

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 28 (1937)
Heft: 19

Artikel: Der elektrische Doppeltunnelparzellen-Brennofen der Porzellanfabrik Langenthal
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059870>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 03.04.2025

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

grandeur moyenne qui ne sont pas soumis aux chocs de la voie. Des applications du roulement à billes ou à rouleaux comme paliers d'essieux existent déjà, mais plutôt à titre d'essai à cause des dangers de rupture de billes ou de rouleaux.

4° *Chauffage des trains.* La quantité d'énergie absorbée pour le chauffage électrique des trains représente 5 à 15 % de la consommation totale du chemin de fer. Rapportée à la période de chauffage, la puissance nécessaire au chauffage électrique des trains atteint et dépasse même 30 % de la puissance moyenne locomotive. Il en résulte que les besoins en énergie peuvent être plus grands en hiver qu'en été, bien que le trafic soit au contraire plus faible.

Le chauffage électrique à l'aide des radiateurs répartis à l'intérieur de la caisse des voitures est le système ordinaire, appliqué en général. A l'instar du chauffage à vapeur, les interrupteurs des radiateurs électriques sont à la portée des voyageurs qui peuvent les manœuvrer à volonté.

Le contrôle automatique permet en tout cas d'éviter le surchauffage des voitures, qui, en général, est fréquent et inévitable avec le contrôle manuel; il facilite considérablement la surveillance que le personnel des trains doit tout de même exercer pour qu'une certaine quantité d'énergie ne soit pas gaspillée en chauffant avec portes et fenêtres ouvertes.

Plusieurs administrations ont installé à titre d'essai, sur quelque voitures et automotrices, un système de chauffage

électrique à courant d'air chaud, forcé, avec réchauffeur central disposé sous le plancher de chaque voiture et avec contrôle automatique. Ce système a l'avantage d'être plus rapide que le chauffage par radiateurs; il permet de réduire sensiblement la durée nécessaire du chauffage préalable et peut aussi, par là, contribuer à la réalisation d'économies d'énergie.

5° *Récupération de courant au freinage.* Le freinage par récupération n'est pas utilisable pour arrêter un train, mais uniquement pour régler la vitesse sur des fortes pentes; son installation demande dans le système à courant continu et dans le système à courant monophasé un appareillage supplémentaire sur les locomotives, et, par conséquent, une augmentation de poids des locomotives. Cette augmentation de poids se meut dans les mêmes limites pour les deux systèmes de traction, savoir: de 3500 à 8000 kg pour les grandes machines de plus de 100 tonnes, c'est-à-dire de 3 à 4 % du poids de la locomotive. Le transport de ce poids supplémentaire absorbe une quantité d'énergie qui est à déduire de l'énergie récupérée. Si l'on tient compte, en outre, des frais d'installation, on conçoit que le freinage par récupération ne peut être appliqué économiquement que sur les lignes à fortes et longues déclivités, où le freinage électrique permet d'augmenter la sécurité et de diminuer considérablement l'usure des bandages et des sabots de freins. — (H. Eggenberger et H. Eckert, Rev. mens. Bull. Ass. Int. du Congrès des Chemins de Fer, janv. 1937.) H. E.

Der elektrische Doppeltunnelparzellen-Brennofen der Porzellanfabrik Langenthal.

621.355.4 : 666.5

Wie schon gemeldet wurde¹⁾, fand am 24. August in Langenthal die Kollaudation des neuen Porzellan-Brennofens statt.

«Eine technische Grosstat in Langenthal» wurde der Bau dieses Ofens in den Lokalzeitungen genannt. Wir Techniker und besonders wir SEVer sind ja sonst nicht sehr auf Superlative eingestellt, aber in diesem Falle hat dieser Titel seine volle Berechtigung, denn es wurde hier wieder einmal wie in früheren Zeiten so oft, in letzten Jahren vielleicht etwas seltener, in der Schweiz eine technische Erfindung ersten Ranges von internationaler Bedeutung in die Wirklichkeit umgesetzt.

Schon lange besteht das Bestreben, die elektrische Wärme auch in die Keramik einzuführen; grosse Erfolge wurden auch schon seit Jahren gemacht. So ist wohl den meisten Lesern des Bulletin bekannt, dass in Langenthal seit dem Jahre 1927 ein Durchlauftunnelofen für das Einbrennen der Garnituren in PorzellanGeschirr besteht. Der Ofen wurde seinerzeit von der A.-G. Brown, Boveri & Cie. geliefert und steht seither so einwandfrei im Betrieb, dass man nicht mehr viel von ihm redet, obwohl auch diese Konstruktion grosse Bedeutung hatte.

Die Porzellanfabrik Langenthal steckte sich das Ziel aber weiter. Im Bestreben nach möglichst einwandfreien Produkten und guter Ausnutzung einheimischer Energiequellen suchte sie unter der Leitung von Herrn Gareis, dem Keramiker der Firma, auch das Hartbrennen des Porzellans durch Elektrowärme zu ermöglichen.

Es ist ja zum vorneherein einleuchtend, dass dieses Problem bei den nötigen Temperaturen von über 1400° C schon rein wärmetechnisch besonders schwierig ist. Der Elektriker denkt dabei natürlich an die Beherrschung der hohen Temperaturen und zerbricht sich den Kopf, wie und mit welchem widerstandsfähigen Material diese erzeugt werden können, bei Temperaturen, bei denen bekanntlich jeder Nicht- oder Halbleiter zu einem Leiter wird, bei denen man schon über der Schmelztemperatur des Eisens steht und alles Material, das man bisher kannte, weich und flüssig wird; und doch lag das Hauptproblem und die Hauptschwierigkeit nicht einmal auf dem elektrotechnischen und kalorischen Gebiet. Es war ebenso sehr eine *chemische* Frage. Das Glühen des Porzellans und auch das Einbrennen der Dekors auf fertigem Porzellan

vollzieht sich bei nur 900 bis 1000° C, und zwar in einer *oxydierenden* Atmosphäre (mit Sauerstoffüberschuss), deren Herstellung und Dosierung keine allzu grossen Schwierigkeiten bereitet. Das Hartbrennen des Porzellans muss aber — wenigstens eine Zeitlang bei bestimmten höchsten Temperaturen — in einer *reduzierenden* Atmosphäre geschehen, um die ausserordentlich schädigende Wirkung der auch im besten Rohmaterial enthaltenen Eisen- und andern Oxyden zu kompensieren.

In der Keramik ist als Reduktionsmittel allgemein CO, das Kohlenoxyd, gebräuchlich. Im Feuerbrandofen, d. h. dem bisher gebräuchlichen kohlegeheizten Rundofen, ist eine solche Atmosphäre durch Reduktion der Sauerstoffzufuhr zu den Verbrennungsgasen relativ leicht herzustellen; dass es aber auch nicht eine ganze einfache Sache ist, beweist die Tatsache, dass die grosse Rauchfahne, die von Zeit zu Zeit in nicht gerade schöner Weise schon fast in Bern auf die Porzellanfabrik Langenthal hinwies, dadurch zustande kommt, dass während gewisser Zeiten die Feuerung im Hartbrandofen auf die Produktion von genügend CO eingestellt wird, wobei dann unerwünschterweise viel Russ und dergleichen entstand. Nebenbei erfuhr man, dass der freie Kohlenstoff, eben der Russ, einer der gefährlichsten Feinde guten Porzellans ist und dass dessen Beseitigung ein weiteres Problem bildete.

Es ist der unermüdlichen Forscherarbeit von Herrn Gareis, die sich über viele Jahre erstreckt, zu verdanken, dass das Problem einer reduzierenden Atmosphäre im Elektroofen gelöst wurde, und zwar zu einer Zeit, da noch massgebende Zeitschriften feststellen mussten, dass es wohl in absehbarer Zeit nicht lösbar sei. Dass dabei durch einen ganz besonders genialen Kunstgriff auf ein weiteres nationales Urprodukt, nämlich auf Holz, gegriffen wurde, ist ein weiteres erfreuliches Resultat dieser Bestrebungen.

Es erforderte von Direktion und Verwaltungsrat der Porzellanfabrik Langenthal einen mutigen, schwerwiegenden Entschluss, von der bisherigen, seit Jahrhunderten üblichen Brennmethod abzugehen und einen von den vier Oefen abzureissen, um genügend Platz zu bekommen zur Aufstellung des neuen elektrischen Tunnelofens. In fruchtbarer und verständnisvoller Zusammenarbeit mit der Erstellerfirma des Ofens, Brown, Boveri in Baden, entstand nun dieser grosse Doppeltunnelofen mit gegen 100 m Länge, der in einer 120 m

¹⁾ Bull. SEV 1937, Nr. 18, S. 437.

langen, etwa 20 m breiten neuen Halle untergebracht werden musste.

Wenn man die alten, fast unförmigen, feuerbeheizten Brennöfen ansieht und daneben den neuen Tunnelofen, so wird man stark an die Entwicklung erinnert, die der Dampfkesselbau ebenfalls durch schweizerische Forschungs- und Konstruktionsarbeit durchgemacht hat. Auch dort ist aus einem schwerfälligen, unförmigen Steinbau eines Wasser- oder Feuerrohrkessels eine elegante *Maschine* entstanden, der Velox-Kessel. Ganz ähnlich ging es, wie gesagt, mit diesem Porzellanofen, wobei eine ganze Anzahl elektrotechnischer und mechanischer Probleme zu studieren waren. Sie wurden von Brown, Boveri unter Leitung von Herrn Oberingenieur Morger restlos gelöst.

An Hand einiger Zeichnungen und nachher bei der Besichtigung des Ofens wurde den Eingeladenen von den zwei Hauptbeteiligten, Herrn Gareis und Herrn Morger, in einem klaren, interessanten Vortrage alles Wissenswerte gründlich erklärt. Es ist hier nicht der Ort, auf Details einzugehen; einen kleinen Begriff gibt Fig. 1, wo eben das fertig gebrannte Geschirr aus dem Scharfbrandteil herauskommt, während die Türe rechts den kleineren Glühofen abschliesst. Eine besonders günstige Disposition erlaubte nämlich, den

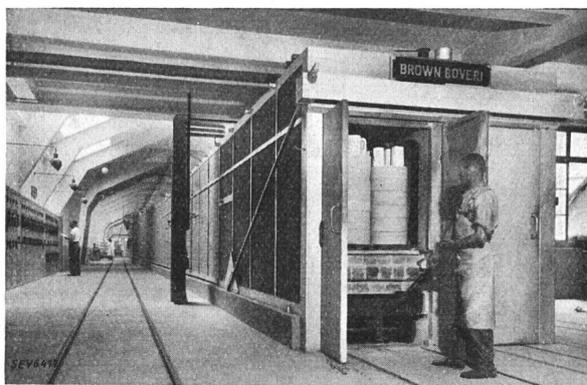


Fig. 1.
Porzellan-Hartbrennofen in Langenthal.
Links Scharfbrandteil, rechts Glühofen.

ersten Teil des Brennens (Glühen mit Temperaturen von 900...1000° C) mit der Abwärme des Scharfbrandofens zu betreiben. Der kontinuierliche Betrieb in beiden Öfen erfordert eine Längsbewegung des Brenngutes auf einem Wagenzug. Selbstverständlich sind bewegte eiserne Teile in Temperaturen von 1400 und mehr Grad nicht mehr möglich; es wurde daher eine Konstruktion entwickelt, bei der die bewegten Teile in der «kalten» Luft unter dem Ofen liegen, wobei ein Aufbau aus keramischem Material das Temperaturgefälle von maximaler bis Lokaltemperatur aufzunehmen hat.

Ein äusserst interessantes Problem bildete der mechanische Antrieb der zwei gegen 100 m langen, aus je 66 einzelnen Wagen bestehenden Züge. Da in der Mitte, in der Scharfbrandzone, wie erwähnt, eine reduzierende Atmosphäre herrschen muss, die sich aber nicht auf den ganzen Tunnel ausdehnen darf, war der Einbau von zwei Schiebern nötig, welche diese Zone abschliessen und genau im Takt mit der Vorwärtsbewegung der Wagen geöffnet und geschlossen werden müssen, was wiederum ein recht interessantes mechanisches Problem von präzisen Antrieben und gegenseitigen Verriegelungen bedingte, so dass die Bedienung nur noch im Niederdrücken eines einzigen Betätigungsknopfes für die Weiterbeförderung des Brenngutes besteht.

Die ganze Einrichtung gestattet relativ leicht, die Brenncharakteristiken genau nach den Anforderungen des Brenngutes einzustellen, woraus besondere Vorteile namentlich in der Verminderung von Ausschuss zu erwarten sind. Dies bedingt eine genaue Kontrolle der Temperaturen und auch des CO-Gehaltes der Reduktionszone, die beide registriert und reguliert werden und durch eine sinnreiche Automatik auf den Gang des ganzen Brennfenbetriebes einwirken.

Diese Brenncharakteristiken, die im alten, feuergeheizten Brennfen die Temperaturen und Atmosphärenzusammensetzung in Funktion der Zeit enthielten, sind jetzt gewissermassen gestreckt und zu örtlichen Kurven geworden, d. h. die Temperatur usw. ist nun eine Funktion des Weges im Tunnelofen. Die Regulierung der Temperatur geschieht durch Regulierung der Spannung (die maximal an den Widerständen 380/220 V beträgt), wobei die neuen Brown-Boveri-Transformatoren mit kontinuierlicher Spannungsregelung²⁾ Verwendung fanden. Interessant ist dabei, dass bis zu Temperaturen von ca. 1000° C Metallwiderstände aus Chromnickel und Eisen-Chrom-Aluminium verwendet wurden, während für die Höchsttemperaturen Silicium-Carbid-Heizstäbe Anwendung fanden, hergestellt von der Globar A.-G., bzw. der Carborundum Co., die übrigens ihre Produkte nach einer Erfindung herstellt, die ursprünglich von einem Schweizer gemacht und dann nach Amerika verkauft wurde. Die Heizelemente sind durch raffiniert konstruierte Vorrichtungen auswechselbar gemacht, damit sie jederzeit ersetzt werden können. Dies muss übrigens sehr selten geschehen; bisher haben sich für die Heizelemente sehr günstig grosse Lebensdauern ergeben.

Im weitem erfuhr man, dass die Leistungsfähigkeit des Ofens auf eine Netto-Porzellanmenge von 3,5 Tonnen gebracht werden kann, welche den Ofen in der Zeit von 54...56 Stunden durchläuft.

Bekanntlich müssen die sämtlichen Porzellangegegenstände zum Brennen in Chamottekapeln verpackt werden, da ja das Porzellan beim Brennen bei den hohen Temperaturen weich wird und übereinandergestellte Schichten zusammenfallen würden. Hier zeigt sich ein weiterer Vorteil des elektrischen Tunnel-Ofens, indem das Gewichtsverhältnis von Kapselmateriale zu Porzellanmaterial nur noch 3 : 1 ist, während es beim alten Rundofen 6 : 1 betrug. Auch sonst zeigen sich die Vorteile des modernen kontinuierlichen Betriebes durch grosse Platz- und Transportweg-Ersparnis; das Porzellan, das aus dem Glühteil des Tunnelofens herauskommt, kann gleich an Ort und Stelle mit Glasur versehen und wieder in den Scharfbrandteil des Ofens, der nur einige Meter entfernt ist, eingeführt werden.

Aus all diesen Vorteilen ergab sich, dass für die elektrische Energie ein nicht allzu ungünstiger Preis festgesetzt werden konnte, der sich in den Verhandlungen mit der Energielieferantin, dem EW Wynau, bei gegenseitigem Entgegenkommen ergab. Der Anschlusswert des Ofens beträgt 530 kW, die Gebrauchsdauer wird nach dem bisherigen viermonatigen Betrieb auf etwa 6000 Stunden pro Jahr geschätzt, so dass der Ofen mit ca. 3 Millionen kWh im Jahr einen sehr ansehnlichen und günstigen Energieverbraucher darstellt.

Für uns Techniker ist das Erfreulichste an der Anlage wohl das, dass hier durch ein dauernd ungetrübtes Zusammenarbeiten auf der Basis gegenseitigen restlosen Vertrauens ein Werk geschaffen wurde, das den Ruf unserer Elektrizitätsindustrie und das Gedeihen unserer Elektrowirtschaft gleichermaßen fördert. Hoffen wir, dass dieser Geist, der in Langenthal zwischen den beiden Firmen herrschte, sich weiter ausdehne und weitere Pionierarbeit ermögliche, die ja eigentlich allein unserer Industrie im weitesten Sinne ihre Exportmöglichkeit und vielleicht ihre Existenzberechtigung gibt.

Die Kollaudation dieses Werkes, die erst nach viermonatigem, einwandfreiem Betrieb vorgenommen wurde, wurde mit einer kleinen Feier und einem solennen Abendbankett im Hotel Bären beschlossen. Als besondere Ueberraschung wurde dort jedem Teilnehmer eine prächtige Vase überreicht, auf der in Goldschrift das historische Datum dieses ersten Brandes im Elektroofen festgehalten ist.

Herr Direktor Kläsi gab einen Ueberblick über die Entwicklung der Porzellanfabrik und die Ueberlegungen, die ihn als verantwortlichen Direktor zur Einführung des Elektrobrandes bewegen haben. Man erfuhr dabei, dass die Fabrik bisher jährlich 5000 Tonnen Kohle verbrauchte, die nun wohl zum grössten Teil erspart werden kann, da die verbleibenden drei alten Rundöfen nur noch als Reserve beibehalten werden sollen; denn die Fabrikleitung fasste den mu-

²⁾ Bull. SEV 1937, Nr. 11, S. 244.

tigen Entschluss, diese Ofen, die bald hätten gründlich neu aufgebaut werden müssen, nicht mehr zu erneuern, sondern sich nun definitiv der Elektrizität anzuvertrauen. Dazu wünschen wir ihr alle den verdienten vollen Erfolg. Herr Kläsi dankte denn auch — wie selten geschieht das doch! — der Erstellerfirma für die einwandfrei ausgeführte Lieferung und das gute Zusammenarbeiten und das unzerstörbare, gute Einvernehmen mit dem Besteller. Er erwähnte auch nebenbei, dass der Ofen immerhin eine Neuinvestition von ca. 1/2 Million Franken erforderte. Nach den jahrelangen Versuchen begann der Bau der neuen Halle und des Ofens am 2. Mai 1936 mit dem Abbruch des ersten Rundofens. Am 17. November 1936 wurde mit dem eigentlichen Ofenbau begonnen und die Montage des Ofens fand im März 1937 ihren Abschluss. Dann erfolgte das Aufheizen und am 15. Mai konnte der Uebergang zum neuen Brennen vorgenommen werden.

Als Vertreter der chemischen Wissenschaften an der ETH dankte Herr Prof. Dr. Baur für die Möglichkeit, hier einen neuen, zum grössten Teil doch chemisch bedingten Fabrikationsvorgang kennenzulernen und gab der Erwartung Ausdruck, dass Langenthal mit diesem ganz neuartigen Ofen wohl bald das Ziel zahlreicher technisch-wissenschaftlicher Exkursionen sein werde.

Unser Präsident, Herr Schiesser, gab als Delegierter des Verwaltungsrates von Brown, Boveri vorerst seinem Dank für den Auftrag Ausdruck und seiner Bewunderung für den mutvollen Entschluss der Fabrik, den Ofen zu bauen, in einem Moment, wo noch so viel ungelöste Probleme vorlagen. Er feierte diesen Pioniergeist der schweizerischen Industrie

und die damit verbundene grosse Entschlusskraft, die wir ja so nötig haben. Dann aber würdigte Herr Schiesser die stille und nun so erfolgreiche Forscherarbeit von Herrn Gareis, durch den, wie er sagte, allein das grosse Werk möglich war. Aber nicht nur die Forscherarbeit als solche, sondern der Wille zum Durchhalten, das Verfolgen der Probleme bis in die allerletzten Kleinigkeiten hinein und die unentwegte Ueberzeugung, dass es gelingen werde, fanden verdiente Würdigung.

Herr Gareis endlich dankte für die Ehrung und für das Vertrauen, das ihm von seiner Fabrikleitung wie auch von der Lieferfirma entgegengebracht wurde. Er gab einen grossen Teil des Dankes weiter an seinen Mitarbeiter von Brown, Boveri, Herrn Obergeringenieur Morger.

Weiter nahmen das Wort die Herren Bütikofer, als Vertreter der Presse, Morgenthaler, Gemeindepräsident von Langenthal, Marti, Direktor des EW Wynau, das die Energie liefert, und zum Schluss Oberst Spychiger, Verwaltungsratspräsident der Porzellanfabrik Langenthal, der schöne Worte für das verantwortungsbewusste Zusammenwirken eines Verwaltungsrates und der Geschäftsleitung fand.

Im anschliessenden gemütlichen Teil kam noch manche Erinnerung an frühere Zeiten und besonders an die verschiedenen Etappen des nun gelungenen Werkes zum Ausdruck.

Der SEV aber wünscht allen den bei dieser Tat Beteiligten, die so sehr die Sache der Elektrotechnik in der Schweiz gefördert haben, ein herzliches Glückauf für die Zukunft.
A. K.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Umbau von Dreileiterkabelnetzen auf Vierleiternetze.

621.316.13

A. Grundsätzliche Möglichkeiten des Umbaus.

Der Umbau bestehender Dreileiterkabelnetze kann zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit durch Umwandlung in ein Drehstrom-Vierleiternetz 380/220 V grundsätzlich auf folgende Arten geschehen:

1. Durch Verlegung eines entsprechend starken Kupferleiters parallel zum Kabel in den Erdboden,
2. durch Verlegung eines Kupferleiters parallel zum Kabel, jedoch bei gleichzeitiger Mitverwendung des Bleimantels des Kabels, so dass auch dieser zur Stromleitung herangezogen wird,
3. durch Verwendung des Bleimantels allein als Nulleiter.

Zur näheren Untersuchung der Besonderheiten der drei möglichen Lösungen wurde ein Dreileiterkabel von 200 m einfacher Länge und 50 mm² Polleiterquerschnitt am Ende mit einem rein ohmschen, veränderlichen Verbraucher, der zwischen einem Polleiter und dem Nulleiter angeschlossen wurde, belastet. Die Phasenspannung betrug 230 V. Als aussenliegender Leiter wurde ein Kupferseil von 35 mm² Querschnitt verwendet.

Durch Messung wurden folgende Widerstandswerte bestimmt:

Polleiters	$R_p = 0,07 \text{ Ohm}$
aussenliegenden Kupferleiters	$R_{cu} = 0,102 \text{ Ohm}$
Bleimantels	$R_m = 0,298 \text{ Ohm}$

Aus der Versuchsreihe wurde für die folgenden Berechnungen der Fall herausgegriffen, bei dem der im Polleiter und, da es sich um eine einphasige Belastung handelt, auch der im Nulleiter fliessende Strom 50 A beträgt. Die zugeführte elektrische Leistung ist daher $50 \cdot 230 = 11,5 \text{ kVA}$.

B. Der aussenliegende Nulleiter.

Die Spannungsabfälle in den einzelnen Leitern gestalten sich hierbei folgendermassen:

1. Der Spannungsabfall im Nulleiter E_0 .

Derselbe ist im wesentlichen durch den ohmschen Widerstand bestimmt und unterscheidet sich in seiner Grösse praktisch nicht von dem in einem normalen Vierleiterkabel ($3 \times 50 \text{ mm}^2 + 35 \text{ mm}^2$) auftretenden Abfall, der ebenfalls

mit genügender Genauigkeit als rein ohmscher Abfall errechnet werden kann.

2. Der Spannungsabfall im Polleiter E_p .

Dieser setzt sich aus folgenden drei Komponenten zusammen:

- dem ohmschen Abfall E_r ,
- dem induktiven Abfall als Folge der Eisenbewehrung E_i
- dem Abfall als Folge der Wirbelströme in Polleitern, Eisenbewehrung und Bleimantel E_w

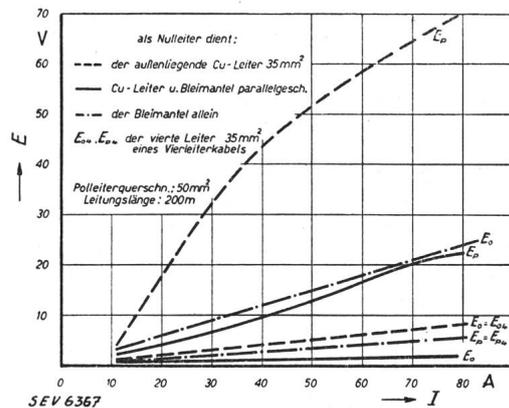


Fig. 1.

Spannungsabfall E_p im Polleiter und E_0 im Nulleiter, bei einphasiger, ohmscher Belastung.

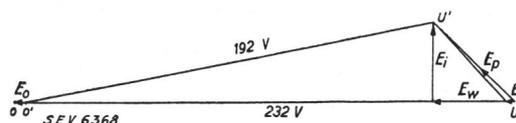


Fig. 2.

Spannungsdiagramm bei aussenliegendem Kupferleiter als Nulleiter ($I_p = I_0 = 50 \text{ A}$).
 OU Spannung am Anfang der Leitung, $O'U'$ Spannung am Verbraucher; einfache Leitungslänge = 200 m.

Im besonderen Falle (Polleiterstrom $I_p =$ Nulleiterstrom $I_0 = 50 \text{ A}$) ist der Polleiterabfall $E_p = 52 \text{ V}$ (Fig. 1 und 2),