

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 82 (1964)
Heft: 9

Artikel: Die elektrische Anlage der Aluminium-Hütte Steg
Autor: Widmer, Hans / Forrer, Kurt
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-67453>

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: 21.02.2026

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



Bild 6. Silo samt Kuppeldach betoniert. Vor den 4 Lisenen stehen die Rohrgerüste als Arbeitsbühnen für das Spannen der Vorspannbewehrung

Die geforderten Betondruckfestigkeiten von $\beta_{28} = 300$ (PC 325) und $\beta_{28} = 400$ konnten mit einem 750er Ibag-Zwangsmischer und einer Kornteilung in vier Fraktionen leicht erreicht werden. Die Beigabe von Betonzusatzmitteln war unnötig. Die Kieszugabe zur hochgestellten Mischanlage mit angebauter Arbauanlage erfolgte mittels Schrapper und Bulldozer. Auf der Entnahmeseite waren zwei Plattrollen auf einem 65 m Rahmengleis mit eingebauter Weiche sowie ein Jeep zum Ziehen derselben installiert. Zwei Kräne — ein F 35 Liebherr mit einem 110 m langen, parabolisch um den Silo gelegten Fahrgleis sowie ein F 14 mit gerader Fahrbahn —

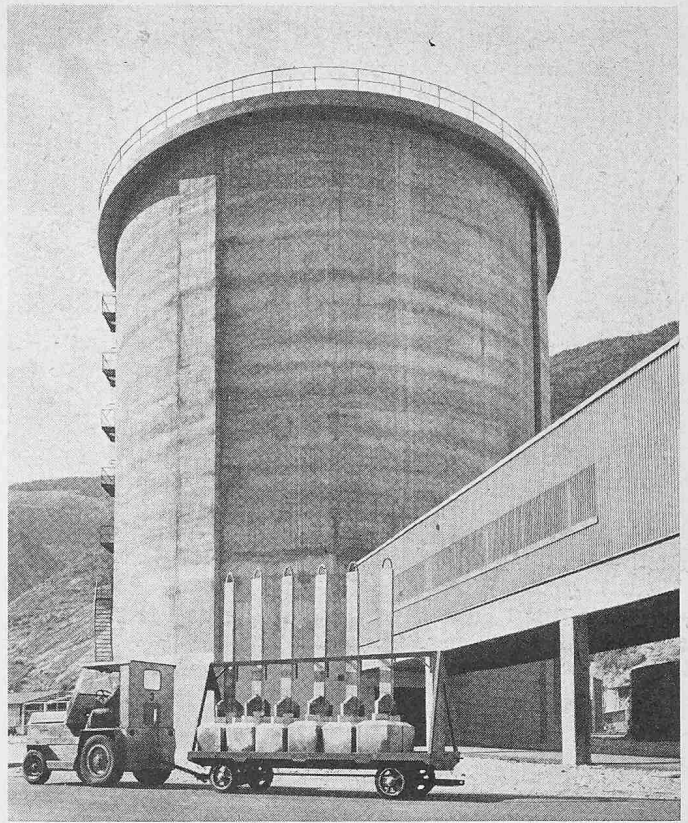


Bild 7. Tonerde-Silo mit der Bedienungsbrücke zur Ofenhalle. Im Vordergrund Transportwagen für angeschlagene Anodenblöcke

haben den Beton-, Holz- und Eisentransport bewältigt. Die Leistung der Kräne war ausschlaggebend für das Arbeits-tempo. Insgesamt wurden im Hauptbauwerk 3639 m³ Beton, 332 t schlaaffe Armierung und 46 t Vorspannstahl verwendet und zusammen 9562 m² Betonflächen geschalt.

Die Baudurchführung und Organisation war einer schweizerisch-österreichischen Arbeitsgemeinschaft, bestehend aus den Firmen Daniel Hildbrand (Gampel/Wallis) und Mayreder, Kraus & Co. (Linz), anvertraut. Die Planung und statische Berechnung erstellte gemeinsam mit der Alusuisse-Bauabteilung in Zürich die Firma Mayreder, Kraus & Co.

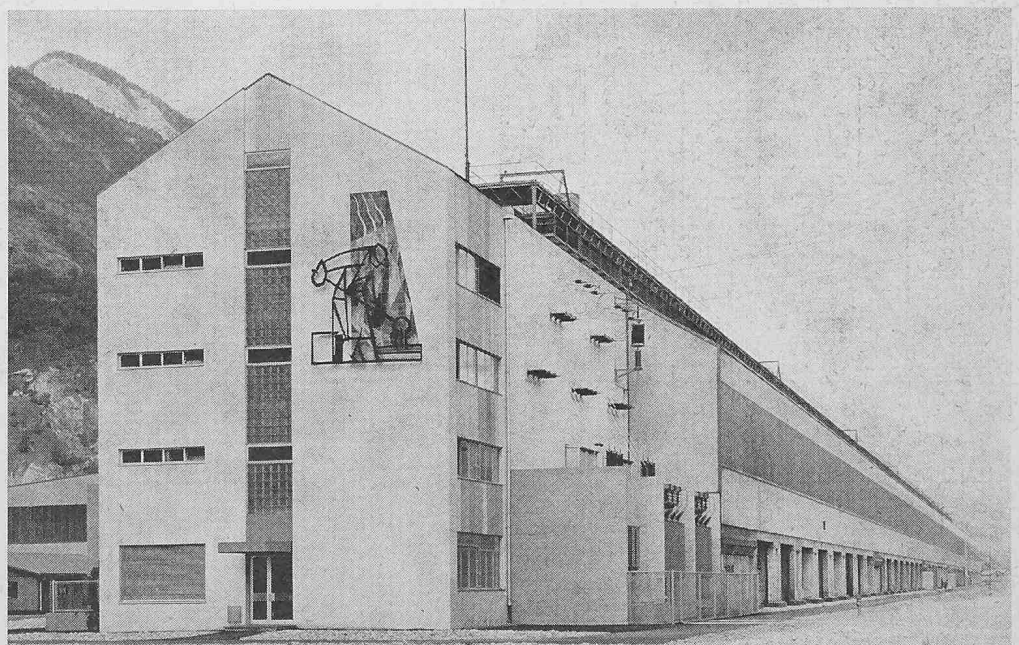
Die elektrische Anlage der Aluminium-Hütte Steg

Von Hans Widmer, dipl. Ing., Vizedirektor, und Kurt Forrer, Ing., Zürich

Aluminium-Hütten benötigen, wie zuvor schon erwähnt, grosse Mengen elektrischer Energie. Zur Herstellung von 1 kg Aluminium aus 2 kg Tonerde werden rd. 15 kWh verbraucht. Bei der heutigen Produktionskapazität der Hütte Steg von rund 25 000 t pro Jahr sind das jährlich insgesamt 375 Mio kWh. Steg und Chippis einschliesslich Walz- und Presswerk zusammen konsumieren rund 1200 Mio kWh pro Jahr; das ist etwas mehr als der Konsum der Stadt Zürich im Jahre 1962.

Rund 14 kWh der vorerwähnten 15 kWh/kg Al werden in Form von Gleichstrom hoher Stromstärke (rd. 100 kA) benötigt. Es sei in Erinnerung gerufen, dass sich Gleichstrom hoher Stromstärke wegen der hohen Verluste nicht für den Transport über grosse Distan-

Bild 1. Gleichrichteranlage mit Elektrolysehalle



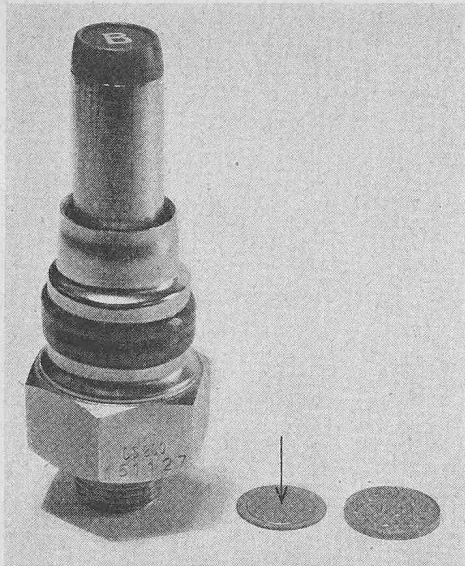


Bild 2 (links)
Links: einbaufertige Silizium-Diode
Mitte: aktiver Teil einer Silizium-Diode

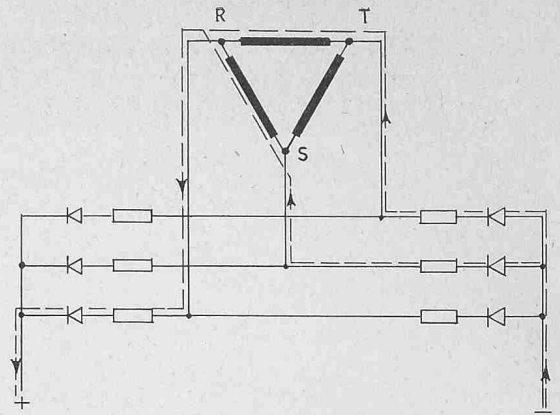


Bild 3 (rechts) Dreiphasenbrückenschaltung

zen eignet. Die Energiezuleitung erfolgt daher in Form von hochgespanntem Dreiphasen-Wechselstrom mit einer Spannung von 65 kV. Die Zuleitung ist auf Bild 1 von rechts kommend sichtbar. In unmittelbarer Nähe der Elektrolyse erst wird die Energie abgespannt und gleichgerichtet.

A. Die Gleichrichter-Anlage

Zur Gleichrichtung von Drehstrom gibt es verschiedene Möglichkeiten: rotierende Umformer, Quecksilberdampf-Gleichrichter, Kontaktumformer und Halbleitergleichrichter. Beim heutigen Stand der Technik sind für die hier benötigte Spannung (475 V) und Stromstärke (max. 108 kA) die Halb-

leitergleichrichter am wirtschaftlichsten. Für Steg wurde ein Gleichrichter mit Silizium-Dioden gewählt.

Bild 2 zeigte eine *Silizium-Diode*, wie sie in Steg verwendet wird. Der aktive Teil ist nicht grösser als ein 10 Rappenstück. Er besteht aus hochreinem Silizium. Die Planflächen sind mit bestimmten Fremdmetallen legiert. In der Pfeilrichtung kann der Strom beinahe widerstandslos fließen. Entgegen der Pfeilrichtung sperrt die Diode den Stromfluss ähnlich einem Rückschlagventil. Diese Eigenschaft hat einem solchen Körper den Namen Halbleiter gegeben. In einem Halbleiter-Gleichrichter werden die Dioden — im Fall Steg sind es deren 1728 Stück — in einer geeigneten Schaltung gruppiert. Für Spannungen über 300 V verwendet man heute im allgemeinen die Dreiphasen-Brückenschaltung nach Bild 3. Bild 4 zeigt das generelle *Schema* der Gleichrichter-Anlage Steg. Die Energie wird über zwei 65-kV-Freileitungen aus dem Netz der Alusuisse eingespeisen. Die Abspannung und Gleichrichtung erfolgt in vier Gleichrichtereinheiten. Normalerweise stehen immer alle vier mit etwa 25 kA im Betrieb. Ihre Dimensionierung ist aber derart gewählt, dass eine Einheit stillgelegt werden kann (Revision, Störung), ohne dass die Elektrolyse dadurch beeinträchtigt wird ($3 \times 36 \text{ kA} = \text{Nennstromstärke}$). Jede Gleichrichtereinheit umfasst: 65-kV-Leistungsschalter, Regeltransformator 65/12,8 bis 31,5 kV mit angebauten Schnellstufenschaltern, Gleichrichtertransformator, 3 Diodenschränke und Gleichstromtrenner. Für den Schutz gegen Diodendefekte ist jeder Diode eine Hochleistungs-Schmelzsicherung vorgeschaltet, welche im Störfall die kranke Diode abtrennt, Bild 5. Überlastung der gan-

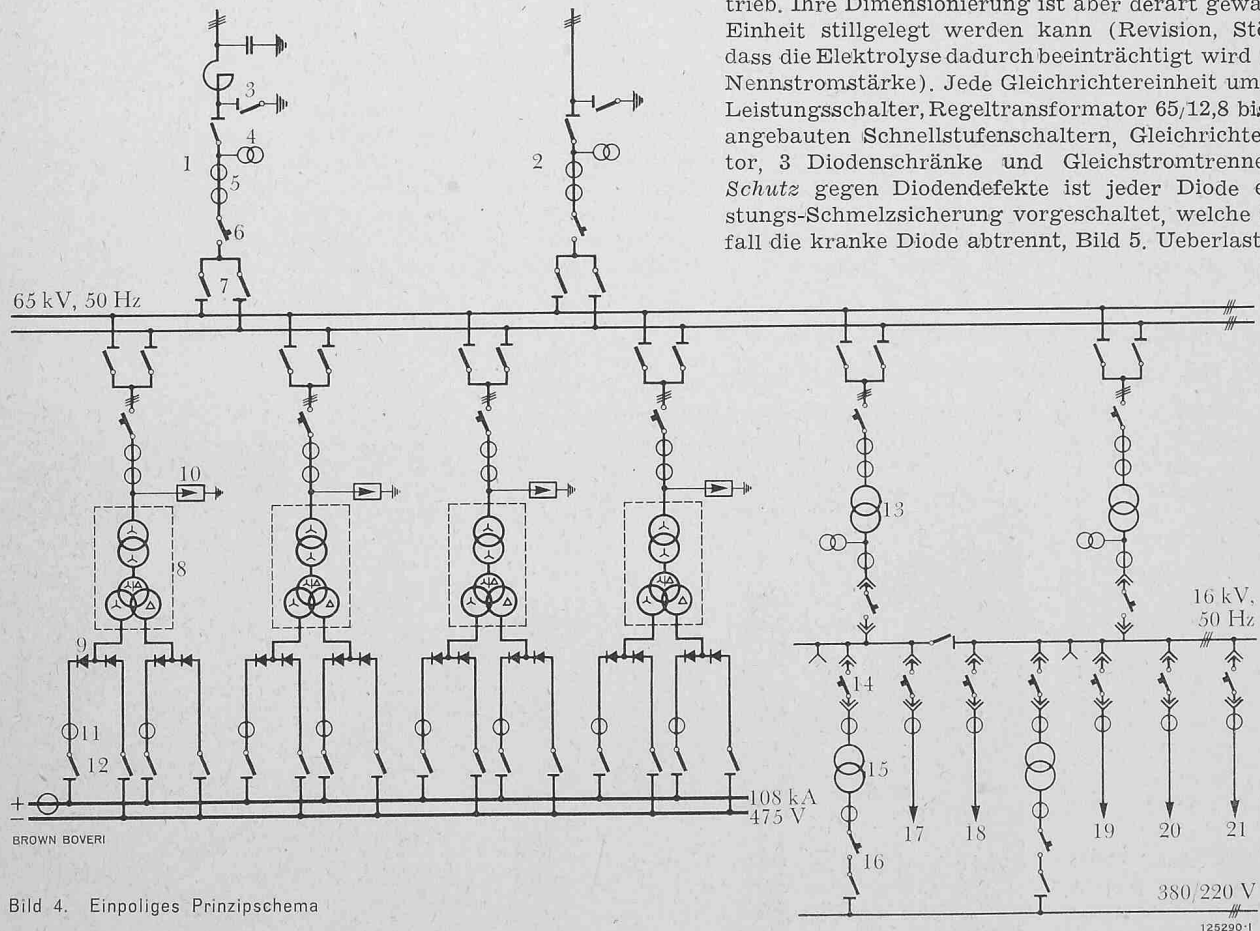


Bild 4. Einpoliges Prinzipschema

- 1, 2 Ankommende Leitungen 65 kV
- 3 Ankopplung für Trägerfrequenz-Telefonverbindung
- 4 Spannungswandler
- 5 Stromwandler
- 6 Druckluftschalter 65 kV

- 7 Trenner
- 8 Gleichrichtertransformator
- 9 Siliziumgleichrichter
- 10 Überspannungsableiter
- 11 Gleichstromwandler
- 12 Gleichstromtrenner

- 13 Hilfstransformator 8 MVA
- 14 Ausfahrbarer Druckluftschalter 16 kV
- 15 Hilfstransformator 640 kVA
- 16 Schalter 380 V
- 17-20 Abgehende 16-kV-Leitungen
- 21 Noteinspeisung aus dem Lokalnnetz

zen Einheit oder sonstige innere Störungen werden von besonderen Relais erkannt, die dann einen Auslösebefehl an den betreffenden 65-kV-Leistungsschalter senden.

Halbleitergleichrichter arbeiten verlustarm. Der Wirkungsgrad bei 475 V und 4×25 kA, gemessen von Hochspannung bis zur Gleichstromsammelschiene (ohne Schienenverluste) beträgt rd. 98 %. Dennoch sind die abzuführenden Verlustwärmemengen beachtlich. Im Falle Steg wurde für die *Diodenkühlung* eine solche mit Luft im geschlossenen Kreislauf mit Luft/Wasser-Rückkühlern gewählt. Das Kühlwasser durchströmt pro Gleichrichtereinheit in Reihenschaltung zuerst diese Rückkühler und dann die Transformerrückkühler. Der Kühlwasserbedarf pro Einheit beträgt 4 l/s.

Zur *Regelung* der Gleichspannung bzw. der Gleichstromstärke wurden hier erstmals Schnellstufenschalter, wie sie für elektrische Lokomotiven entwickelt worden sind, verwendet, Bild 6. Diese zeichnen sich durch eine hohe Schaltgeschwindigkeit (3 Stufen pro Sekunde) sowie durch geringen Wartungsaufwand aus. In Steg wird auf konstante Gleichstromstärke geregelt. Bekanntlich ändert sich der Widerstand der Aluminiumbäderreihe periodisch sprunghaft, wodurch bei konstanter Spannung die Stromstärke entsprechend sprunghaft steigen oder fallen würde. Die Schnellstufenschalter, angesteuert durch die Regelapparatur, korrigieren nun innert 1 bis 2 Sekunden die Gleichspannung derart, dass die eingestellte Bäderstromstärke konstant bleibt. Im wirklichen Betrieb vollbringt jeder Stufenschalter etwa 1200 Schaltungen pro Tag. Die Regelungsart mit diesen Lokomotivstufenschaltern hat sich sehr gut bewährt. Bemerkenswert ist der gute Leistungsfaktor von 0,925, der sich mit dieser Lösung im praktischen Betrieb erreichen lässt.

Die klassische *Anordnung* für die Gleichrichter-Anlage einer Aluminium-Hütte ist der Querbau, welcher zwei bis sechs parallele Elektrolysehallen abschliesst. Im Grundriss ergibt dies ein kammartiges Gebilde. Das langgezogene Gelände einerseits und die neue Gleichrichtertechnik andererseits gestatteten, in Steg neue Wege zu beschreiten: Alle Elektrolysezellen, die in ein und demselben Stromkreis liegen, sind in einer einzigen Halle untergebracht, und die zugehörige Gleichrichter-Anlage schliesst am Hallenkopf als *Längsbau* an. Die Vorteile dieser Anordnung sind offensichtlich. Sie bestehen für die Gesamtkonzeption in ungehinderter Zirkulationsmöglichkeit für den Werksverkehr und ungehinderter Durchlüftung des Werksgeländes; für die Gleichrichter-Anlage in den kurzen Gleichstromleitungen und der magnetfeldfreien Platzierung des Kommandoraumes mit seinen fremdfeldempfindlichen Apparaten und Instrumenten.

Das Gleichrichtergebäude ist dreistöckig, Bild 7. Alle Stockwerke liegen über Flur, Kellerräume wurden hauptsächlich wegen hohem Grundwasserspiegel vermieden. Das oberste Stockwerk beherbergt die 65-kV-Schaltanlage. Grundsätzlich wäre es möglich gewesen, diese als Freiluftanlage auszuführen. Kostenberechnungen haben aber ergeben, dass die Mehrkosten für das 3. Stockwerk niedriger sind als die Minderkosten für das Innenraumschaltmaterial und die sehr kurzen, blank geführten Leitungen zwischen Schaltanlage und Transformatoren. Auch betrieblich ist die kompakte Innenraumkonzeption günstiger. Im mittleren Stockwerk, auf gleicher Kote wie der Arbeitsboden der Elektrolysehalle, stehen die Gleichrichterschränke. Auch der Kommandoraum befindet sich im mittleren Stockwerk. Im untersten Stockwerk sind die Gleichstromtrenner, die Gleichstrom-

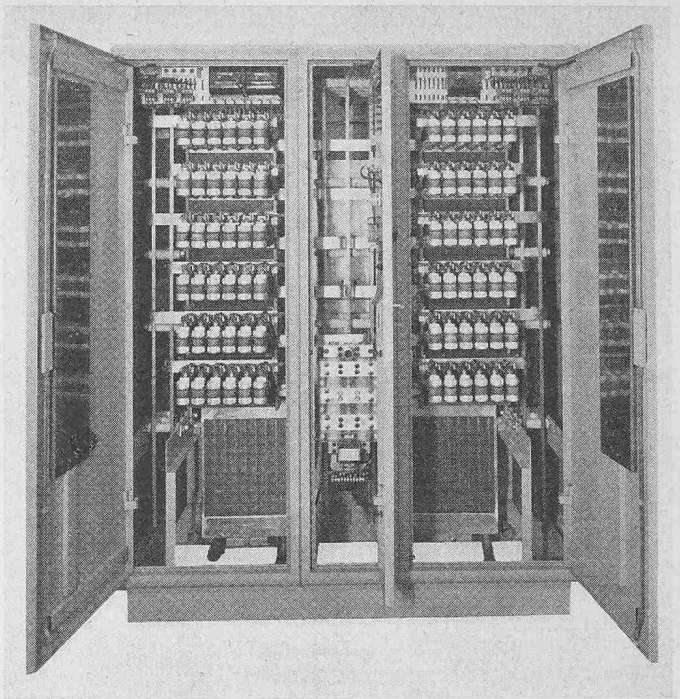
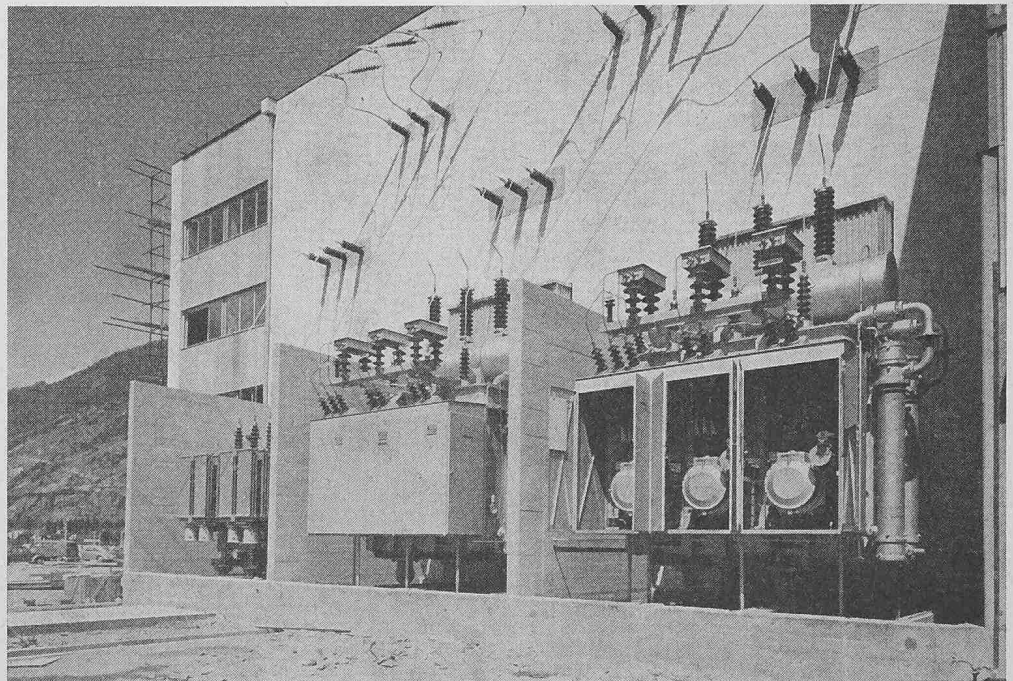


Bild 5. Geöffneter Diodenschrank. Gut sichtbar sind die Schmelzsicherungen in Reihen zu 6 Stück; die zugehörigen Dioden sind hinter den Sicherungen in Kühlkörper eingeschraubt. Unten der luftgekühlte Wasserrückkühler

sammelschienen, die 16 kV-Schaltanlage für die Fabrikversorgung und eine kleine Werkstatt untergebracht. Die Transformatoren stehen im Freien, jeder durch eine Brandschutzmauer vom Nachbarapparat getrennt. Die Dienst- und Hilfsräume für den Gleichrichterbetrieb befinden sich auf verschiedene Stockwerke verteilt im stirnseitigen Viertel des Gebäudes. Nur sie haben Fenster, die Schalt- und die Gleichrichter-Anlage sind dagegen fensterlos.

Die *Bedienung* einer Silizium-Gleichrichter-Anlage ist wenig aufwendig. Im Prinzip läuft sie bedienungslos. Dem Schichtführer in der Elektrolyse werden auf einem Tableau in seinem Büro aus der Gleichrichter-Anlage alle Informatio-

Bild 6. Elektrische Apparate am Kopfende des Langhauses. Links Transformator für die Fabrikversorgung, nach rechts anschliessend zwei Gleichrichtertransformatoren. In den drei geöffneten Kabinen sind die Schnellstufenschalter sichtbar



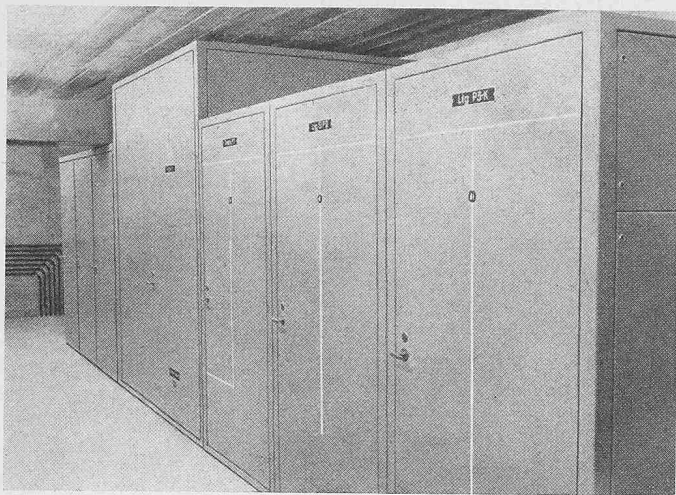


Bild 8. Transformerstation P3. Von rechts nach links: zwei Eingangsfelder mit Lasttrennern, ein Leistungsschalterfeld, eine Transformerkabine, drei Niederspannungsverteiler

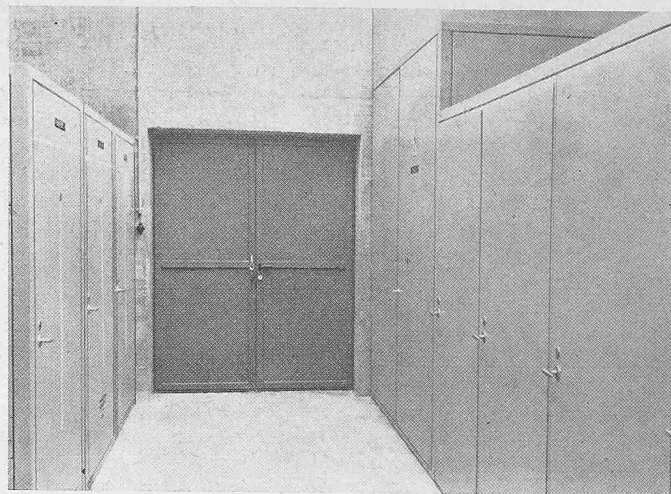


Bild 9. Transformerstation «Ofenhalle»: links 16-kV-Felder, rechts Transformerkabine und drei Niederspannungsverteiler

nen für seinen Betrieb sowie alle Steuerbefehle für die Schalter gegeben, die er betätigen darf, so namentlich: Ändern der Sollstromstärke sowie Ab- und Auffahren der Elektrolyse. Bei einer Störung hat der Elektrolyseschichtführer nur noch das Kommando über den gesunden Teil der Gleichrichter-Anlage. Der kranke bleibt stillgelegt, bis die Störung durch den Pikettelektiker behoben ist¹⁾.

Vom Sammelschienenraum führen Schienepakete für 50 kA zur Elektrolyseanlage, Bild 10. Jedes Schienepaket besteht aus vier parallelen, gegossenen Aluminiumschienen von 450×90 mm Querschnitt; alle Verbindungen sind geschweisst.

B. Fabrikversorgung

In der ziemlich ausgedehnten Fabrikanlage werden erhebliche Energiemengen auch in Form von Drehstrom und Einphasenwechselstrom benötigt, so für Antriebe von Bearbeitungsmaschinen, Wasserpumpen, Ventilatoren, Krane, für elektrische Öfen in der Giesserei und für die Beleuchtung. Als Verteilspannung kam auf Grund wirtschaftlicher Überlegungen eine Mittelspannung von 10 bis 20 kV in Frage. In Anlehnung an das regionale Versorgungsnetz wurde 16 kV gewählt, was die Möglichkeit eines direkten Notanschlusses bietet.

¹⁾ Für weitere Einzelheiten des elektrischen Teiles sei auf die «Brown Boveri» Mitteilungen Bd. 50 (1963), Seite 185 uff. verwiesen.

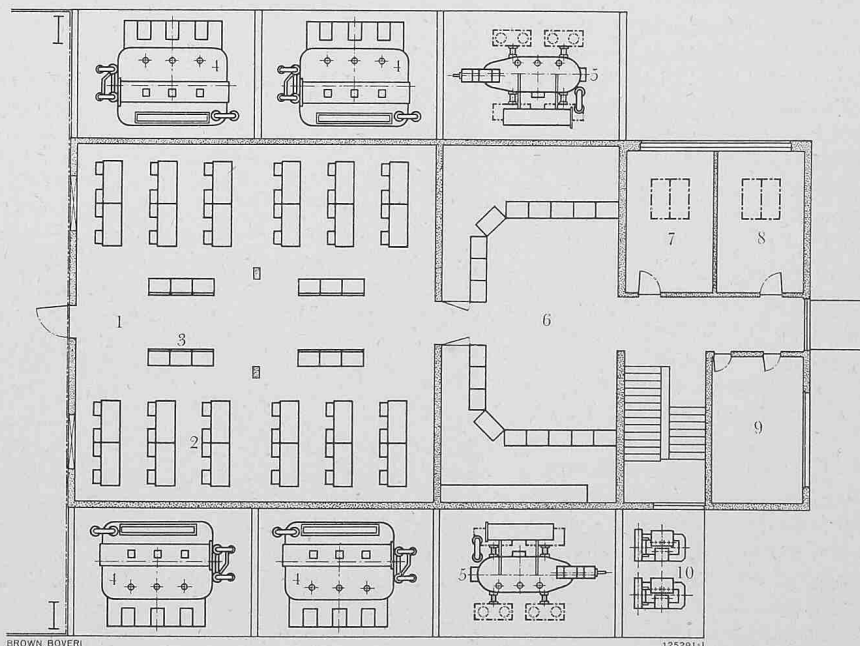
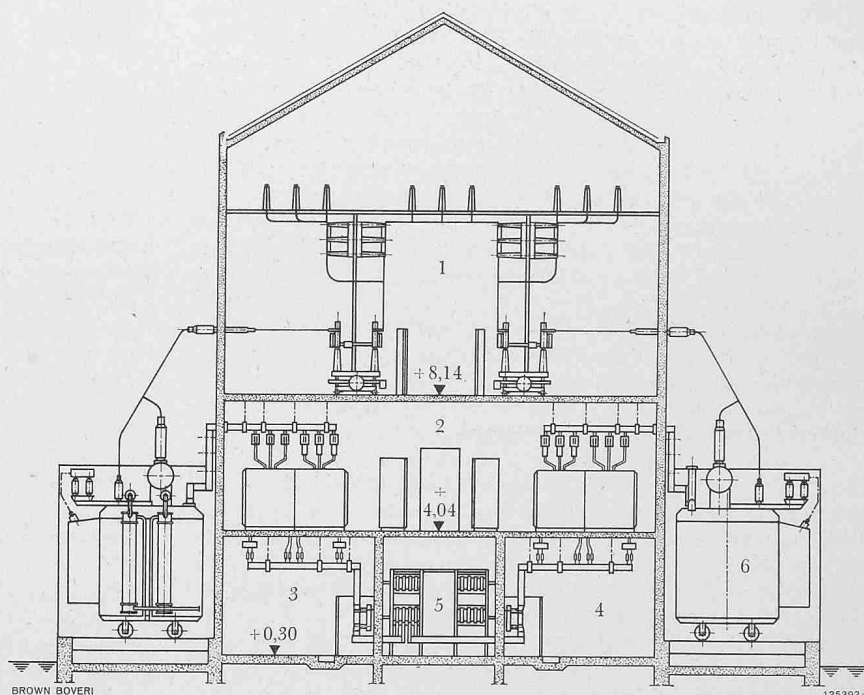
Bild 7. Querschnitt und Grundriss des Gleichrichtergebäudes

Querschnitt:

- 1 65-kV-Schaltanlage
- 2 Gleichrichterraum
- 3, 4 Trennräume
- 5 Sammelschienenraum
- 6 Gleichrichtertransformator

Grundriss:

- 1 Gleichrichterraum
- 2 Diodenschränke
- 3 Hilfsapparate
- 4 Gleichrichtertransformator
- 5 Hilfstransformator 8 MVA
- 6 Kommandoraum
- 7, 8 Büros
- 9 Sanitäre Anlagen
- 10 Hilfstransformatoren 640 kVA



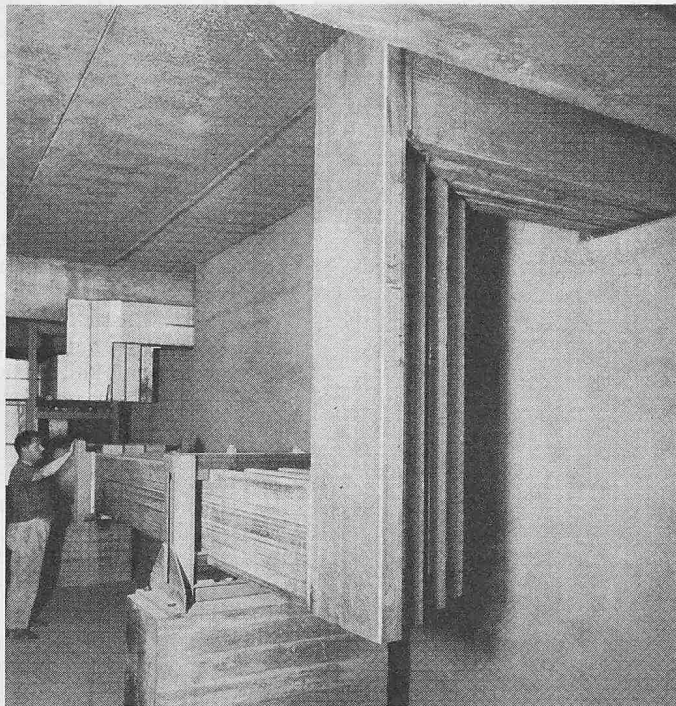


Bild 10. Stromzuleitung zur Elektrolysenanlage, jedes Schienenpaket für 50 kA, besteht aus 4 parallelen, gegossenen Aluminiumschienen 450×90 mm; alle Verbindungen sind geschweisst

Wie aus Bild 4 zu ersehen ist, erfolgt die normale Einspeisung aus dem 65 kV-Netz über einen Regeltransfor-

mator $65/16 \text{ kV} \pm 15\%$ von 8 MVA. Ein zweiter Transformator gleicher Leistung dient der Reserve. Die 16-kV-Hauptverteilstation befindet sich im Gleichrichtergebäude. An diese Station sind die wichtigen Verbrauchszentren mittelst einer Kabel-Ringleitung mit einer Übertragungsleistung von 5500 kVA angeschlossen. In insgesamt 8 Transformer-Stationen wird die Energie in die Gebrauchsspannung 380/220 V abgespannt. Einzig ein 1200-kW-Induktionsofen wird über einen eigenen Einphasentransformator 16 kV/600 bis 200 V angespiesen.

Die Schwierigkeit in der Planung der Fabrikversorgung der Anlage lag darin, dass die Detailangaben über die Zahl der Abgänge und deren Leistungen erst in der zweiten Hälfte der Bauzeit zu erhalten waren. Bei der kurzen Projektierungs- und Bauzeit von nur $5\frac{1}{4}$ Jahren und bei den heutigen Lieferfristen für elektrisches Material hätte die verbleibende Zeit für eine rechtzeitige Fertigstellung nicht ausgereicht. Die Lösung wurde in der Normalisierung der Zellen gefunden, aus denen die Blockstationen aufgebaut sind. Von jedem Zellen-Typ wurde eine geschätzte Anzahl in Auftrag gegeben und erst nachträglich hat man diese Zellen zu Blockstationen zusammengefügt. Bilder 8 und 9 zeigen zwei solche baukastenmässig zusammengestellte Stationen, deren Montage nur wenige Tage benötigte. Normzellen eignen sich sehr wohl auch zum Einbau von Steuerapparaturen, wie beispielsweise Pumpensteuerungen, was ein einheitliches Bild solcher Stationen ergibt.

Wie zuvor erwähnt, besteht im Störfall die Möglichkeit, das Fabriknetz aus dem Lokernetz zu versorgen. Dessen beschränkte Leistung gestattet zwar nur einige privilegierte Verbraucher zu beliefern. Alle andern werden über Relais durch einen Schwachstromauslöseimpuls abgeworfen.

Isotherm-Kompressoren von Brown Boveri

DK 621.515.5

Von Hans Baumann, dipl. Masch.-Ing., und Ernst Niedermann, dipl. Masch.-Ing., Baden

Schluss von Seite 124

5. Massnahmen zur Vermeidung der Korrosion

a) Anordnung der Kühler

Bis 1950 traten an den von Brown Boveri gelieferten 300 Isotherm-Kompressoren kaum wesentliche Schwierigkeiten infolge Korrosion auf. Von da an änderte sich das Bild, indem die durch die Taupunktunterschreitung verursachte Feuchtigkeit in einigen Fällen zu Korrosionsschäden führte. Diese seither in vermehrter Masse auftretende Änderung im Betriebsverhalten ergab sich aus zwei Ursachen: Erstens verschob sich die Verwendungsstruktur der Isotherm-Kompressoren in dem Sinne, dass immer weniger Kompressoren in Kohlenzechen, dafür umso mehr in chemischen Fabriken aufgestellt wurden. Zweitens führte der rasche Fortschritt auf dem chemisch-technischen Gebiet sowie die funktionelle Zusammenarbeit verschiedener chemischer Verfahrensstufen zu einer starken Zusammenballung dieser Industriezweige auf kleinem Raume. Dadurch ergaben sich rasch verschlechternde atmosphärische Bedingungen, unter denen die isotherm verdichtenden Kompressoren ihrer Natur nach am meisten zu leiden hatten. Diese Erscheinung ist nicht nur auf das Produkt eines Herstellers allein beschränkt, sondern ist allgemein und thermodynamisch bedingt.

Bei der Entwicklung des neuen Kompressors wurde deshalb versucht, diesen neuen betrieblichen Bedingungen so weitgehend wie möglich Rechnung zu tragen, und zwar zunächst durch Abscheiden des sich in den Kühlern bildenden Kondenswassers. Zu diesem Zwecke ist ein bewährter und für die Zwischenkühler von zweistufigen Gasturbinen gebauter Feuchtigkeitsabscheider weiterentwickelt und den Kühlern der Isotherm-Kompressoren nachgeschaltet worden. Diese mit Hilfe der Gravitation arbeitende Einrichtung erforderte einen senkrechten Einbau der Kühlerbündel, mit

denen sie eine Einheit bilden (Bild 10). Damit war die Lage des Zwischenkühlers im neuen Kompressor festgelegt. Die Kühlerbündel der verschiedenen Stufen sind aus praktischen Erwägungen gleich und unter sich austauschbar. Sie bilden mit den Rohrplatten, Rohren und Seitenwänden eine Einheit und können leicht nach oben ausgebaut werden. Auf diese Weise ist es möglich, irgendein eingebautes Kühlerbündel durch ein Ersatzbündel auszuwechseln.

Der grosse Volumenfluss durch die neue Verdichterstufe erlaubte nur dann günstige Strömungsgeschwindigkeiten in den Kühlern, wenn diese auf beiden Seiten der Stufe und über die ganze Höhe des Kompressorengehäuses angeordnet wurden. Damit war auch die Länge des Kühlerbündels festgelegt. Um die der Korrosion ausgesetzten Teile möglichst klein zu halten, musste die bisherige Bauweise verlassen werden, bei der das zu fördernde Gas aus dem Diffusor direkt in den Kühler übertritt. Im neuen Kompressor wird die warme trockene Luft aus der Verdichterstufe in den Überströmkanal geleitet, dort verzögert und von aussen her zu den Kühlerbündelpaaren geführt (Bild 5). Damit kann ein grosser Teil der Gehäuseinnenfläche trocken gehalten und vor Korrosion geschützt werden. Das Kühlerbündel selbst ist von den Rohrplatten und den Seitenwänden derart eingeschlossen, dass die entstehende Feuchtigkeit nicht ins Gehäuse austreten kann. Beim Verlassen des Kühlerbündels wird die feuchte Luft durch einen Wasserabscheider geführt, aus dem das Kondenswasser durch ein spezielles Leitungssystem nach unten wegfliessen. Bei dieser Anordnung ist nur noch der sehr kurze Zuströmkanal zur nächsten Stufe einem stark verminderten Feuchtigkeitseinfluss unterworfen. Im ersten Kühlerpaar kann im allgemeinen auf einen Wasserabscheider verzichtet werden, da dort der Taupunkt nur in ganz seltenen Fällen unterschritten wird.