

Zeitschrift: Schweizerische Wasser- und Energiewirtschaft : Zeitschrift für Wasserrecht, Wasserbau, Wasserkraftnutzung, Energiewirtschaft und Binnenschifffahrt

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 25 (1933)

Heft: 5

Artikel: Elektrozentrum

Autor: Von Zeerleder

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-922415>

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: 17.05.2025

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

tersuchungen bestätigen uns, daß bis heute eine Verunreinigung des Grundwassers nicht eingetreten ist. Die erhaltenen Ergebnisse sprechen für ein reines Trinkwasser, das den gestellten Anforderungen vollkommen entspricht.

Es wird weiteren Beobachtungen und Untersuchungen überlassen werden müssen, sich davon zu überzeugen, ob dieser gegenwärtig günstige Zustand des Grundwassers konstant bleibt oder etwa Nachwirkungen durch den Stausee, bzw. dessen Infiltrationswasser ausgesetzt ist.

Elektrozement.

Von Prof. Dr. ing. A. von Zeerleder, Neuhausen.

Geschichtliches.

Eine der neuesten Anwendungen aus elektrischer Energie erzeugter Wärme stellt die Herstellung von Elektrozement dar, die gleichzeitig einen sehr bemerkenswerten Fortschritt in der Zementindustrie verwirklicht. Seit dem Bestehen der Portlandzement-Industrie war diese stets bestrebt, die Qualität ihres Zementes zu verbessern, und besonders in Deutschland wurden in den letzten Jahrzehnten in dieser Richtung sehr beachtenswerte Fortschritte erzielt. Während der eigentliche Portlandzement durch Sintern der zu seiner Erzeugung verwendeten Rohstoffe gebildet wird, erstrebte man schon lange eine weitere Verbesserung durch Erzeugung des Zementes im flüssigen Zustande. Als erster hat F r e m y 1865¹⁾ die Eigenschaften des Kalziumaluminates untersucht, ohne daß seine Arbeiten praktische Ergebnisse zeitigten. Ebenfalls von theoretischem Interesse ist die Arbeit von R o t h.²⁾ Erst durch die Arbeit von S c h o t t 1906³⁾ und ganz besonders durch diejenige von B i e d 1908⁴⁾ wurden die Grundlagen für die technische Erzeugung von Tonerdezement geschaffen. Es blieb aber der französischen Industrie vorbehalten, während der Kriegsjahre diesen Gedanken in die Tat umzusetzen und den Schmelzzement (ciment fondu oder ciment électrofondu) in technischem Maßstabe herzustellen.

Chemische Grundlagen.

Betrachten wir die sehr verwickelte Chemie der hauptsächlich gebräuchlichen Zemente (abgesehen vom Dolomitzement), so finden wir, daß diese in der Hauptsache aus drei Komponenten: Kalk, Kieselsäure und Tonerde bestehen. Das in ihnen stets anwesende Fe_2O_3 , das an die Stelle eines Teils der Tonerde tritt, ist

als Verunreinigung zu betrachten und kann daher aus dieser Betrachtung ausscheiden. Der gebräuchliche Portlandzement enthält als aktive, abbindende Bestandteile in der Hauptsache die Verbindung $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$. Wie die auf der Tabelle I enthaltene Analyse zeigt, weist er stets nur geringe Gehalte an Tonerde auf (bis 9 %). Demgegenüber stellt der Elektrozement einen typischen Tonerdezement dar und wird daher vielfach auch als solcher bezeichnet (Tonerde- oder Aluminatzement). Das wesentlich raschere Abbinden des Elektrozementes ist darauf zurückzuführen, daß die Bildung des Hydroaluminates und Tonerdehydrates beim Elektrozement wesentlich rascher vor sich geht als die Bildung des Kalkhydrates und Kalziumhydro-silikates beim Erhärten des Portlandzementes. Im folgenden seien die üblichen Höchst- und Tiefstwerte des Portland- und Elektrozementes einander gegenübergestellt:

Tabelle I.

Bestandteil	Portland- zement %	Elektrozement %	
Kalk (CaO)	60—68	35—42 ¹⁾	35—45 ²⁾
Kieselsäure (SiO_2)	20—28	3—11	5—15
Tonerde (Al_2O_3)	3—9	38—48	35—55
Eisenoxyd (Fe_2O_3)	0,5—5	2—16	5—15
(Titansäure (TiO_2))	—	—	2—3

¹⁾ Aus Analysen handelsüblicher Elektrozemente.

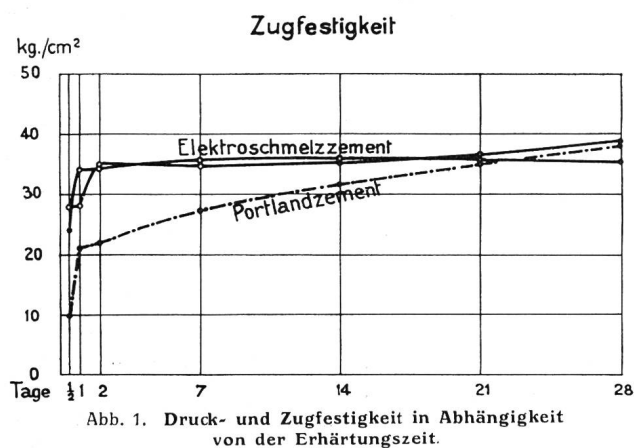
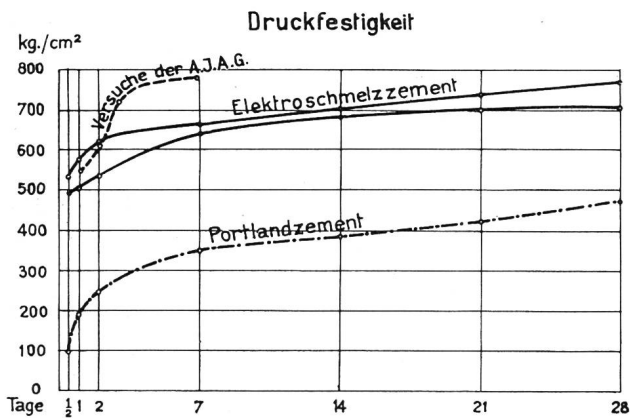
²⁾ Nach Biehl (1926), Professor der Versuchsanstalt Deutscher Portlandzementfabriken.

Eigenschaften.

Daß diese sehr verschiedenen Zusammensetzungen sowie die verschiedene Erzeugungsart der beiden Zementarten verschiedene Eigenschaften im Gefolge haben, ist ohne weiteres verständlich. Die auffallendsten Vorzüge des Elektrozementes sind in der Hauptsache folgende:

1. Hohe Anfangsfestigkeiten.
2. Große Widerstandsfähigkeit gegen chemische Angriffe.
3. Abbinden auch bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt.
4. Günstige Abbindezeit.
5. Absolute Volumenbeständigkeit.
6. Lagerbeständigkeit.

Im Rahmen dieses Aufsatzes können diese Eigenschaften nur kurz angedeutet werden. Abb. 1 zeigt die Druck- und Zugfestigkeit von Elektrozement im Vergleich zu Portlandzement. Vielfach wird der Elektrozement als Schnell-



binder bezeichnet. Dies ist unrichtig. Genau wie der Portlandzement benötigt er zum Abbinden einige Stunden. Dagegen erfolgt, wie die Kurve zeigt, die darauffolgende Erhärtung wesentlich rascher, so daß er nach 48 Stunden schon durchschnittlich 500–600 kg/cm² Druckfestigkeit erreicht hat, um dann langsam weiter zu härten, während Portlandzement in derselben Zeit nur etwa 250 kg/cm² Druckfestigkeit erreicht. Bei versuchsweiser Elektrozementfabrikation der Aluminium-Industrie A.-G. Neuhausen wurde 1925 festgestellt, daß je nach Mischung auch noch wesentlich höhere Druckfestigkeiten bis 600 kg/cm² nach 24 Stunden und über 800 kg/cm² nach sieben Tagen erreicht werden können. (Diese Höchstwerte sind auf den Kurven nicht aufgenommen.) Wegen der höheren Schmelzkosten werden aber so hochwertige Zemente praktisch nicht fabriziert. Beim normalen Schmelzzement liegt seine Endfestigkeit nach sechs Monaten kaum höher als diejenige von hochwertigem Portlandzement.

Seine große Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse sichern ihm ein weites Anwendungsgebiet, überall da, wo Angriffe am

Portlandzement zu befürchten sind. So widersteht Elektrozement einprozentiger Schwefelsäure mit unwesentlichem Festigkeitsrückgang während drei Monaten, während Portlandzement in derselben Zeit schon weitgehend zerstört wird. Auch gegen einprozentige Salzsäure oder Salpetersäure widersteht Elektrozement, wenn auch nicht so gut wie gegen Schwefelsäure, so doch wesentlich besser als Portlandzement. Gegen fünfprozentiges Ammonsulfat zeigt Elektrozement sogar während sechs Monaten einen Festigkeitsanstieg, während besonders die Zugfestigkeit von Portlandzement nach 4–5 Monaten auf Null gesunken ist. Auch gegen andere Salzlösungen, wie Kalziumchlorid, Ammonchlorid, Ammoncarbonat, Kaliumbisulfat, Magnesiumsulfat, Natriumsulfat und — was besonders wichtig ist — gegen Gipslösung und Meerwasser verhält sich Elektrozement wesentlich widerstandsfähiger als Portlandzement. Gegen einprozentige Natronlauge und Gaswasser ist die Widerstandsfähigkeit beider Zementarten ungefähr gleich.

Besonders wichtig ist die Eigentümlichkeit des Elektrozementes, daß er dank der beträchtlichen, während des Abbindens frei werdenden Wärme ohne Schädigung (außer etwa einer leichten Absandung der äußersten, ein Zentimeter dicken Schicht) auch bei Frost verarbeitet werden kann. So zeigten Versuche an 30 cm dicken Probekörpern bei 6° Kälte, daß im Innern nach anfänglichem, leichtem Abfallen von + 10° auf + 6° durch das Abbinden während den ersten zehn Stunden eine Temperaturerhöhung auf + 30° erfolgt, wodurch eine schädliche Beeinflussung durch den Frost vollkommen vermieden wird.

Ein weiterer, sehr wesentlicher und wirtschaftlicher Vorteil ist seine schnelle Erhärtung, dank der es meistens möglich ist, schon nach 1–2 Tagen, bei geeigneter Mischung, auszuschalen. Hierdurch wird wesentlich an Verschalungsmaterial und vielfach auch an Arbeitszeit gespart, wodurch ein beträchtlicher Teil des höheren Preises des Elektrozementes gegenüber Portlandzement ausgeglichen wird. Neben diesen Vorteilen steht als Hauptnachteil der allgemeinen Einführung des Elektrozementes vor allem sein höherer Preis hindernd im Wege, sowie der Umstand, daß seine Verwendung unter Berücksichtigung besonderer Vorschriften erfolgen muß, und es allgemein schwer fällt, Bauarbeiter, die seit Generationen gewohnt sind, Portlandzement zu Beton zu verarbeiten, zur

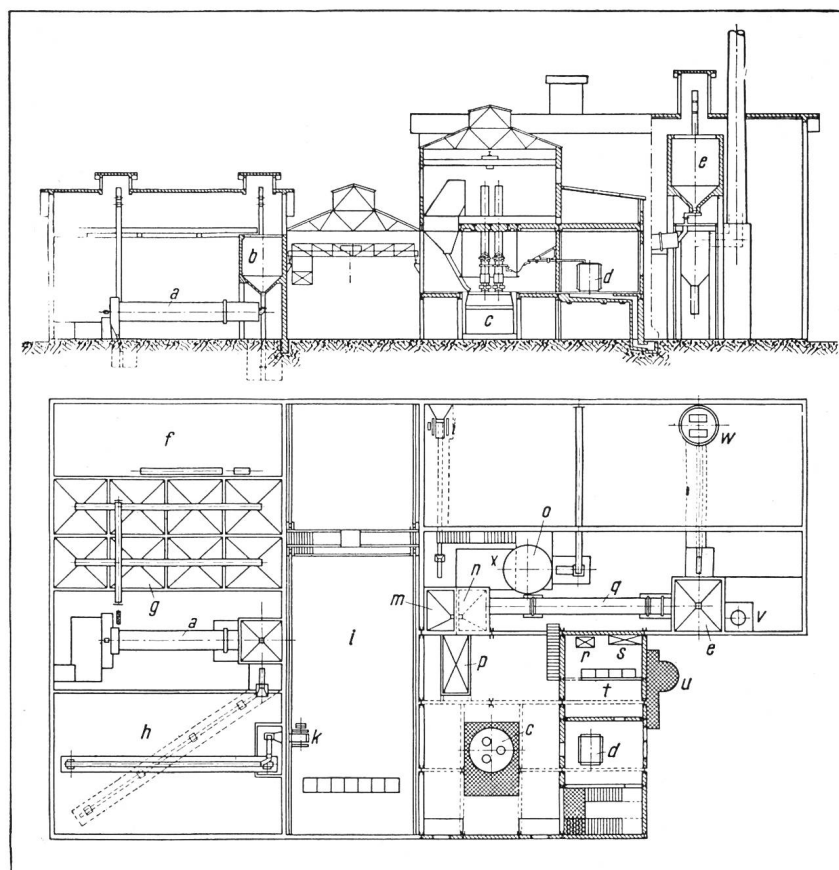


Abb. 2. Anlage Tschischkowitz.

a Zementmühle	i Kühlraum	q Kälzinietrommel
b Klinkersilo	k Brecher für Kinder	r Umformer
c Elektroofen	l Kalkbrecher	s Regler
d Transformator	m Kalksilo	t Schalttafel
e Bauxitsilo	n Bauxitsilo	u Oelgrube
f Packerei	o Kohlsilo	v Schornstein
g Zementsilo	p Durchbruch für den Schrägaufzug	w Kollergang für Bauxit
h Klinkeranlagen		x Feuerung

Einhaltung abweichender Arbeitsbedingungen zu veranlassen. Die hierdurch verursachten Mißerfolge haben eine gewisse Abneigung gegen die Verwendung von Elektrozement verursacht.

Elektrothermische Erzeugung.

Die Erzeugung des Tonerdezementes erfolgt in Wassermantel-Öfen, in Flammöfen, in elektrischen Öfen und in Drehrohröfen. Seit 1932 hat das Hochofenwerk Lübeck ein besonderes Verfahren entwickelt, bei den im Hochofen neben Spezial-Roheisen Schmelzzement erzeugt wird. Da der Schmelzpunkt des Tonerdezementes je nach Zusammensetzung bei 1400—1500 ° C. liegt, und zum Abstecken infolge der verhältnismäßig hohen Viskosität Temperaturen von 1600—1800 ° C. erreicht werden müssen, kommt in kohlearmen Gegenden mit billiger hydroelektrischer Energie für die Schmelzzementfabrikation in erster Linie der elektrische Ofen in Frage, und die Alpenländer besitzen schon eine größere Zahl solcher Anlagen. In den letzten Jahren hat die Firma Siemens & Halske A.-G.

Berlin für die Königshofer Zementfabrik in Tschischkowitz den elektrischen Teil einer solchen Elektrozementanlage geliefert, die gegenwärtig als die modernste Anlage betrachtet werden kann und daher im folgenden zur Beschreibung des Verfahrens hauptsächlich herangezogen wird.⁵⁾ Abbildung 2 zeigt den allgemeinen Aufbau dieser Anlage, wobei aus der Legende alles wesentliche entnommen werden kann. Als Rohstoff für die Herstellung von Elektrozement dient ausschließlich Bauxit und Kalk. Ob der Kalk in gebranntem oder ungebranntem Zustande dem Ofen zugeführt wird, hängt lediglich vom Strom- oder Kokspreis ab. Ist ersterer genügend tief und letzterer entsprechend hoch, so kann das Brennen des Kalkes direkt im Elektroofen erfolgen. Meistens zieht man es aber zwecks Reduktion des Stromverbrauches vor, schon gebrannten Kalk aufzugeben, wobei man bei Ofengrößen von 2000—5000 kW mit einem Stromverbrauch von 800—1000 kWh je t auskommt, während früher mit einem Stromverbrauch von 1200—1500 kWh je t gerechnet

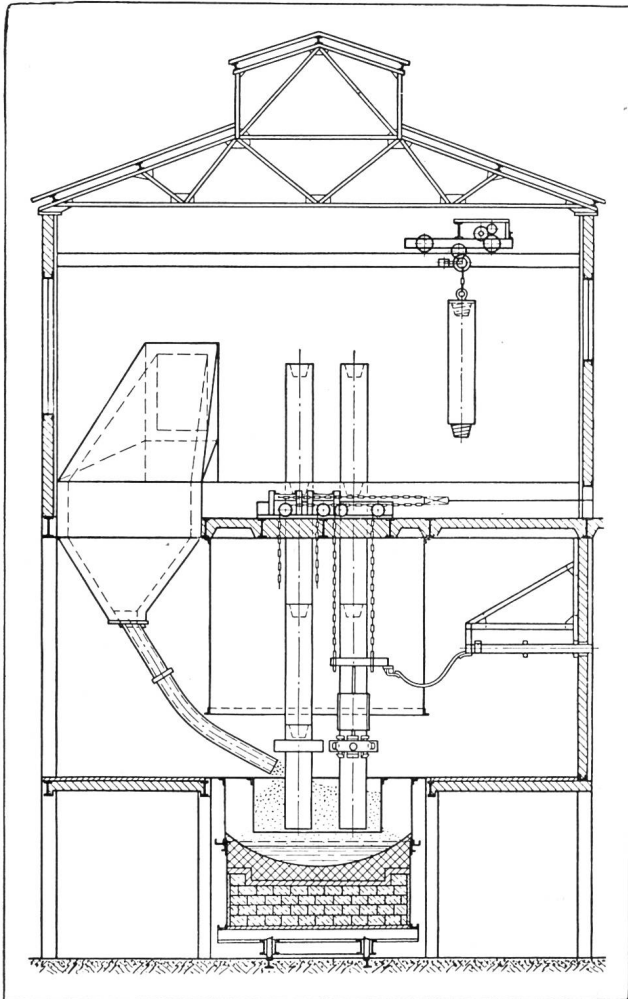


Abb. 3. Elektroofen im Schnitt.

wurde. Um den Stromverbrauch noch weiter auf 700—800 kWh je t zu verringern, wird im vorliegenden Falle nicht nur gebrannter Kalk verwendet, sondern auch der Bauxit in einem Drehrohrföfen vorgeröstet und warm, mit dem Kalk gemischt, durch mechanische Beschickungseinrichtungen, die auf Abbildung 3 deutlich sichtbar sind, dem Ofen aufgegeben. Die erwähnte Abbildung zeigt den Querschnitt durch das Ofenhaus, auf der die von Siemens ausgebildeten, durch Zusammennippeln kontinuierlich gestalteten, gebrannten Elektroden deutlich erkennbar sind. Diese werden durch eine hydraulisch betätigte Rutschfassung, durch welche der Strom zugeführt wird, direkt über der Beschickung festgehalten. Wie aus Abbildung 4 ersichtlich, sind die Elektroden, wie dies bei Stahlöfen schon lange gebräuchlich ist, im Dreieck angeordnet, während früher bei feststehenden Öfen ähnlicher Bauart für Karbid und Ferrolegierungen meistens die Anordnung der Elektroden in Linie gewählt wurde. Die Dreiecksanordnung bietet sowohl elektrisch wie thermisch beträchtliche Vorteile. Dank sorgfältiger

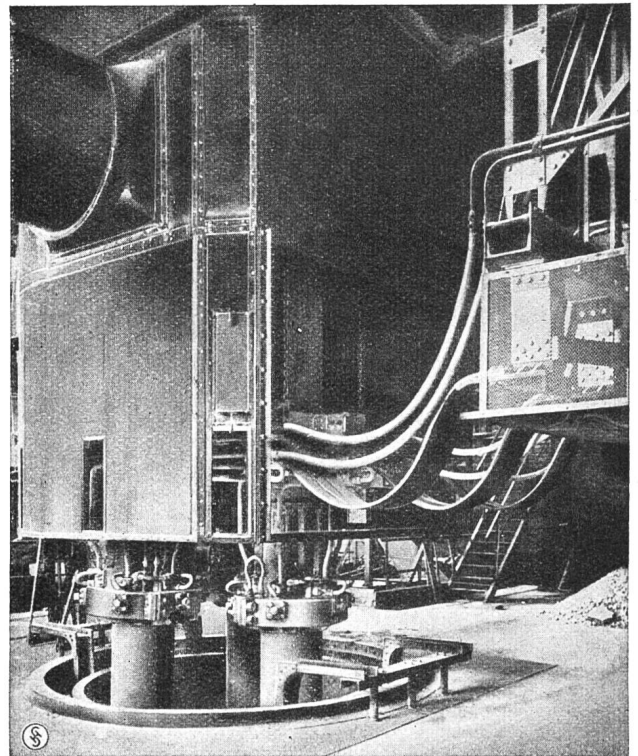


Abb. 4. Biegsame Zuleitungen von den Schienen zu den Ofenelektroden. Rutschfassungen.

Stromführung ist es im vorliegenden Falle möglich, betriebsmäßig einen $\cos. \varphi$ von 0,92 zu erreichen.

In der Elektrotechnik sind im letzten Jahrzehnt gewaltige Fortschritte erzielt worden. Der Norweger Söderberg führte 1919⁶⁾ die sog. selbstbackende oder selbstbrennende Söderbergelektrode ein, bei der in einen geschweißten Eisenblechmantel die plastische Elektrodenmasse eingefüllt wird. Durch die Hitze des Lichtbogens brennt sich diese bei fortschreitendem Abbrand selbsttätig, worauf der sie umhüllende Eisenblechmantel abschmilzt; dieser wird direkt auf dem Ofen durch Aufschweißen neuer Stöße periodisch ergänzt. Auch die Elektrodenfabriken haben in den letzten Jahren wesentliche Verbesserungen der Qualität der gebrannten Elektroden sowie ihrer Armaturen erzielt, deren bekannteste Konstruktion die beim beschriebenen Ofen verwendete Siemens-Rutschfassung darstellt. — Während noch vor einigen Jahren gebrannte Elektroden nur bis 500 mm Ø erhältlich waren, werden diese heute mit Durchmessern bis zu 1200 mm hergestellt. Ob der gebrannten oder der im Ofen selbstbrennenden Elektrode der Vorzug gegeben werden soll, hängt weitgehend von den örtlichen Verhältnissen ab. Im allgemeinen empfiehlt es sich nur für Werke, die zur Herstellung von Elek-

trodenmischung eingerichtet sind, selbstbrennende Elektroden zu verwenden.

Der weiter vorn erwähnte Ofen von 2000 kW gleicht der normalen Ausführung von Karbid- und Ferrosilizium-Ofen; er ist für eine Jahresproduktion von 20,000 t berechnet. Da im Betriebe stets ein gewisser Teil des Eisens und Siliziums durch die Elektrodenkohle reduziert wird, sind am Ofen zwei Abstiche, ein höher gelegener für den Schmelzzement und ein direkt am Boden gelegener für das reduzierte, niedrigprozentige Ferrosilizium vorgesehen. Während der Zement alle 1—2 Stunden abgestochen wird, wartet man mit dem Metallabstich, bis der unruhige Ofengang eine beträchtliche Metallmenge im Ofen verrät.

Das Abstechen des flüssigen Elektrozementes erfolgt in große gußeiserne Masseltröge, deren jeder 250—300 kg Zement faßt. Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, befinden sich die Masseltröge auf einem mechanisch verschiebbaren Wagen. Nach dem Ausfahren werden die festen Blöcke bis zu der für Zement üblichen Weiterverarbeitung im Klinkerlager gestapelt. Ein Vorteil des Elektrozementes liegt auch darin, daß der Klinker unbeschränkt haltbar ist, da er sich unter dem Einfluß von Feuchtigkeit nicht zersetzt.

Betriebskosten.

Um sich über die Wirtschaftlichkeit der Fabrikation ein Bild zu machen, dienen folgende kurze Angaben:

Im ersten Versuchsbetrieb in Tschischkowitz wurden zur Erzeugung einer Tonne Schmelzzement 0,7—0,8 t Bauxit, 0,4—0,45 t gebrannter Kalk, 700—800 kWh elektrischer Energie und 7—8 kg Elektroden verbraucht. Die Kosten einer Anlage für 60,000 t Zement wurden 1929

nach Obst⁷⁾ auf 7,7 Millionen Franken geschätzt.

Literaturverzeichnis:

1. Freymy: Comptes rendus 60, S. 933 (1865).
2. Roth, Wetzlar: Der Bauxit und seine Verwendung zur Herstellung von Zement (1882).
3. O. Schott: Dissertation Heidelberg (1906).
4. Bied: Revue de Métallurgie, S. 749 (1909).
Franz. Pat. Nr. 390,290 und 391,454 (1908).
5. Kauchtschischwili: Siemens-Zeitschrift, 10, 9/10, S. 536 ff. (1930).
6. Schweizer Patent Nr. 85,140.
7. W. Obst: Bauxit-Zemente, Zement, 18, S. 98 (1929).

Im Buch über den Zürcher Kongreß des Internationalen Verbandes für Materialprüfungen (1931) findet sich auf den Seiten 928—941 eine interessante Zusammenfassung von E. Rengade, betitelt „Les Ciments Alumineux“, mit über 60 Literaturangaben. — Im weiteren seien noch folgende Literaturstellen erwähnt:

- A. Guttmann: Ueber die Eigenschaften von Elektrozement und seine Verwendbarkeit zur Herstellung von Hüttenzementen, Stahl und Eisen, Nr. 27, S. 786 (1924).
Journ. d. Four Electrique, 1922, S. 69: La fabrication du ciment fondu au four électrique.
- Hægerrmann: Tonerdezement, Tonindustrie-Ztg., 54, S. 393 (1930).
- V. Charrin: La bauxite et les ciments alumineux, Industrie Chimique, No. 221, S. 409 (1932).
- H. Eisenbeck: Beitrag zur Kenntnis des Tonerdezementes, Chemiker-Ztg. Nr. 28, S. 165 (1926).

Aktuelle Energiewirtschaftsprobleme der Schweiz.

An der Generalversammlung der Bernischen Kraftwerke AG. vom 29. April 1933 in Bern hat Direktionspräsident Dr. Moll verschiedene Mitteilungen aktueller Natur über die gegenwärtige energiewirtschaftliche Lage der Schweiz gemacht, von denen wir hier einiges wiedergeben wollen:

Im Anschluß an die Konstatierung eines Rückganges des Gesamtabsatzes der BKW. im Jahre 1932 glaubt Dr. Moll, daß dieser nur vorübergehenden Charakter habe, und daß nach Ueberwindung der Wirtschaftskrise der Energieabsatz in starkem Maße weiter gesteigert werden könne. Die Tatsache, daß wir trotz den ungünstigen Verhältnissen den Energieabsatz im allgemeinen Licht- und Kraftnetz sowie im Eisenbahnnetz wahren konnten, berechtigt zur Annahme, daß die in den letzten Jahren erfolgte erfreuliche Entwicklung sich auch in Zukunft fortsetzen werde. Wir fügen bei, daß der im Jahresbericht verzeichnete kleine Rückgang der Energieabgabe an das allgemeine Licht- und Kraftnetz nur scheinbar ist, indem dieser, wie eine genaue Nachprüfung ergeben hat, auf die durch den planmäßigen Ausbau unserer Hochspannungs- und Verteilanlagen herbeigeführte Reduktion der Energieverluste zurückzuführen ist.

Im Zusammenhange mit den Mitteilungen über das Kraftwerk Oberhasli teilt Dr. Moll mit, daß an den Bau der zweiten Stufe Innertkirchen erst in einigen Jahren gedacht werden könne. Es ist das auf den Umstand zurückzuführen, daß in den nächsten Jahren in der Schweiz mit einer starken Zunahme an disponibler Energie gerechnet werden muß infolge der kürzlichen oder bevorstehenden Vollendung einer Reihe von

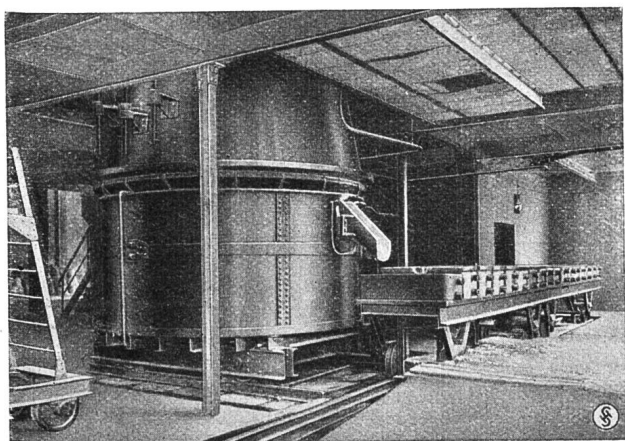


Abb. 5. Unterer Teil des Ofens mit Auslauf für den flüssigen Zement. Kokillenwagen.