, dass bei der Projektierung von Ofenanlagen den Ofenkonstrukteuren aus irgendwelchen Gründen viel zu wenig Angaben darüber gemacht werden, welchen Bedingungen der Ofen entsprechen muss. Eine gewisse Geheimniskrämerei spielt dabei immer die Hauptrolle. Sehr oft nimmt man als Vorbild für die neu zu beschaffende Elektroofenanlage auch die alte Gas- oder Kohlenofenanlage, ohne zu bedenken, dass ein Elektroofen ganz andere Möglichkeiten bietet, um die gestellten Bedingungen zu erfüllen. Daraus ergeben sich dann sehr oft Anlagen, welche wärmewirtschaftlich nicht das

sind, was sie sein könnten und sowohl der Klient wie auch das stromliefernde Elektrizitätswerk sind über die erreichten Resultate bitter enttäuscht. Um solche Fehlschläge zu verhüten, gibt es nur ein Mittel: engste Zusammenarbeit zwischen Elektrizitätswerk, Ofenlieferant und Benützer der Ofenanlage.

Herr Oberingenieur Wälchli hat ganz richtig erwähnt, dass die Einführung von Elektrowärmeapparaten in der Industrie in der Schweiz ausserordentlich schwierig ist. Auf meinen Akquisitionsreisen im Ausland stosse ich immer auf die Ansicht der Klienten, dass wir in der Schweiz der billigen Wasserkräfte wegen wohl mit der Elektrifizierung der Ofenanlagen in der Industrie bald fertig seien. Leider ist dies nicht so, und es sind viele Gründe dafür vorhanden. Einen der Gründe hat Herr Dir. Schiesser bereits erwähnt, es mangelt der Industrie heute tatsächlich das Kapital für eine grosszügige Umänderung ihrer Anlagen. Einen andern Grund sehe ich aber in den Einheitstarifen, welche die Elektrizitätswerke gerade den grossen Unternehmungen gewähren. Bei Betriebskosten-Kalkulationen setzt der Betriebsbeamte als Energiepreis immer den Durchschnittspreis ein, welchen das Werk nach Zähler bezahlt. Dass dies falsch ist, ist klar; man kann die Betriebsleute aber nicht dazu zwingen, in ihrer Kalkulation den Energiepreis für Licht und Motoren höher

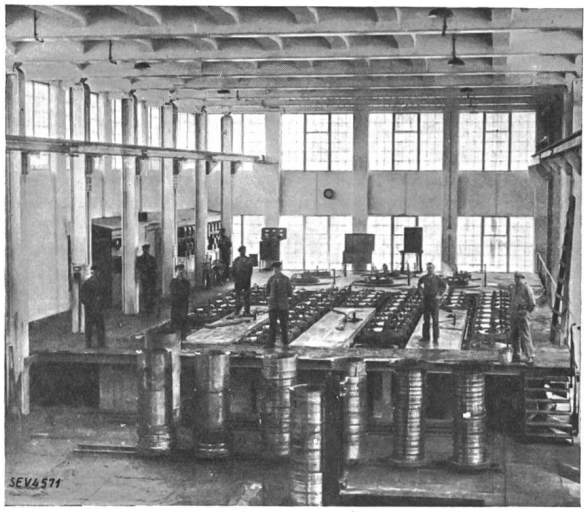

Fig. 1.
Blankglühofenanlage, System Brown Boveri-Grünewald bei Sandvikens Jernverks A/B Sandviken (Schweden).

einzusetzen, denn es mangeln meistens auch die Angaben, um eine solche Kalkulation durchführen zu können. Dass anderseits die Elektrizitätswerke für Elektrowärme dann nicht noch speziell niedere Preise einsetzen können, ist ebenfalls klar, denn sie haben ja die Energie für Licht bereits zu billig verkauft.

Im folgenden möchte ich noch einige Bilder von Elektroofenanlagen zeigen, welche von unserer Schweizer Industrie im In- und Ausland ausgeführt wurden.

Fig. 1. Zu den Ausführungen von Herrn Prof. Knoops über Blankglühöfen möchte ich noch bemerken, dass das Blankglühverfahren System Brown-Boveri-Grünewald in der gesamten Bandeisen-, Bandstahl- und Drahtfabrikation revolutionierend wirkte. Die Qualität der Produkte stieg mit einem Schlag auf eine vorher nicht bekannte Höhe und Gleichmässigkeit, und die früher äusserst ungesunde Arbeit wurde in den Glühereien abgelöst durch die einfache Bedienung der Blankglühtöpfe in staubfreiem Raum ohne besondere körperliche Anstrengung. Das Bild zeigt den ersten Ausbau der insgesamt 14 Blankglühöfen, die Brown, Boveri an Sandvikens Jernverks A/B, Sandviken (Schweden) geliefert hat. In dieser Anlage werden täglich 100 t hochqualifiziertes Stahlband blankgeglüht.

Einem andern schwedischen Stahlwerk gelang es im Sommer 1934 erstmals, Stahlrohre derart blank zu glühen, dass sie ohne irgendwelche Beizung fünfmal bis zum Endprodukt hinuntergezogen werden konnten. Dieser erstmalige Erfolg wird ein Markstein werden in der Geschichte der Verarbeitung von Stahlrohren.

Fig. 2. Es gibt verschiedene Gründe, welche Betriebsinhaber zur Bestellung einer Elektroofenanlage veranlassen

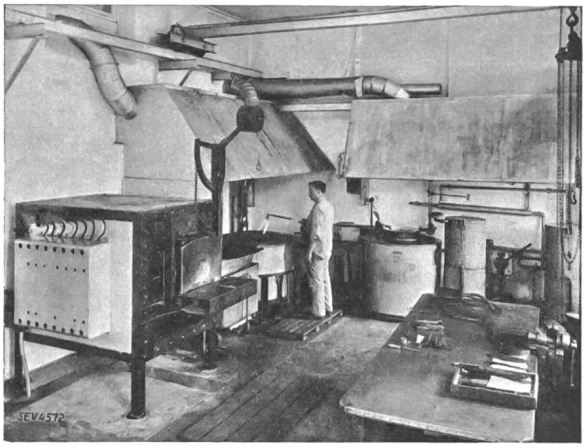

Fig. 2.
Härterei der Firma Carl Elsener, Messerfabrik, Ibach/Schwyz.
1 Muffelofen von 26 kW Anschlusswert für Temperaturen bis 1250° C.
1 Salzbadofen für 1100° C mit 16 kW Anschlusswert, und
1 Oel- und Salzbadofen für Temperaturen bis 800° C und einem Anschlusswert von 18 kW.

können. Meistens erwartet man eine Verbilligung der Gestehungskosten oder man erwartet eine Steigerung der Qualität und damit eine bessere Verkäuflichkeit der Ware, oder aber man will die Arbeitsbedingungen der Arbeiter verbessern. Nach diesem letzten Grundsatz wurde die Härterei der Firma Karl Elsener, Messerfabrik in Ibach, elektrifiziert. Im allgemeinen ist auch heute noch in vielen Betrieben die Härterei eine russgeschwärzte Höhle und nicht selten sind noch die Fenster verdunkelt. Durch die Elektrifizierung

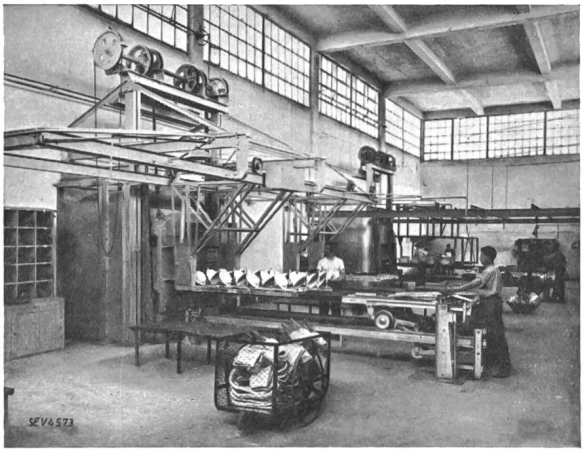

Fig. 3.
Emaillierofenanlage der Firma Merker & Cie., Baden.
2 Emaillieröfen von je 2,4 m Tiefe, 1,2 m Breite, 0,9 m Höhe. Leistungsaufnahme je 220 kW.

wurde aber die Härterei zu einem hellen Arbeitslokal umgestaltet. Der Ofen im Vordergrunde ist ein Härte- und Glühofen für rostfreien Stahl, für Temperaturen bis 1250° C. In der Mitte härtet der Arbeiter Messer aus nicht rostendem Stahl aus einem Bleibad von 1100° C, rechts davon steht ein Anlassofen mit Blei- oder Oelbad.

Fig. 3. Herr Prof. Knoops erwähnte bereits, dass die Kalkulation bei Emaillieröfen äusserst schwer durchzuführen ist. Dies hat den Grund speziell darin, dass bei Betriebskosten-

berechnungen im allgemeinen die maximale Produktionsfähigkeit zu Grunde gelegt wird. Der Brennstoffverbrauch bei Emaillieröfen ist aber nur in sehr geringem Masse von der Produktion abhängig. Ein Ofen, welcher nur mit einem Viertel seiner Produktionsfähigkeit arbeitet, verbraucht fast gleichviel Brennstoff, wie wenn er mit voller Produktion arbeitet. Beim Elektroofen hingegen ist der Energieverbrauch

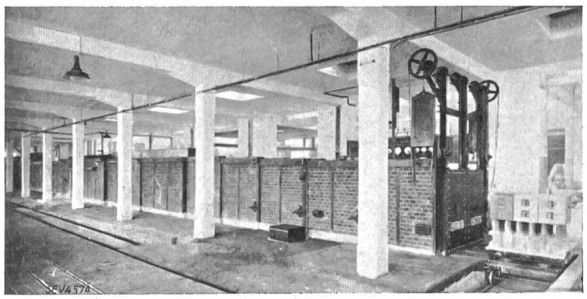

Fig. 4.
Zweibahntunnelofen zum Brennen und Glasieren von Wandplatten, Gesamtlänge 38 m, Anschlusswert 160 kW, Temperatur in der Heizzone 1250° C.

fast genau der Produktion proportional, woraus sich ergibt, dass für Emaillieröfen im allgemeinen ein guter Energiepreis bezahlt werden kann.

Fig. 4. In der keramischen Industrie fand die Elektrowärme erst in den allerletzten Jahren Eingang. Für das Brennen von Tonwaren, Steingut, Fayence und Feuerton sind bereits Anlagen in Betrieb. Die ersten elektrisch gebrannten Gegenstände solcher Art wurden vor Jahren in einem Versuchsofen der A.-G. Brown, Boveri gebrannt. Auch für das Brennen von glasierten Wandplatten kommt mehr und mehr der Elektroofen in Anwendung, sogar in Kohlengebieten, wo die reinen Ausgaben für Kohle gegenüber Elektrizität be-

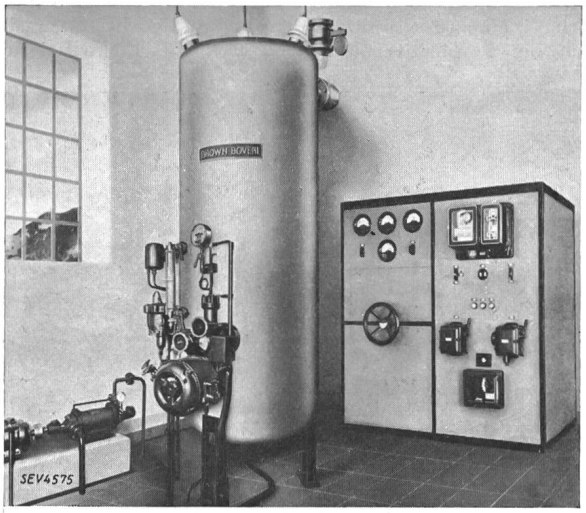

Fig. 5.
Elektrokesselanlage, System Brown Boveri, mit Umlaufpumpe und automatischer Leistungsregulierung auf Kesseldruck und Netzbelastung. Max. Leistungsaufnahme 600 kW, 10 000 V.

sonders niedrig sind. Das Brennen von Hochqualitätsporzellan im Elektroofen ist jedoch noch nicht gelöst. Auch auf diesem Gebiete wird eifrig gearbeitet; die Porzellanfabrik Langenthal stellte zu diesem Zwecke einen speziellen Versuchsofen auf. (In der Zwischenzeit hat die Porzellanfabrik Langenthal die Versuche mit bestem Erfolg zu einem vorläufigen Abschluss gebracht, so dass auch der Scharfbrand von Hartporzellan heute dem Elektroofen erschlossen ist.)

Fig. 5. In der Textil- und Papierindustrie, in der chemischen Industrie und in Färbereien wird viel Wärme in Dampfform verwendet. Statt die Apparate auf elektrische Heizung zu ändern, ist es in solchen Betrieben oft vorteilhafter, die elektrische Energie über Dampf den Apparaten zuzuführen. Da der Dampf sich in besonderen Speicheranlagen oder aber in den alten kohlengefeuerten Dampfkesseln speichern lässt, kann sich der Klient mit dem Energiebezug weitgehend an die Belastungsverhältnisse des Elektrizitätswerkes anpassen. Die Elektrodampfkessel sind heute so durchgebildet, dass zu deren Bedienung gar keine Wartung mehr nötig ist. Die Energieentnahme aus dem Netz kann sowohl nach dem Dampfbedarf als auch nach der Netzbelastung automatisch reguliert werden.

F. Grediger, Lehrer am Technikum Biel: Versuche in einer Stahlschmelzerei ergaben beim Stahlschmelzen im aussetzenden Betrieb einen Energieverbrauch von weit über 1 kWh/kg. Der Ofen fasst 1½ bis 2 t. Ist dieses schlechte Resultat eine Folge der geringen Ofengrösse? Gibt es eine optimale Ofengrösse?

Der **Vortragende** erläutert, dass die in seinem Referat gegebenen Zahlen sich auf Stahlöfen von 8, 12 und 15 t Fassungsvermögen beziehen. Oefen unter 5 t haben einen grösseren Energieverbrauch. Wichtig ist, dass der Stahlofen nur 2 bis 3 h pro Tag aussetzt, sonst entstehen zu grosse Wärmeverluste; ausser der Ofengrösse spielt die Betriebsdauer eine grosse Rolle.

J. Geitlinger, Kummler & Matter A.-G., Aarau: Die Verzinkerei von Kummler & Matter interessierte sich für einen elektrischen Verzinkungsofen. Es wurde ihr aber davon abgeraten, mit der Begründung, dass die Zinkdämpfe die Heizspiralen rasch zerstören.

Der **Vortragende** kennt Verzinkungsöfen, die 3 bis 4 Jahre in Betrieb waren, ohne dass die Heizspiralen unter dem ununterbrochenen Betrieb gelitten hätten. Wichtig ist aber, dass die Heizspiralen vom Zink nicht *angespritzt* werden. Ein richtig konstruierter und betriebener Verzinkungsofen ist absolut betriebssicher.

A. Binz, Bernische Kraftwerke A.-G., Bern, führt, anschliessend an das Votum von Herrn Wälchli, folgendes aus: Wir wären dem Vortragenden ausserordentlich dankbar, wenn er zu seinen interessanten Ausführungen noch einige Angaben wirtschaftlicher Natur beifügen könnte, und zwar Angaben über die Aequivalenz zwischen Oelheizung und Elektroheizung bei den verschiedenen Anwendungen der Elektrowärme.

Die Verständigung zwischen Energielieferant und dem Energieabnehmer ist in den Fällen meist nicht schwierig, bei denen die Elektrowärme eindeutig bestimmte fabrikatorische Vorteile aufweist, d. h. in Fällen, bei denen der Energiepreis nicht die ausschlaggebende Rolle spielt. Schwieriger ist eine Verständigung stets dann, wenn der industrielle Abnehmer ebensogut mit Oel wie elektrisch beheizte Glühöfen verwenden kann, d. h. wenn der Aequivalenzpreis zwischen Oel und Elektrizität für den betreffenden Prozess als massgebend festgestellt werden muss. Es fehlen in solchen Fällen meist genauere Unterlagen, um die Verhältnisse beurteilen zu können; weder das Werk noch die Industrie hat solche Unterlagen, so dass die Wirtschaftlichkeit der Elektrowärme bei bestimmten Energiepreisen nur schwer nachzuweisen ist. Wenn es dem Vortragenden nicht möglich ist, Energiepreise zu nennen, so ist es ihm vielleicht möglich, Durchschnittszahlen für die Aequivalenz zwischen der zum Ersatz von 1 kg Oel nötigen Anzahl kWh anzugeben, und zwar beispielsweise für

Keramik-Brennöfen von ca. 30 bis 50 kW,
Messing-Schmelzöfen von ca. 50 bis 100 kW,
Emaillieröfen von ca. 100 kW für Temperaturen von ca. 900°,
Glühöfen von ca. 100 bis 200 kW für Temperaturen bis 1000°,
Glühöfen für grössere Blöcke von ca. 300 kW für Temperaturen bis 1300°.

Wir haben im weitern mit Interesse Kenntnis genommen von den Mitteilungen des Vortragenden über Massnahmen zur Verschiebung der Elektroheizung auf die Nachtstunden

oder Massnahmen zur Reduktion der Elektrowärme-Leistung während der Spitzenzeit des Lieferwerkes usw. Es scheint nach den Ausführungen des Referenten, dass die Elektrowärme-Betriebe ohne weiteres den Bedürfnissen der Werke angepasst werden können. Wir haben bei den Bemühungen zur Einführung der Elektrowärme stets die gegenteilige Erfahrung gemacht, nämlich die, dass das Werk seine Energie nur absetzen kann, wenn es sie in einer Form zur Verfügung stellt, die dem Abnehmer keinerlei Beschränkungen in der Verwendung der Oefen und der Ofenleistungen auferlegt. Bei beidseitigem Verständnis für die gegenseitigen Bedürfnisse und bei Kenntnis der Aequivalenzverhältnisse zwischen Oel und Elektrizität im einzelnen Fall könnte jedenfalls in der Metallindustrie noch viel Elektrizität als Ersatz für Kohle oder Oel untergebracht werden. Wir haben den Eindruck, dass in Deutschland für die Elektrowärme bedeutend höhere Energiepreise als in der Schweiz bezahlt werden und dass sich dort trotzdem dieses Gebiet der Elektrizitätsverwertung stark entwickelt.

Der **Vortragende** steht seit 9 Jahren in der deutschen Elektrowärmepraxis. Auch in Deutschland dauerte es lange, bis sich die Industriellen auf Elektrowärme umstellten. Aber nach und nach taten sie es, überzeugt, dass sie sich damit Vorteile zunutze machen. Dabei gingen sie in der Anpassung an die örtlichen Verhältnisse der Elektrizitätswerke oft sehr weit. Beispielsweise begannen einige nur bei Nacht zu giessen, unter Ausnützung des Nachtenergiepreises von 3,5 Pfg./kWh. Man darf nie vergessen, dass man die ganze Frage nicht nur vom elektrischen Standpunkt aus betrachten darf. Man muss sie auch vom Material, vom technologischen Standpunkt aus studieren; dann gibt es so viele Vorteile für den Benützer der Elektrowärme, dass der zu bearbeitende Industrielle sich meist überzeugen lässt. Aber es braucht dazu im allgemeinen intensive Arbeit der Werke.

Zur Frage der Aequivalenzzahlen bemerkt der Vortragende folgendes:

Bei einem Durchschnittsölpreis von 13 RM/100 kg frei Keller sind folgende aequivalente kWh-Preise angebracht:

Für keramische Brennöfen nur zum Aufbrennen von Farben mit Temperaturen unter 900° 4 bis 5 Pfg.; zum Garbrennen 1½ Pfg.;

für Messingschmelzöfen mit etwa 50 bis 100 kW Leistung unter Berücksichtigung der Verringerung der Abbrandverluste 5 bis 6 Pfg.;

für Emaillieröfen von 100 kW Leistung etwa 3 Pfg.;

für Glühöfen von 100 bis 200 kW Leistung hängt der Preis ganz davon ab, was geglüht wird. Wir können aber hier einen Preis annehmen von 2½ bis 6 Pfg. Bei Glühöfen für grössere Blöcke mit einer Leistung von etwa 300 kW kommt ein Energiepreis unter 1,8 Pfg. in Frage.

Alle diese Zahlen sind Betriebszahlen, in denen die Betriebspausen, Sonntage usw. berücksichtigt sind.

Professor **Wyssling**, Wädenswil: Die Ausführungen des Herrn Vortragenden sind für uns sehr wertvoll. Die mitgeteilten Ergebnisse machen uns Mut und Hoffnung, künftig mehr Elektrowärme absetzen zu können als bisher, allerdings vielleicht nicht im gegenwärtigen Augenblick, wo unsere Metallindustrie wenig flüssiges Kapital hat. Ferner darf nicht vergessen werden, dass unsere Hydroenergiewirtschaft weniger anpassungsfähig ist als eine vorwiegend thermoelektrische wie die Deutschlands. Trotzdem eröffnen aber die überraschend hohen Aequivalenzzahlen, die der Herr Vortragende nannte, Aussichten, die kaum zu hoffen waren. Derart hohe Energiepreise wurden bisher bei ähnlichen Anwendungen in der Schweiz meist bei weitem nicht erzielt. Es ist nicht recht erklärlich, weshalb wir trotz grosser Anstrengungen und trotz wesentlich billigerer elektrischer Energie als in Deutschland bisher auf diesem Gebiet nicht mehr Erfolg hatten. Vielleicht ist es eben doch die Krise, die diesen Misserfolg verursacht. Heute liegen ja Tausende von kW, in Elektrodampfkesseln installiert, brach, weil der Dampfbedarf dort überhaupt fehlt; dabei sind in den Verträgen die Preise der elektrischen Energie meist auf den Kohlenpreis abgestellt, und zwar derart, dass die Dampferzeugung im Elektrokessel eher billiger wird als im Kohlekessel.

Wir dürfen also wohl die zuversichtliche Hoffnung haben, dass der Energieabsatz für industrielle Elektrowärme rasch zunehmen wird, sobald unsere Industrien wieder besser beschäftigt sind.

F. Egloff, in Firma Egloff & Cie. A.-G., Niederrohrdorf: Wir müssen 6 bis 8 Bäder von verdünnter Salzsäure von je etwa 2 m³ Inhalt heizen und fragen uns, ob es besser sei, diese Bäder von aussen oder von innen (Salzsäure in Berührung mit Heizelementen) zu heizen.

Der **Vortragende** empfiehlt nur Innenheizung; allerdings darf die Temperatur des Säurebades 60 bis 70° nicht überschreiten, sonst nimmt die Verbleiung des Gefässes Schaden.

Das Wort wird nicht mehr verlangt.

Der **Vorsitzende** dankt Herrn Professor Knoops nochmals für die interessanten Ausführungen, die in der Versammlung ein so reiches Echo gefunden haben; er dankt auch allen Diskussionsrednern für ihre Mitwirkung.

Leistungsparameter und Wachstumsgesetze elektrischer und mechanischer Energiewandler.

Von Professor Dr. *W. Kummer*, Zürich.

531.8:621.01

Rationell ausgebildete Typenreihen der verschiedenen Arten von Energiewandlern weisen für die einzelnen Typen, nach Massgabe gewisser, je für eine Reihe charakteristischer Wachstumsgesetze einheitliche Ausführungsmerkmale auf. Durch den Leistungsparameter wird die gemäss der umgesetzten Leistung gegebene spezifische Belastbarkeit der Energiewandler zum Ausdruck gebracht, und zwar je pro Einheit einer aus den Hauptabmessungen der Wandler geometrisch einfach darstellbaren Volumengrösse. Für Gleichstrom-Akkumulatoren, für Wechselstrom-Kondensatoren bei fester Frequenz, und für bewegte Maschinen bei derselben konstanten Drehzahl kann dieser Parameter als eine Konstante der bezüglichen Typenreihe gelten. Bei Wechselstrom-Transformatoren für feste Frequenz nimmt der Leistungsparameter jedoch mit der Typengrösse gesetzmässig zu. Die Verbindung des Leistungsparameters mit einem Drehzahlparameter führt bei bewegten Maschinen auf reihenweise gültige Leistungs-Drehzahl-Beziehungen, deren analytische Formulierung durch Hyperbeln verschiedener Grade gegeben werden kann.

Les séries rationnelles de types des différentes sortes de «mutateurs» d'énergie présentent pour chacun des types des caractères d'exécution uniformes, ces caractères dépendant de certaines lois de croissance typiques pour chaque série. Le paramètre de puissance exprime la capacité de charge spécifique des «mutateurs» d'énergie donnée par la puissance en jeu et ceci par unité d'une grandeur volumétrique qui se laisse facilement déduire géométriquement des dimensions principales de ces «mutateurs». Pour les accumulateurs à courant continu, pour les condensateurs à courant alternatif à fréquence constante, et pour les machines tournantes à même vitesse angulaire constante, ce paramètre peut être considéré comme une constante de la série de types considérée. Pour les transformateurs à courant alternatif à fréquence constante par contre, le paramètre de puissance augmente selon une certaine loi avec la grandeur du type. Pour les machines tournantes, la combinaison du paramètre de puissance avec un paramètre de vitesse conduit à des relations puissance-vitesse valables pour toute une série, que l'on peut formuler analytiquement par des hyperboles de différents degrés.