

<b>Zeitschrift:</b>	Bulletin de l'Association suisse des électriciens
<b>Herausgeber:</b>	Association suisse des électriciens
<b>Band:</b>	19 (1928)
<b>Heft:</b>	8
 <b>Artikel:</b>	Die Einphasen-Transformatoren 132/66 kV des Unterwerkes Kerzers der S.B.B.
<b>Autor:</b>	Winiger, A.
<b>DOI:</b>	<a href="https://doi.org/10.5169/seals-1057027">https://doi.org/10.5169/seals-1057027</a>

### **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:** 20.02.2026

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

# SCHWEIZ. ELEKTROTECHNISCHER VEREIN BULLETIN ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

Generalsekretariat des  
Schweiz. Elektrotechnischen Vereins und des  
Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke | **REDAKTION** | Secrétariat général de  
l'Association Suisse des Electriciens et de  
l'Union de Centrales Suisses d'électricité

Verlag und Administration | **Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G.** | Editeur et Administration  
Zürich 4, Stauffacherquai 36/38

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet | Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

XIX. Jahrgang  
XIX<sup>e</sup> Année

Bulletin No. 8

April II 1928  
Avril II

## Die Einphasen-Transformatoren 132/66 kV des Unterwerkes Kerzers der S.B.B.

Von A. Winiger, Ingenieur, Genf.

Der Verfasser beschreibt die im Grossunterwerk Kerzers der S.B.B. installierte Transformatorenanlage für die Entnahme von Energie aus der 132 kV Uebertragungsleitung Vernayaz-Rupperswil. Es wird besonders auf konstruktive und fabrikationstechnische Einzelheiten näher eingegangen und die Ergebnisse von Versuchen über die Durchschlagsfestigkeit verschiedener Drahtisolationen mitgeteilt.

<sup>621.314(009)</sup>  
L'auteur décrit l'installation de transformateurs, montée dans la grande sous-station des C.F.F. à Chiètres, alimentée par la ligne de transport d'énergie à 132 kV Vernayaz-Rupperswil. Il entre en particulier dans certains détails de fabrication et de construction et communique les résultats d'essais relatifs à la résistance au perçement de différents isolations de fils.

### I. Einleitung.

Das Netz der S.B.B. wird im wesentlichen durch zwei Kraftwerksguppen gespeist: Amsteg-Ritom am Gotthard und Vernayaz-Barberine im Wallis. Diese beiden Gruppen sind zusammengeschlossen durch eine Kupplungsleitung von 132 kV Span-

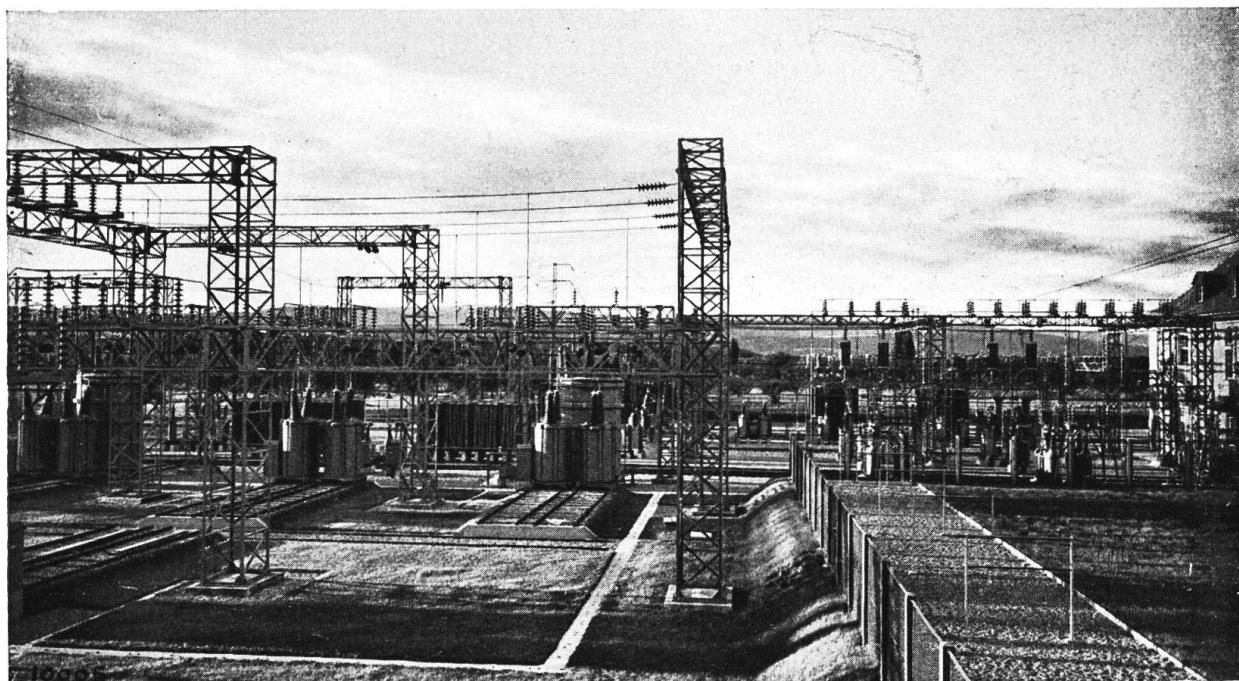


Fig. 1.  
Ansicht der Freiluftanlage aus Südosten.

nung, welche von Vernayaz über Puidoux nach Rapperswil führt. Das Unterwerk Kerzers, an der Eisenbahnlinie Bern-Neuenburg, wird ebenfalls von dieser Leitung gespiesen und transformiert die Höchstspannung von 132 kV auf die Mittelspannung von 66 kV herunter. Das 66 kV Netz dient zur Speisung der eigentlichen Bahnunterwerke, welche direkt auf das Fahrleitungsnetz arbeiten.

Die von der S. A. des Ateliers de Sécheron in Genf für das Unterwerk Kerzers gelieferten 132/66 kV Transformatoren sollen nachstehend näher beschrieben werden.

## II. Hauptsächlichste Daten und Gewichte der Transformatoren.

Dauerleistung . . . . .	9000 kVA bei $\cos \varphi = 0,75$
Leistung während 10 Minuten und anschliessend an die Dauerleistung	13000 kVA bei $\cos \varphi = 0,75$
Leistung während $1\frac{1}{2}$ Stunden nach vorausgegangener Dauerleistung von 7000 kVA . . . . .	11500 kVA bei $\cos \varphi = 0,75$
Uebersetzungsverhältnis im Leerlauf . . . . .	132/62-64-66-68-70 kV
Frequenz . . . . .	$16\frac{2}{3}$ Per./sek
Kurzschlussspannung bei einem Strom entsprechend der Dauerleistung von 9000 kVA . . . . .	8 %

*Schaltung:* Die Oberspannungswicklung besteht aus zwei Hälften, welche je auf eine Säule verteilt und in Serie geschaltet sind. Der Wicklungs-Mittelpunkt ist im normalen Betrieb über einen Stromwandler an Erde gelegt.

Die beiden auf je einer Säule liegenden Teile der Unterspannungswicklung sind untereinander parallel geschaltet, um bei einpoligen Erdschlüssen und damit unsymmetrischer Belastung der beiden Säulen einen Ausgleich zu schaffen. Die in halber Säulenhöhe befindlichen Mittelpunkte der Wicklung werden im Betrieb über einen hochohmigen Widerstand an Erde gelegt. Die vier Anzapfungen sind an den dem Mittelpunkt zunächst liegenden Wicklungsenden disponiert. Bei allen Uebersetzungsverhältnissen ist die Symmetrie der Wicklungen in bezug auf die Säulenmitte gewahrt.

Nennspannung der Höchstspannungswicklung . . . . .	132 kV
Prüfspannung der Höchstspannungswicklung gegen Erde und Mittelspannungswicklung während 1 Minute . . . . .	235 kV
Nennspannung der Mittelspannungswicklung . . . . .	80 kV
Prüfspannung der Mittelspannungswicklung gegen Eisen . . . . .	150 kV
Sprungwellenprüfung nach S.E.V.-Vorschriften mit 1,3 facher Nennspannung.	

*Erwärmung:* Die höchsten Temperaturwerte im Sinne der amerikanischen Normalien wurden vorgeschrieben zu:

105 °C für das Kupfer; 95 °C für das Eisen; 65 °C für das Oel bei einer Kühlmitteltemperatur (Luft) von 15 °C.

Die durch Widerstandszunahme des Kupfers oder Thermometer gemessenen Temperaturen müssen um mindestens 10 °C tiefer sein, als die oben vorgeschriebenen Werte (Hottest spot Correction).

### Verluste und Leerlaufstrom:

Eisenverluste bei Uebersetzungsverhältnis 132/66 kV und $16\frac{2}{3}$ Per./sek . . . . .	50 kW
Kupferverluste bei 9000 kVA abgegebener Leistung und $\cos \varphi = 0,75$ . . . . .	110 kW
Leerlaufstrom in % des Dauerstromes . . . . .	$\sim 4\%$

### Gewichte:

Aktiver Teil ohne Kessel und Oel . . . . .	61,7 t
Kessel mit Deckel und Oelausdehnungsgefäß . . . . .	12,3 t
Oel (ohne Kühler) . . . . .	21,0 t
Total	95,0 t

### Hauptdimensionen:

Gesamthöhe des Transformatoren (Schienenoberkant bis oberes Ende der 132 kV Klemmen) . . . . .	7500 mm
Grösstes Aussenmass in Richtung der Längsachse . . . . .	5000 mm
Grösstes Aussenmass in Richtung der Querachse . . . . .	4100 mm

### III. Konstruktiver Aufbau der Transformatoren.

#### 1. Allgemeines, Wicklungsabstützung.

Der Transformator ist ausgeführt als Kerntyp mit zwei bewickelten Säulen. Mit Rücksicht auf die Anzapfungen an der für 80 kV isolierten Mittelspannungswicklung musste die Höchstspannungswicklung innen, d. h. zwischen Mittelspannungswicklung und Kern angeordnet werden.

Die beiden Wicklungen ruhen unten auf einem gemeinsamen Stahlguss-Pressring auf, während sie oben durch getrennte Pressringe einzeln gegen die Jochtraversen abgestützt werden.

Zwischen die obere Pressringe und die Jochtraversen sind spezielle Presselemente eingeschaltet, die aber nur in Richtung des auf die Wicklung ausgeübten Druckes spielen können, während sie sich bei in umgekehrter Richtung wirkenden Kräften vollkommen starr verhalten.

Pro Säule sind 8 Presselemente vorgesehen, welche einen Druck von ca. 24 t ausüben.

Der aktive Teil des Transformatoren ist fest am Deckel aufgehängt und kann bei Revisionen mit dem Deckel ausgezogen werden, ohne dass irgendwelche Verbindungen gelöst werden müssen.

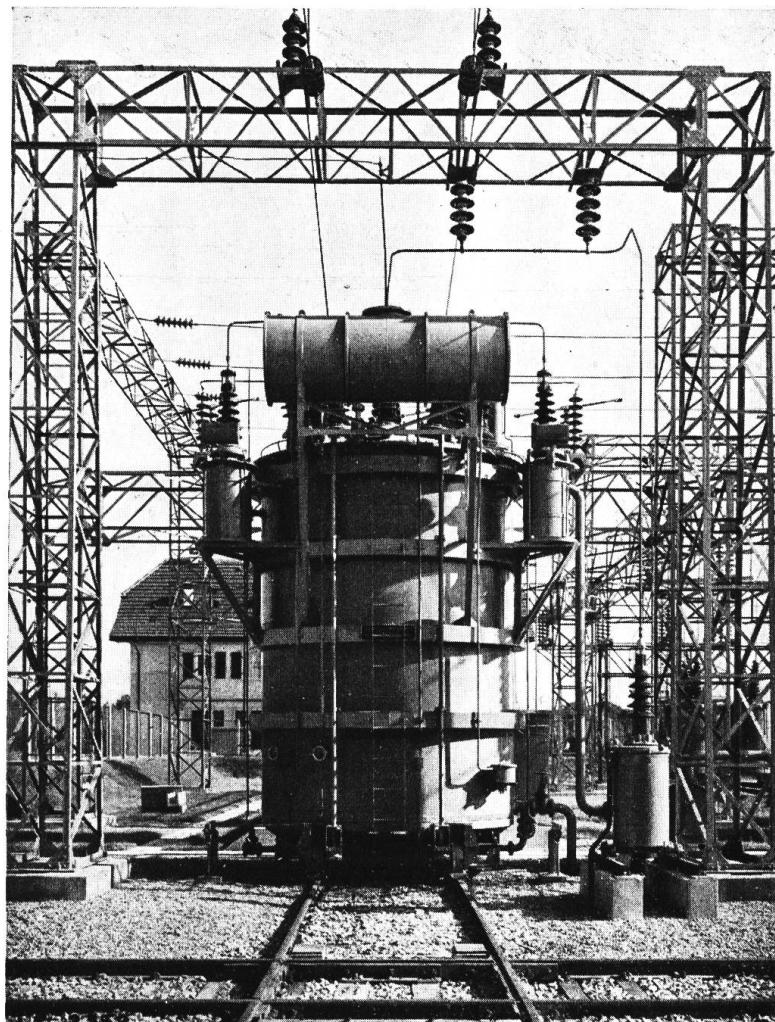


Fig. 2.  
Gesamtansicht eines Transformatoren in der Anlage, von der Mittelspannungsseite gesehen. Auf den Kesselkonsolen die Schutztransformatoren der Temperaturregelleinrichtung.

#### 2. Eisengestell.

Säulen und Joche sind aus hochlegierten, papiersollierten Blechen mit einer Verlustziffer von 1,8 aufgebaut. Das Aufschichten der Bleche musste mit grösster Sorgfalt vorgenommen werden, um zu vermeiden, dass die Ungleichheiten in den Dicken der einzelnen Bleche nicht zu grosse Abweichungen in den Endmassen des Eisenkörpers verursachen konnten. Für ein einzelnes Joch müssen ca. 1600 Bleche von 0,5 mm Dicke aufeinandergelegt werden. Jedes Blech kann aber Dickenunterschiede bis zu  $10\% = 0,05$  mm aufweisen, so dass sich im ungünstigsten Falle Massendifferenzen von  $0,05 \times 1600 = 80$  mm am fertigen Blechkörper ergeben. Durch sorgfältigste Auswahl müssen deshalb die Massfehler der einzelnen Bleche ausgeglichen werden. Ein homogener Aufbau des Eisenkörpers ist von grösster Wichtigkeit, um bei der nachfolgenden starken Pressung eine gleichmässige Verteilung des Druckes zu erzielen. Andernfalls könnte der Druck an einzelnen Stellen so hoch werden, dass die Isolation zwischen den Blechen durchgedrückt würde. Die Folgen von solchen Blechschlüssen, die zu einer langsamem Zerstörung des Eisenkörpers führen, sind ja zur Genüge bekannt.

In den unter der hydraulischen Presse komprimierten Eisenkörper werden dann die eigentlichen Pressbolzen eingezogen, welche durch Hartpapierröhren von hoher elektrischer und mechanischer Festigkeit vom Eisen isoliert sind. Sämtliche

Bolzen wurden nach dem Einbau einer Isolationsprüfung von 2000 V eff. während einer Minute unterzogen.

Vor der endgültigen Pressung müssen die Blechkörper einer Wärmebehandlung im Vakuum-Ofen unterworfen werden. Durch diese vermeidet man eine Veränderung der Blehpakete im Betriebe.

Das vollständig montierte Eisengestell zeigt Fig. 5. Zur Verminderung des Leerlaufstromes und der Eisenverluste wurden die Jochs mit bedeutend höherem Querschnitt ausgeführt als die Säulen.

Jochs und Säulen sind stumpf aufeinander gesetzt. Zwei Ölekanäle, die in den Säulen senkrecht zu den Blechen verlaufen, sorgen für ausreichende Kühlung.

Der Eisenkörper ist durch 8 an starken Stahlgusstraversen angreifenden Zugstangen aus Nickelstahl zusammengehalten. In den oberen Jochtraversen sind gleichzeitig die Presselemente zur Abstützung der Wicklung eingesetzt, so dass die zum Zusammenpressen der Bleche dienenden Jochpressplatten außer der Beanspruchung durch die Jochpressbolzen keiner zusätzlichen Belastung unterworfen sind, die eine Verschiebung derselben und damit Beschädigung der Pressbolzen-Isolation zur Folge haben könnte.

Die Hauptzugstangen sind nach oben verlängert und dienen gleichzeitig zur Abstützung des Kastendeckels. (Siehe Fig. 3 und 4.)

Bei vollständig montiertem Transformator ist der aktive Teil durch die Hauptzugstangen zwischen Kastenboden und Deckel eingespannt, so dass er sich auch bei schwersten Kurzschlüssen nicht im Kessel bewegen kann.

Da eine einzelne Säule unbewickelt ca. 10 t wiegt, musste für den Transport in der Werkstätte eine spezielle Aufhängevorrichtung konstruiert werden, die es erlaubt, die Säule zu heben und zu wenden.

Gleichzeitig dient die Aufhängevorrichtung auch zum Transport einer vollständig bewickelten Säule mit Pressringen (siehe Fig. 6).

Sämtliche Teile des Eisengestelles wurden nach Fertigstellung mit einer Schicht Speziallack überzogen, um das Rosten beim Herumstehen in der Werkstätte zu verhindern, den feinen Metallstaub zu binden und die direkte Berührung des Metalltes mit dem Öl zu vermeiden.

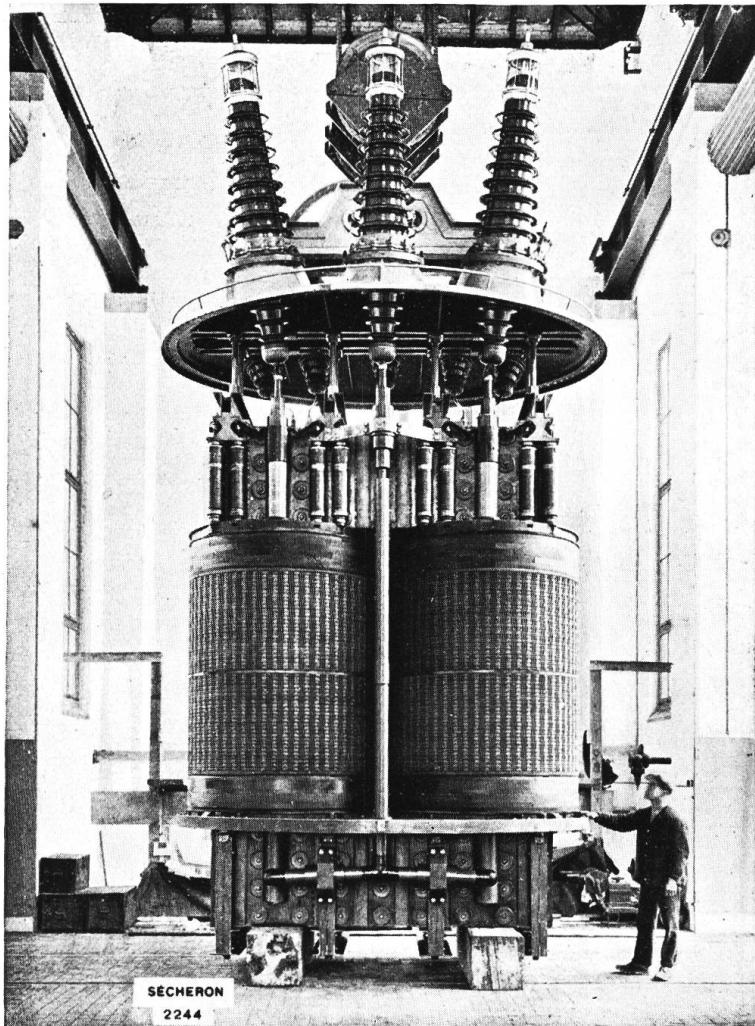


Fig. 3.  
Vollständig montierter aktiver Teil des Transformatoren von der Höchstspannungsseite gesehen.  
Man beachte die Abstützung der Presselemente und unter der Wicklung den Führungsring für das Einführen des aktiven Teiles in den Kessel.

lichen Belastung unterworfen sind, die eine Verschiebung der Pressbolzen-Isolation zur Folge haben könnte.

Die Hauptzugstangen sind nach oben verlängert und dienen gleichzeitig zur Abstützung des Kastendeckels. (Siehe Fig. 3 und 4.)

Bei vollständig montiertem Transformator ist der aktive Teil durch die Hauptzugstangen zwischen Kastenboden und Deckel eingespannt, so dass er sich auch bei schwersten Kurzschlüssen nicht im Kessel bewegen kann.

Da eine einzelne Säule unbewickelt ca. 10 t wiegt, musste für den Transport in der Werkstätte eine spezielle Aufhängevorrichtung konstruiert werden, die es erlaubt, die Säule zu heben und zu wenden.

Gleichzeitig dient die Aufhängevorrichtung auch zum Transport einer vollständig bewickelten Säule mit Pressringen (siehe Fig. 6).

Sämtliche Teile des Eisengestelles wurden nach Fertigstellung mit einer Schicht Speziallack überzogen, um das Rosten beim Herumstehen in der Werkstätte zu verhindern, den feinen Metallstaub zu binden und die direkte Berührung des Metalltes mit dem Öl zu vermeiden.

### 3. Wicklungen.

Höchst- und Mittelspannungswicklung sind aus Einzelpulsen von 60–70 mm radialer Breite aufgebaut. Der Wicklungsaufbau ist derart, dass die Ampere-Windungen bei jeder Anzapfung symmetrisch verteilt sind in bezug auf eine in halber Höhe der Säule parallel zu den Jochen gelegte Ebene. Dadurch werden zwischen den Wicklungen auftretende axiale Schubkräfte im normalen Betriebe vermieden. Die ganze Wicklungssäule kann zudem nach endgültiger Montage durch auf den untern Pressring wirkende Pressschrauben auf Säulenmitte eingestellt werden. Das sogenannte Nachdistanzieren der Wicklungen erübrigt sich infolgedessen vollständig.

Die grösste Schwierigkeit beim Entwurf der Wicklungen bestand darin, eine genügende Drahtisolation vorzusehen. Im Pflichtenheft war verlangt, dass die Eingangswindungen (d. h. ca. 10 % der gesamten Windungszahl) für die volle Betriebsspannung, die übrigen Windungen für die halbe Betriebsspannung zwischen Windungen zu isolieren seien. Die Erfüllung dieser Vorschrift war durch Versuche nachzuweisen, bei welchen die verlangte Spannung während 5 Sekunden aufzudrücken war. Die Isolation der Eingangswindungen der Höchstspannungswicklungen musste also während 5 Sekunden einer Spannung von 132 kV eff. standhalten. Als bestes Isoliermaterial bei geringstem Platzbedarf erwies sich Spezialpapier, das in 0,05 mm dicken Schichten auf die Kupferdrähte aufgewickelt wurde. Ueber die Versuche zur Bestimmung der nötigen Isolation ist im letzten Abschnitt etwas eingehender berichtet.

Die Anwendung vieler Papierlagen, wie sie für eine so hohe Spannung erforderlich ist, hat den grossen Nachteil, dass der im Innern liegende Kupferdraht mechanisch nicht mehr festgehalten wird. Die Papierlagen mit den dazwischen liegenden schmalen Oelkanälen bilden eine Art Kissen, so dass sich bei Kurzschlüssen einzelne durch die Stromkräfte mechanisch stark beanspruchte Drähte verschieben können, was mit der Zeit zu Isolationsbeschädigungen führen muss.

Die am häufigsten angewandte Methode zur Erhöhung der Spulenfestigkeit besteht in einer Imprägnierung mit ölfestem Lack. Eine vollkommen kompakte Spule lässt sich auf diese Weise aber nicht erreichen, zudem ist die Anwendung sogenannter ölfester Lacke immer noch mit gewissen Risiken verbunden.

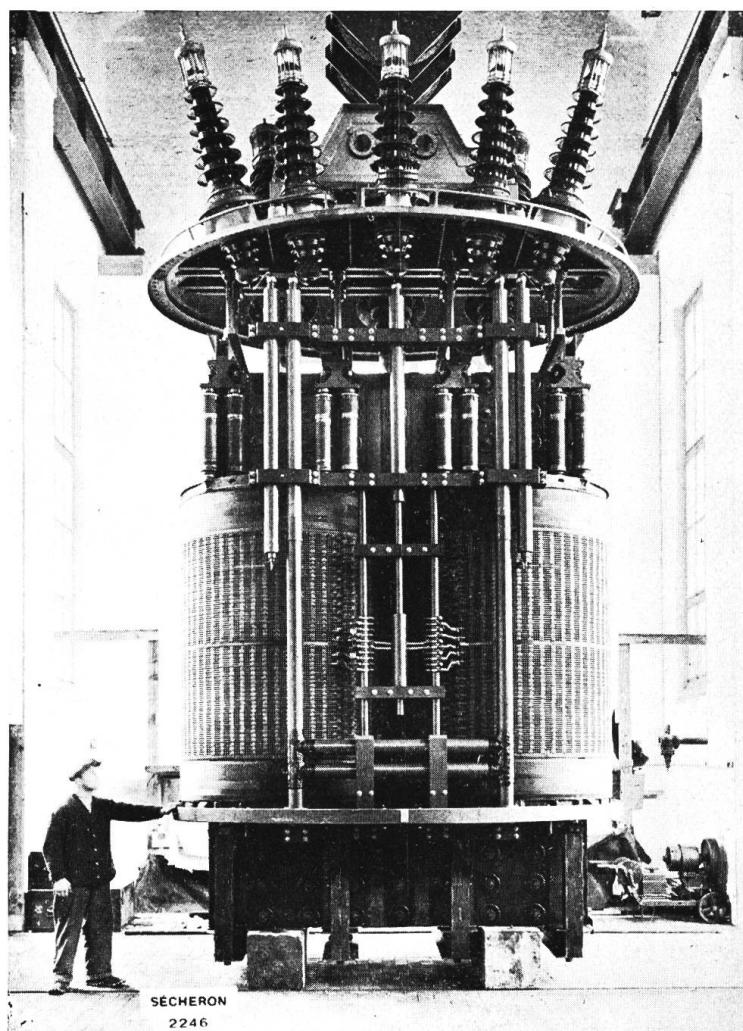


Fig. 4.  
Vollständig montierter aktiver Teil des Transformators von der Mittelspannungsseite gesehen.  
In der Mitte der Wicklung die Anzapfungen. In der obern Wicklungshälfte die Messelemente für die Temperaturmessung.

Die S. A. des Ateliers de Sécheron ist deshalb dazu übergegangen, die Wicklungen nach sorgfältig ausprobiertem Verfahren mit Kunsthars zu imprägnieren, das durch geeignete Wärmebehandlung unter Druck in den Endzustand übergeführt wird, in dem es absolut fest und im Oel unlöslich ist. Dieses Verfahren hat folgende grosse Vorteile:

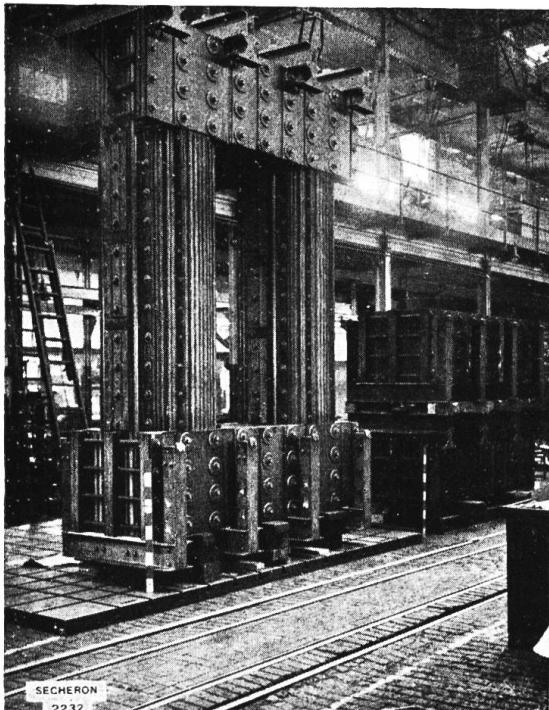


Fig. 5.  
Fertig montiertes Eisengestell in der Werkstatt.

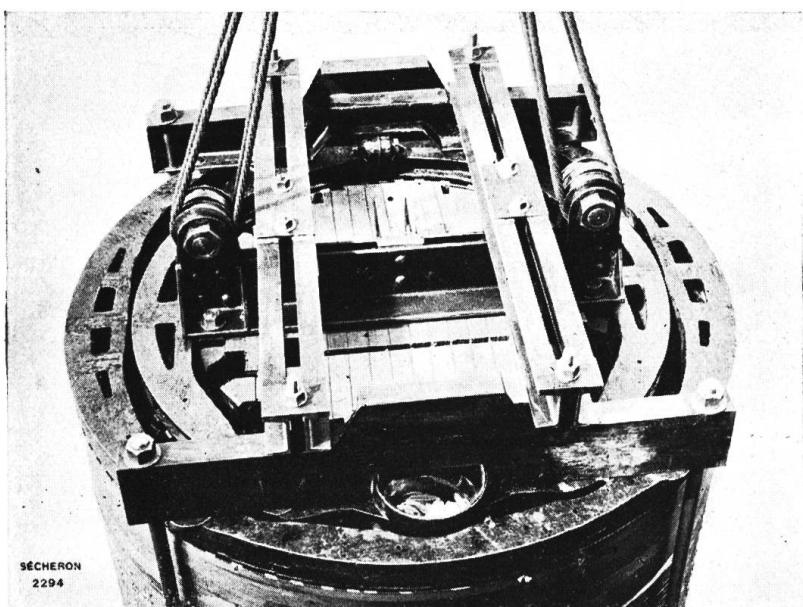


Fig. 6.  
Aufhängevorrichtung für eine Säule mit Wicklung. Ansicht von oben.  
Die Rollen wurden angebracht zum Wenden des Eisenkörpers. Man sieht den Querschnitt einer Säule mit einem der Kühlslitze, sowie die obere Pressringe der beiden Wicklungen.

Windung ist sehr hoch und wird durch die Pressung beeinträchtigt.

a) Die Spulen werden vor der Montage auf den Eisenkern zu Paketen zusammengebaut, die richtige Höhe eingestellt und die Verbindung zwischen den einzelnen Spulen ausgeführt. Nach der Imprägnation wird das ganze Paket gemeinsam montiert. Ausser am Anfang und Ende des Paketes müssen keine Lötverbindungen mehr am Transformator selbst ausgeführt werden. Die Möglichkeit, dass Zinn tropfen in die Wicklung hinein fallen, wird dadurch auf ein Minimum beschränkt. Die Ansicht eines fertig imprägnierten Spulenpaketes zeigt Fig. 7.

b) Die Spulen werden mechanisch absolut fest und kompakt. Die Isolation bildet mit dem Kunsthars eine Art Hartpapierrohr um den Kupferdraht herum. Ein Durchdrücken oder Verletzen der Isolation bei der Montage ist ausgeschlossen.

Dadurch, dass jeder Draht fest am andern anliegt, wird die Kurzschlussfestigkeit der runden Spule auf ein Maximum gebracht.

c) Ein Sichsetzen der Wicklungen im Betriebe ist ausgeschlossen, infolgedessen können bei mittleren und kleineren Einheiten spezielle, automatisch wirkende Pressvorrichtungen unbedenklich in Wegfall kommen. Dadurch wird der Transformator einfacher im Aufbau, es ist mehr Platz für die Ableitungen vorhanden, was wiederum einer Erhöhung der Betriebssicherheit gleichkommt.

d) Die Durchschlagsfestigkeit von Windung zu der Spulen nur wenig

- e) Die Spule ist bedeutend unempfindlicher gegen hohe Kupfertemperaturen. Die Temperatur des Drahtes könnte auf  $120^{\circ}$  C erhöht werden, ohne dass die Isolation Schaden leiden würde.
- f) Der Koeffizient der Wärmeleitung durch die Isolation ist günstiger als bei der aus dünnen Schichten von Papier und Oel bestehenden Isolation.
- g) Das Kupfer kommt nicht in direkten Kontakt mit dem Oel, es kommt deshalb nicht als Katalysator in Betracht für die sich im warmen Oel abspielenden chemischen Vorgänge, die zur Säure- und Schlammbildung führen.
- h) Die Isolation ist unempfindlich gegen die im Oel enthaltenen Säuren.

Die Primär- und Sekundärwicklungen sind untereinander und gegen Eisen durch je drei Hartpapierzylinder isoliert. Die zwischen den Zylindern vorgesehenen, reichlich bemessenen Oelkanäle sorgen für gute Kühlung des Isolationsmaterials. Das durch die Wicklungen strömende Oel wird derart geführt, dass jeder Wicklungsdräht auf mindestens zwei Seiten mit der Kühlflüssigkeit in Berührung steht. Die Wicklungsenden sind durch Schutzringe abgeschirmt und mit Ringen aus besonders vorbehandeltem Holz gegen die Pressringe abgestützt. Den Spulenverbindungen wurde spezielle Aufmerksamkeit geschenkt. Sie müssen vollständig druckfrei sein und durch zusätzliche Isolation besonders sicher ausgeführt werden. Die Wicklungsableitungen sind in Hartpapierrohren verlegt. Durch entsprechende Konstruktion wurde dafür gesorgt, dass beim Eintauchen der Transformatoren ins Oel alle Luft mit Sicherheit entweichen kann.



Fig. 7.  
Zum Einbau bereites Spulenpaket der Mittelspannungswicklung. Gewicht ca. 700 kg. Äusserer Durchmesser ca. 1600 mm.

#### 4. Oelkessel und Zubehör.

Kessel und Deckel sind so gebaut, dass sie ein Vakuum von ca. 6 mmHg ertragen und einem innern Ueberdruck von 2 at. standhalten können.

Die wirtschaftliche Lösung, d. h. relativ kleines Kesselgewicht bei nicht unnötig grossen Oelmengen, ergab sich durch die Wahl einer ovalen Form.

Die Blechstärke des Kesselmantels beträgt 7 mm und das Gewicht des ganzen Kessels mit Konservator und Deckel ca. 12 t. Der Kessel ist vollständig elektrisch geschweisst.

Der Kesselmantel wird durch  $\square$ -Ringe verstellt, von denen der oberste zugleich als Oelabsaugekanal dient. Dadurch wurde ein besonderes Oelsammelrohr erspart, das den im Innern des Kessels verfügbaren Platz beschränken würde und beim Herausziehen des Transformatoren demontiert werden müsste.

Der Oelkonservator von zylindrischer Form ist seitlich am Kessel abgestützt, so dass bei Revisionen und Änderungen der Anzapfungen der aktive Teil des Transformatoren ausgetauscht werden kann, ohne dass das Oelausdehnungsgefäß abgenommen zu werden braucht. In die Verbindungsleitung zwischen Kessel und Expansionsgefäß eingebaute Absperr- und Entleerungshähne erlauben die Oelfüllung des Konservators vollständig für sich zu behandeln. Das trotz der Luftentfeuchtungsvorrichtung sich event. am Boden des Oelausdehnungsgefäßes ansammelnde Wasser kann nicht in den Transformator gelangen, da das in das Expansionsgefäß ein-

mündende Verbindungsrohr über dem Gefäßboden vorsteht und gegen Hineinfallen von Wassertröpfchen geschützt ist.

Der Transformatordeckel ist stark gewölbt, einerseits um das Abfliessen von Regen- und Schneewasser zu begünstigen und andererseits um ihn gleichzeitig als Vakuumdeckel für das Auskochen des Transformators benützen zu können. Ein besonderer Vakuumdeckel, der ja nur selten gebraucht wird und deshalb in der Werkstätte unnötig Platz wegnimmt, konnte dadurch erspart werden. Beim Auskochen werden sämtliche Deckelöffnungen durch Blindflansche gedichtet und statt des Ueberdruckventils ein Schauglas mit Lampe eingesetzt, welches die Oberfläche des Oeles zu beobachten gestattet. Der Deckel ist durch Versteifungen so verstärkt, dass er gleichzeitig als Tragbalken für das Ausziehen des ca. 62 t schweren aktiven Teiles dienen kann.

Das Fahrgestell ist sehr kräftig ausgeführt und so gebaut, dass die 4 Rollen während des Transportes zur Aenderung der Fahrrichtung ausgewechselt werden können.

Der komplette Transformator kann an 4 direkt am Fahrgestell angreifenden Zugstangen gehoben werden. Der Kesselmantel nimmt also nicht an der Kraftübertragung teil, wodurch zusätzliche Beanspruchungen der Schweissnähte und event. im Gefolge auftretende Undichtheiten vermieden werden. Die bei den Abnahmever suchen gemessenen Formänderungen sind im letzten Abschnitt zusammengestellt.

### 5. Durchführungen.

An eine gute Freiluft-Durchführung müssen folgende Anforderungen gestellt werden:

- Unempfindlichkeit gegen Witterungs- und Temperatureinflüsse.
- Unempfindlichkeit gegen event. im Gefolge von Störungen auftretende Ueberschläge.
- Hoher Sicherheitsgrad gegen Durchschlag.
- Leichte Kontrollmöglichkeit der Klemmen im Betriebe.
- Oeldichtheit.

Besonders für grosse Einheiten muss auf hohe Betriebssicherheit und Möglichkeit der Ueberwachung der Klemmen im Betriebe Gewicht gelegt werden, damit die Durchführungen nicht eine schwache Stelle des Transformators bilden.

Nach eingehendem Studium und unter Berücksichtigung der bis heute im In- und Auslande gemachten Erfahrungen sind für die vorstehend beschriebenen Transformatoren Porzellanklemmen mit Oelfüllung verwendet worden. Sie sind so dimensioniert, dass sie auch bei Ausfliessen des Oeles die normale Spannung aushalten, ohne dass Glimmerscheinungen im Innern auftreten. Das bedingt einen ziemlich grossen Klemmdurchmesser, der aber bei grossen Einheiten keine konstruktiven Schwierigkeiten verursacht.

Bei der Ausführung dieser Klemmen ist auf folgende Punkte geachtet worden:

- a) Zur Füllung wurde das gleiche Oel wie im Transformator verwendet und nicht ein spezielles Oel hoher Viskosität. Dadurch ist die Lagerhaltung für Oel vereinfacht. Bei event. Undichtheiten kann sich der Inhalt der Klemmen ohne unangenehme Folgen mit dem Oel des Transformators mischen.
- b) Die Kittstellen stehen nicht unter Oeldruck, so dass sie nicht unbedingt öldicht zu sein brauchen. Eine chemische Einwirkung des Oeles auf den Kitt ist ausgeschlossen, die Kittstellen sind nur mechanisch beansprucht.
- c) Ein vom Boden gut beobachtbares Schauglas gestattet eine fortwährende Kontrolle des Oelstandes im Betriebe.
- d) Sämtliche am oberen Ende der Klemme montierte Armaturen bestehen aus nicht rostenden Metallen (Bronze, Aluminium). Dadurch soll vermieden werden, dass sich durch das Regenwasser Rostspuren auf dem Porzellan absetzen.

- e) Der Klemmenflansch ist so verstärkt, dass er sich beim Aufspannen der Klemme nicht deformieren kann und eine ungünstige Beanspruchung des Porzellans verbunden mit event. Rissbildung vermieden wird.
- f) Das Porzellan ist mit grüner Glasur ausgeführt.
- g) Durch eine Luftablaßschraube kann die sich beim Montieren der Klemme auf den Transformator unter dem Flansch ansammelnde Luft evakuiert werden. Eine am Klemmenkopf vorgesehene Oelfüllschraube gestattet das Nachfüllen der Klemme, ohne dass die Verbindungen gelöst werden müssen.

Die fertigen Klemmen wurden nach den S.E.V.-Vorschriften geprüft, die Prüfzeit aber von 1 Minute auf 3 Minuten erhöht.

#### *6. Schutzapparate und Kontrollinstrumente.*

Der Transformator ist durch einen in die Verbindungsleitung zwischen Kessel und Konservator eingebauten Buchholzschutzapparat gegen zu starke Zerstörungen bei Transformatordefekten geschützt. Druckstösse im Innern des Transformators können sich durch ein besonderes Ueberdruckventil ausgleichen.

Die Höhe des Oelstandes im Oelausdehnungsgefäß wird durch ein vom Transformatorfundament aus ablesbares Plattenfederanometer angezeigt. Sinkt der Oelspiegel unter ein gewisses Minimum, so betätigt das Manometer einen Signalstromkreis. Sind die Oelverluste so gross, dass sich der Konservator und die Verbindungsleitung zum Kessel vollständig entleeren, so tritt der Buchholzschutzapparat in Funktion und schaltet den Transformator ab.

Die Messung der Temperatur an zwei Stellen der 66 kV-Wicklung erfolgt durch ein mit Wechselstrom gespeistes elektrisches Widerstands-Thermometer in Brückenschaltung mit ausserhalb des Transformators aufgestellten Schutztransformatoren. Die Messleitungen von der Wicklung zu den Schutztransformatoren müssen also für die volle Spannung isoliert aus dem Transformator herausgeführt werden. Diese Widerstands-Elemente sind für den Konstrukteur oft eine sehr unerwünschte Beigabe, da es schwierig hält, sie so anzubringen, dass die Betriebssicherheit des Transformators keine Einbusse erleidet.

Die Temperatur des Oeles wird einerseits durch ein elektrisches Fernthermometer in den Schaltstand gemeldet und kann anderseits durch ein kompensierte Kapillar-Thermometer direkt am Transformator abgelesen werden. Uebersteigt die Temperatur des Oeles den zulässigen Maximalwert, so betätigt das Quecksilber-Thermometer einen Signalkreis. Bei Unterbruch im Oelkreislauf tritt der Oeldurchflussmelder in Tätigkeit und schliesst ebenfalls einen Signalstromkreis.

Die in den Transformator eintretende Luft wird in einem Entfeuchtungsapparat getrocknet. Sämtliche, den Luftraum des Oelausdehnungsgefäßes mit der Aussenluft verbindende Leitungen sind durch Flüssigkeitsabschlüsse abgesperrt, so dass nur entfeuchtete Luft mit dem Oel in Berührung kommen kann.

### **IV. Kühlanlage.**

#### *1. Allgemeines.*

Da in der Anlage kein Wasser zur Verfügung stand, musste zur Luftkühlung gegriffen werden. Wegen des Geräusches und des Stromverbrauchs durften keine Ventilatoren in Anwendung kommen. Es wurden deshalb für die Rückkühlung des Oeles Röhrenkühler vorgesehen, die ihre Wärme durch natürliche Luftkühlung an die umgebende Luft abgeben.

Diese Kühlart bedingt naturgemäß eine sehr grosse Oberfläche und verlangt viel Platz. Die Disposition der Freiluftanlage erlaubte es nicht, die Kühler bei den Transformatoren aufzustellen. Es musste deshalb von vorneherein auf einen natürlichen Umlauf des zu kühlenden Oeles verzichtet werden, weil der hydraulische Widerstand der Oelleitungen zu gross war. Die Gesamtansicht des Kühlers zeigt Fig. 8.

## 2. Beschreibung der Kühler.

Ein Transformatorenkühler setzt sich zusammen aus zwei parallel geschalteten Abteilungen, welche durch Ventile einzeln vom Oelkreislauf abgeschlossen werden können. Jede Abteilung besteht aus je 4 Kühlergruppen, diese aus je 3 Elementen.

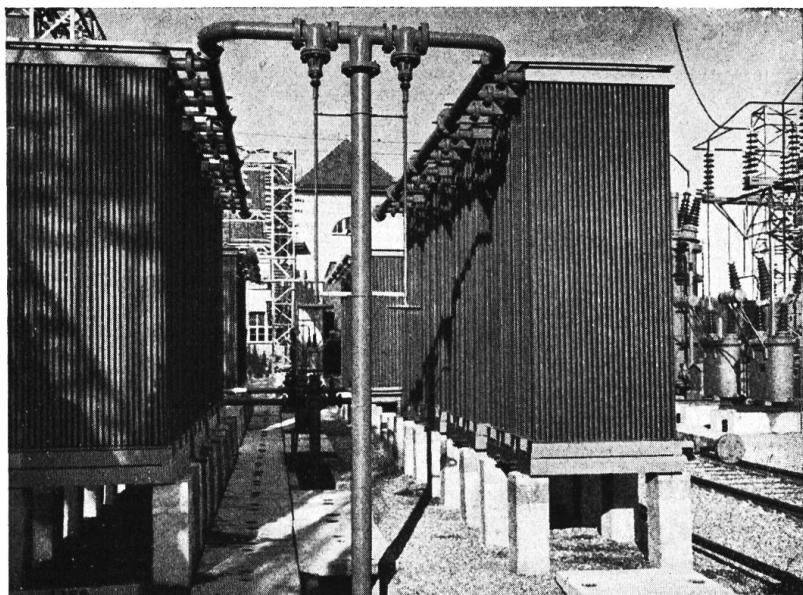


Fig. 8.  
Ansicht der Kühlergruppen zweier Transformatoren vom Mittelgang zwischen den Kühlern aus.  
Im Vordergrunde die von der Motorpumpe und dem Transformator kommende Oelzuführungsleitung mit den Verteilleitungen.

Luft an den Rohren vorbei streichen muss, wobei der unten nach oben aufsteigende Luft der gleiche ist für alle Luftwege.

Die Kühler stehen auf ca. 1 m hohen Betonsockeln, um der Luft überall freien Zutritt zu lassen.

Die Fabrikation der Kühlelemente erforderte grosse Sorgfalt. Pro Transformator mussten 5200 Rohre beidseitig öldicht eingeschweisst werden. Nachdem die einzelnen, nahtlos gezogenen Rohre eine Druckprüfung von 80 at. ausgehalten hatten, wurden sie an beiden Enden in die Abschlussplatten der Oelsammelkanäle eingeschweisst. Auf die Platten wurden dann speziell konstruierte Versuchdeckel aufgesetzt und die Schweißnähte der Röhren auf Dichtigkeit geprüft. Nach gut bestandener Probe wurden die Oelsammelkanäle fertig geschweisst und das ganze Kühlelement einer nochmaligen Dichtigkeitsprobe unterworfen.

## 3. Motorpumpengruppen.

Den Umlauf des Oeles bewirkt eine Niederdruckzentrifugalgpumpe, direkt gekuppelt mit einem Einphasen-Kollektor-Motor, Bauart Sécheron, für 220 V,  $16\frac{2}{3}$  Per./sek. Die Fördermenge der Pumpe ist ca. 1200 l/Min bei einer

Die Kühlergruppe bildet eine Einheit für sich und kann mittelst eines speziell konstruierten Transportwagens, der auf provisorisch verlegten Schienen zwischen die Fundamentpfeiler gerollt wird, vom Fundament abgehoben, weggefahren und unter Benützung des Oelschaltertransportwagens in die Montagehalle verbracht werden.

Die einzelnen Kühlelemente besitzen A-Form. (Siehe nachstehende Fig. 9.) Sie bestehen aus je 2 geraden Rohrbündeln, welche nach oben in einen gemeinsamen Oelsammelkanal zusammenlaufen. Diese Anordnung wurde gewählt, damit die sich zwischen den Rohrbündeln verfangende Luftwiderstand für die von

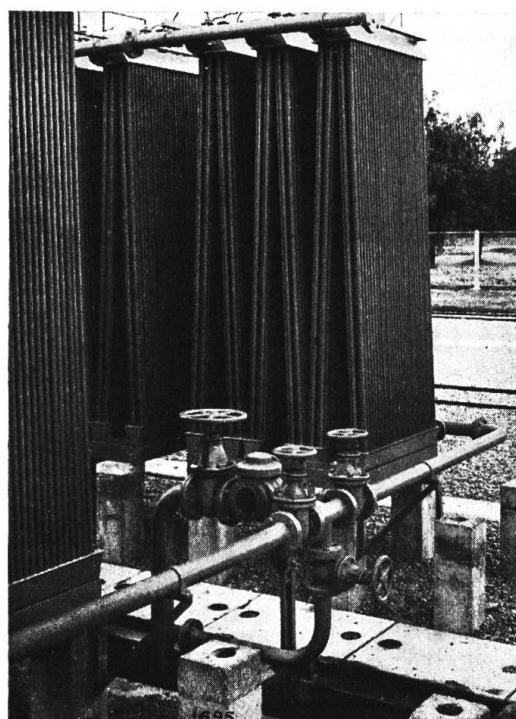


Fig. 9.  
Ansicht einer Kühlergruppe mit Oelabflussleitungen und Oelströmungsmesser.

Drehzahl von 1200, die manometrische Förderhöhe ca. 10 m Wassersäule. Der Motor ist gebaut für eine Dauerleistung von 4 kW bei 24 stündigem Betrieb. Er besitzt Rollenlager, die nur sehr wenig Wartung erfordern.

Zum Schutz gegen die Unbilden der Witterung ist die ganze Gruppe mit einer Blechhaube bedeckt. Auf allen Seiten angebrachte Revisionsklappen erlauben eine leichte Kontrolle der Gruppe im Betriebe.

#### 4. Rohrleitungen.

Durch ausgiebige Verwendung der elektrischen Lichtbogenschweissung sind die Flanschendichtungen der flusseisernen Röhren auf ein Minimum reduziert worden. Die nicht zu vermeidenden Dichtungen wurden mit grösster Sorgfalt ausgeführt, um Oelverluste zu vermeiden. Bei den Flanschverbindungen ist es von Wichtigkeit, dass die Flanschen genau parallel gerichtet sind. Das lässt sich leicht dadurch erreichen, dass sie vor dem Aufschweissen in der richtigen Lage zusammengespannt und an einzelnen Punkten geheftet werden.

Um dem Sichsenken der Fundamente und den Wärmedehnungen Rechnung zu tragen, sind die Rohrleitungen durch elastische Zwischenstücke an den Transformatorenkessel angeschlossen. Dies erleichtert auch den Anschluss beim Aufstellen des Transformatoren auf seinem Fundament.

Ein besonders heikles Kapitel bilden die Flanschen- und Stopfbüchsendichtungen. Bei der vorliegenden Anlage wurden mit vollem Erfolge mit Leinöl behandelte Karton- und Asbest-Dichtungen verwendet.

#### V. Oelreinigungsanlage.

Die im Keller der Unterstation aufgestellte Oelreinigungs- und Auskochanlage ist nach dem bei den S.B.B. allgemein üblichen Schema ausgeführt. Sie besteht aus grossen Oelbehältern, in denen mindestens der Oelinhalt eines Transformatoren mit Kühler aufgenommen werden kann. In einem besondern vakuumfesten Kessel wird das für die Schalter etc. nötige Oel ausgekocht. Die Umwälzung des Oeles zwischen Behältern und dem in der Montagegrube stehenden Transformator wird durch eine mit einem Gleichstrommotor gekuppelte Niederdruck-Zentrifugalkpumpe besorgt.

Oelkocher und Vakuumpumpe haben ebenfalls Anschlüsse in der Montagegrube, so dass der Transformator in seinem eigenen Kessel unter Vakuum getrocknet werden kann. Zur Beförderung des unter Vakuum stehenden Oeles dient eine auf den Kocher montierte Zahnradpumpe.

Das schmutzige Oel wird in besondern Gefässen aufbewahrt. Zur Reinigung desselben ist eine De Laval-Oelschleuder vorgesehen.

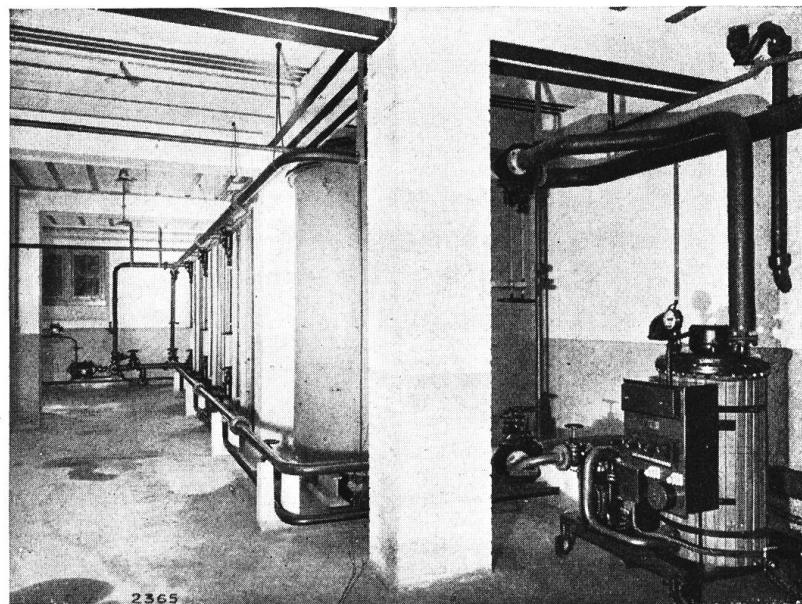


Fig. 10.  
Ansicht des Oelkellers mit den Hauptreservoiren und dem Vakuumkessel. — Im Vordergrund rechts der Oelkocher mit den in die Auskochgrube führenden wärmeisolierten Rohrleitungen. Im Hintergrund links die Oelumwälzgruppe.

## VI. Montage- und Transportverhältnisse.

Die Transformatoren können in der Montagegrube fertig zusammengebaut werden. Zur Aufhängung am Kran dient eine spezielle Vorrichtung, welche mit den am Untergestell des Transformatoren angreifenden Zugstangen starr verbunden wird. Das gleiche Gerät kann auch zum Ausheben des aktiven Teiles Verwendung finden. (Siehe Fig. 3 und 4.)

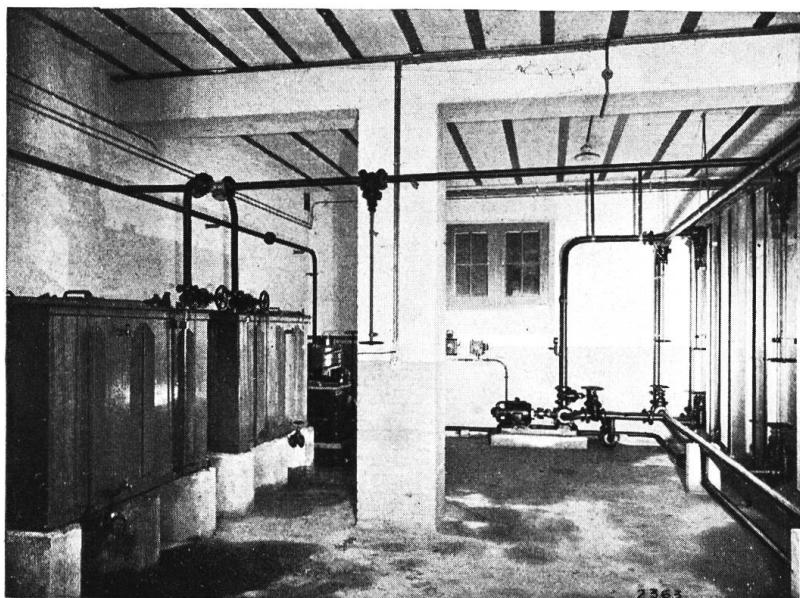


Fig. 11.  
Oelkeller mit Schmutzölgefäßen und Oelschleuder.

Die fertig montierten Transformatoren werden durch ein am Werkstattkran angehängtes Drahtseil auf ihren eigenen Rollen in die Anlage hinausgefahren. Um vom Hauptgeleise auf das Transformatorenfundament zu gelangen, müssen die Rollen für Fahrt in Richtung der kleinen Achse des Transformatoren umgestellt werden. Zu diesem Zwecke wird der Transformator mit vier Hebeböcken, die auf besondern Fundamenten ruhen, um ca. 1 mm gehoben, worauf die Rollen ohne weiteres gewechselt werden können.

Die zur Bewegung der Transformatoren in der Ebene nötige Zugkraft wurde durch Versuche nachkontrolliert, die folgende Werte ergaben:

Anfahrzugkraft ca. . . . . 9000 kg

Mittlere Zugkraft zur Verschiebung des in Bewegung befindlichen Transformators ca. . . . . 2800 kg

Durch die Elastizität des ca. 70 m langen Drahtseiles, das wie eine Feder wirkte, schwankte die Zugkraft zwischen 1400 und 4200 kg.

Aus diesen Werten errechnet sich der Reibungskoeffizient für die Reibung zwischen Zapfen und Bronzebüchsen zu:

$\mu = 0,26$  für die Anfahrt

$\mu = 0,08$  für den in Bewegung befindlichen Transformator (Geschwindigkeit ca. 4 m/Min), Schmierung mit Fett.

Das Gewicht des Transformatoren beträgt 95 Tonnen, der Rollendurchmesser für die Lauffläche 450 mm, der Zapfendurchmesser 160 mm.

Auf seinem Standort wird der Transformator durch keilförmige Unterlagen unter den Rollen in seiner Lage festgehalten. Diese Rollen-Blockievorrichtung bewirkt gleichzeitig eine bessere Verteilung des Gewichtes auf die Schienen und erniedrigt dadurch die spezifische Flächenpressung zwischen Rollen und Gleis.

## VII. Verschiedene Versuche.

### 1. Messung der Deformationen des Oelkessels.

Die Kessel wurden nach Fertigstellung Druck- und Vakuumproben unterworfen, welche folgende Resultate ergaben:

Druckversuch:

Innerer Ueberdruck . . . . . 2 at.

Deformationen:

Verkürzung des Kessels in der Längsachse . . . . . 4,5 mm = 1,3 %

Verbreiterung des Kessels in der Querachse . . . . . 9,5 mm = 3,6 %

Ausbiegung des Deckels nach oben . . . . . 6,0 mm

<i>Vakuumprobe:</i>	
Absoluter Druck . . . . .	11 mm Hg. Säule
<i>Deformationen:</i>	
Verlängerung des Kessels in der Längsachse . . . . .	1,7 mm = 0,4 %
Verkürzung des Kessels in der Querachse . . . . .	1,5 mm = 0,6 %
Einbiegung des Deckels . . . . .	4,0 mm

Diese Deformationen sind gering, was in der Hauptsache auf die gewählte Form des Kessels zurückzuführen ist.

## 2. Versuche zur Ermittlung der Isolationsfestigkeit zwischen einzelnen Drähten.

Die zu den Versuchen benützten Probestücke bestanden aus zwei aufeinander gelegten Drahtabschnitten, welche vorher auf den Radius der entsprechenden Transformatorschleife abgebogen worden waren. Für jede Drahtisolation wurden 10 Muster vorbereitet und genau gleich behandelt. Dann ermittelte man die mittlere Durchschlagsfestigkeit der 5 ersten Muster, wobei die zwischen zwei Drähten angelegte Spannung in ca. 8 Sekunden auf den Durchschlagswert erhöht wurde. Die übrig bleibenden 5 Muster wurden hierauf während 5 Sekunden einer Wechselspannung unterworfen, welche ca. 20 % tiefer war als die mittlere Durchschlagsfestigkeit. Die Bemessung der Isolation der Transformatorschleifen erfolgte auf Grund dieser letzteren Versuche.

Die günstigsten Resultate wurden erzielt mit einer Isolation aus in Öl getränktem Papier, welche vor dem Versuch folgender Behandlung unterworfen worden war:

Trocknen im Vakuum bei ca. 80 °C während 24 Std.

Auskochen in Transformeröl während 4 × 24 Std. bei ca. 80 °C und im Vakuum.

Die Versuche wurden durchgeführt in bestem Transformeröl bei einer Temperatur von ca. 20 °C.

Die Resultate ergaben bis zu einer Spannung von 200 kV eff. lineare Abhängigkeit der Durchschlagsfestigkeit von der Isolationsdicke resp. Anzahl Papierlagen und lassen sich angenähert durch folgende Gleichung darstellen:

$$V_d = 40 d.$$

Dabei bedeuten:

$V_d$  = Effektivwert der Durchschlagsspannung in kV bei 50 periodigem Wechselstrom und Steigerung der Spannung auf den Durchschlagswert in ca. 8 Sekunden.

$d$  = Abstand der beiden Kupferleiter in mm.

Es ist:

$$d = 2n\delta + (2n+1)e + 2f$$

$\delta$  = Dicke des verwendeten Isolationspapiers (0,05 mm bei den Versuchsstücken).

$n$  = Anzahl Papierlagen eines Leiters.

$e$  = Dicke der Oelschicht zwischen Papierlagen, Papier und Leiter und zwischen den Leitern (bei den Versuchsdrähten betrug  $e$  im Mittel ca. 0,010–0,015 mm).

$f$  = Dicke der event. vorhandenen Baumwollumspinnung oder Umklöppelung eines Drahtes.

Für Umspinnung . . .  $f = 0,05 - 0,075$  mm

Für Umklöppelung . . .  $f = 0,25 - 0,3$  mm

Der Abrundungsradius der Kupferleiter betrug 1,0 mm, die Abweichungen in den einzelnen Versuchsreihen (5 Proben) im Maximum  $\pm 12\%$ .

Die nach der oben angeführten empirischen Gleichung berechneten Mittelwerte gelten natürlich nur für die Versuchsverhältnisse.

Von grossem Einfluss auf das Versuchsresultat war:

- a) Das Verhältnis der Papierstärke zu den zwischen den Papierlagen befindlichen Oelschichten (Stärke der Pressung). Durch Änderung dieses Verhältnisses, z. B. durch Variation des Pressdruckes auf die Drähte konnten gegenüber den nach der Formel berechneten Mittelwerten Abweichungen bis zu  $\pm 30\%$  erzielt werden. Es gelang beispielsweise bei 12 mit 34 Lagen Papier isolierten Probestücken

eine mittlere Durchschlagsfestigkeit von 215 kV eff. zu erreichen bei Abweichungen in den Resultaten von + 7 und - 11 %.

- b) Die Behandlung der Drähte vor dem Versuch.
- c) Die Ausführung der Abrundung und die Beschaffenheit der Oberfläche des Kupferdrahtes.
- d) Das Verhältnis der Dicke der als mechanischen Schutz verwendeten Baumwolle zur Papierisolation. Der Einfluss der eine verhältnismässig geringe Durchschlagsfestigkeit aufweisenden Baumwolle auf die Gesamtisolation wird umso geringer, je mehr Papierlagen angewendet werden. Die Formel  $V = 40 d$  gilt für ein Verhältnis der Isolationsstärken von Baumwolle zu Papier wie 1 : 15. Ist die Baumwolle verhältnismässig stärker, so ist die Durchschlagsfestigkeit etwas geringer als nach der Formel berechnet und umgekehrt.

Aus den Versuchen geht hervor, dass es unzweckmässig ist, Garantieversuche für die Durchschlagsfestigkeit zwischen zwei Drähten zu verlangen, da durch scheinbar unbedeutende Änderungen am Versuchsobjekt eine sehr grosse Streuung in den Versuchsresultaten hervorgerufen werden kann.

### Technische Mitteilungen. – Communications de nature technique.

#### Die Kraftwerke Oberhasli und die Beteiligung des Kantons Basel-Stadt. 621.312.134

Der Begründung eines Antrages auf Beteiligung des Kantons Basel-Stadt an der Kraftwerke Oberhasli A.-G. entnehmen wir folgende Angaben:

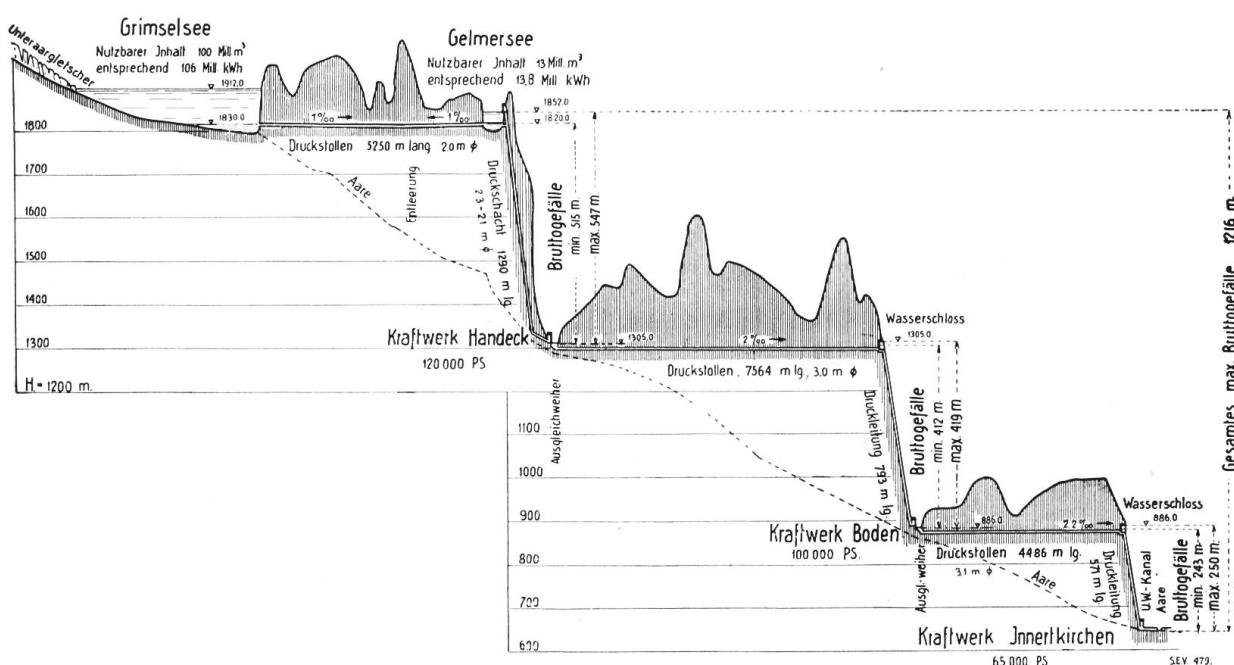
##### Die Kraftwerke Oberhasli (K. W. O.).

Projekte für die Ausnutzung der Wasserkräfte des Oberhasli bestehen seit 1905 (siehe

in der obersten Stufe von der Grimsel bis zur Handeck im Kraftwerk Handeck mit 547 m Gefälle;

in der mittleren Stufe von der Handeck bis zum Boden im Kraftwerk Boden mit 419 m Gefälle;

in der untersten Stufe vom Boden bis Innertkirchen im Kraftwerk Innertkirchen mit 250 m Gefälle.



Bulletin 1921, No. 8). Das letzte, seit Herbst 1925 in Ausführung begriffene Projekt ist von Herrn Direktor Käch ausgearbeitet worden.

Das gesamte Gefälle von 1216 m soll, wie im Längenprofil dargestellt, in folgender Weise ausgenützt werden:

In die unterste Stufe können später eventuell noch die Trift- und Gadmenaare einzogen werden.

Der jährliche Wasserzufluss aus dem 111,5 km<sup>2</sup> umfassenden Einzugsgebiet der obersten Stufe beträgt im Mittel 240 Millionen Kubik-