

Zeitschrift: Bulletin de l'Association suisse des électriciens
Herausgeber: Association suisse des électriciens
Band: 17 (1926)
Heft: 12

Artikel: Die neueren Gesichtspunkte beim Bau von Schaltanlagen
Autor: Puppikofer, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1058882>

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: 09.02.2026

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

Die neueren Gesichtspunkte beim Bau von Schaltanlagen.

Von *H. Pupikofer*, dipl. Ing., Baden.

Nach einem einleitenden Rückblick über die Entwicklung bespricht der Verfasser die Grundsätze, die heute beim Bau von Schaltanlagen für Grosskraftwerke zur Anwendung gelangen und zeigt an Hand von Ausführungsbeispielen aus dem BBC-Konzern die beiden modernsten Formen von Schaltanlagen: die Freiluft- und die Hallenschaltanlagen.

621.317 (004)

Après un coup d'œil rétrospectif sur le développement des installations de distribution pour centrales de grande puissance, l'auteur parle des principes observés à l'heure actuelle dans leur construction et montre, à l'aide d'exemples tirés de la pratique des maisons BBC et entreprises affiliées, comment l'on conçoit les deux types les plus modernes d'installations de distribution: celui en plein air et celui sous halles couvertes.

1. Einleitung.

In den Anfängen des Kraftwerkbaues spielten die Schaltanlagen eine vollständig untergeordnete Rolle. Die Hauptsache war das Maschinenhaus mit den Stromerzeugern, und der Schaltanlage wurde gewöhnlich am Ende des Gebäudes ein bescheidenes Plätzchen zugeteilt. Mit der fortschreitenden Ausnützung der Wasserkräfte, d. h. mit der wachsenden Leistung der Kraftwerke und mit deren Koppelung, hat sich das Verhältnis zwischen Maschinenhaus und Schaltanlage ganz wesentlich geändert. Nicht etwa, dass die Schaltanlage zum ausschlaggebenden Bauteil geworden wäre: das Maschinenhaus wird, speziell bei hydroelektrischen Kraftwerken, mit dem wasserbaulichen Teile, den ausgedehnten Maschinenfundamenten, den Krananlagen usw. immer noch an erster Stelle stehen, sowohl im Kostenanschlag als auch in der äusseren Erscheinung. Bei Dampfkraftwerken kommen für die Platzbeanspruchung die Kessel mit allen ihren Transport- und Hilfseinrichtungen noch vor der Schaltanlage.

Vor dem Eintreten in die Betrachtung der heutigen Form des Schaltanlagenbaues wollen wir durch einen kurzen Rückblick deren Entwicklung nochmals vor Augen führen.

Die ersten Schaltanlagen bestanden aus Schalttafeln, in deren Marmorplatten die Instrumente und Apparate eingebaut waren. Mit den wachsenden Generatorspannungen wuchs die Tafel in die Tiefe. Es entstand das Schaltgerüst meistens mit der Tafel als vorderseitigem Abschluss. Diese Ausführungsform der Schaltanlagen wird für kleine Spannungen und Leistungen heute noch verwendet. Mit der weiteren Zunahme der Leistungen und besonders der Vermehrung der Schalteinrichtungen, wie z. B. die Einführung mehrerer Sammelschienensysteme usw., ergab sich die Notwendigkeit, die Schaltanlagen auf verschiedene Stockwerke zu verteilen. Sehr bald ging man daran, die Konstruktionseisen der Gestelle zwischen den einzelnen Feldern mit Mauerwerk (Ziegelwände, Gips usw.) auszufüllen, so dass die Apparate sich in einzelnen nach einer oder zwei Seiten offenen Zellen befanden. Dadurch ermöglichte man das ungefährdete Arbeiten an den Apparaten und Leitungen eines bestimmten Feldes, während die übrigen Felder in Betrieb bleiben konnten.

Mit der häufigeren Parallelschaltung von Kraftwerken sah man sich plötzlich vor die Aufgabe gestellt, beträchtliche Abschaltleistungen zu bewältigen. Bei Kurzschluss lieferten die zusammengeschalteten Kraftwerke so hohe Ströme zur Fehlerquelle, dass die Oelschalter, welche die gefährdeten Netzteile abzuschalten hatten, vorerst den Beanspruchungen nicht gewachsen waren. Nun machten sich die führenden Elektrizitätsfirmen daran, ihre Konstruktionen zu revidieren und den neuen Ansprüchen anzupassen. Der Schweizerische Elektrotechnische Verein stellte Richtlinien zur Wahl der Oelschalter auf¹⁾), in denen für die Bemessung der Schalter nicht allein auf die betriebsmässige Stromstärke, sondern auch auf diejenige bei Kurzschluss abgestellt wird. Diese Erkenntnis trug in hohem Masse zur Beruhigung der Betriebsleute bei, da die so bemessenen Oelschalter sich in den weitaus meisten Fällen als ihrer Aufgabe gewachsen zeigten. Durch die Erfahrungen mit den unrichtig gewählten Schaltern

¹⁾ Siehe Bulletin S.E.V. 1924, No. 5.

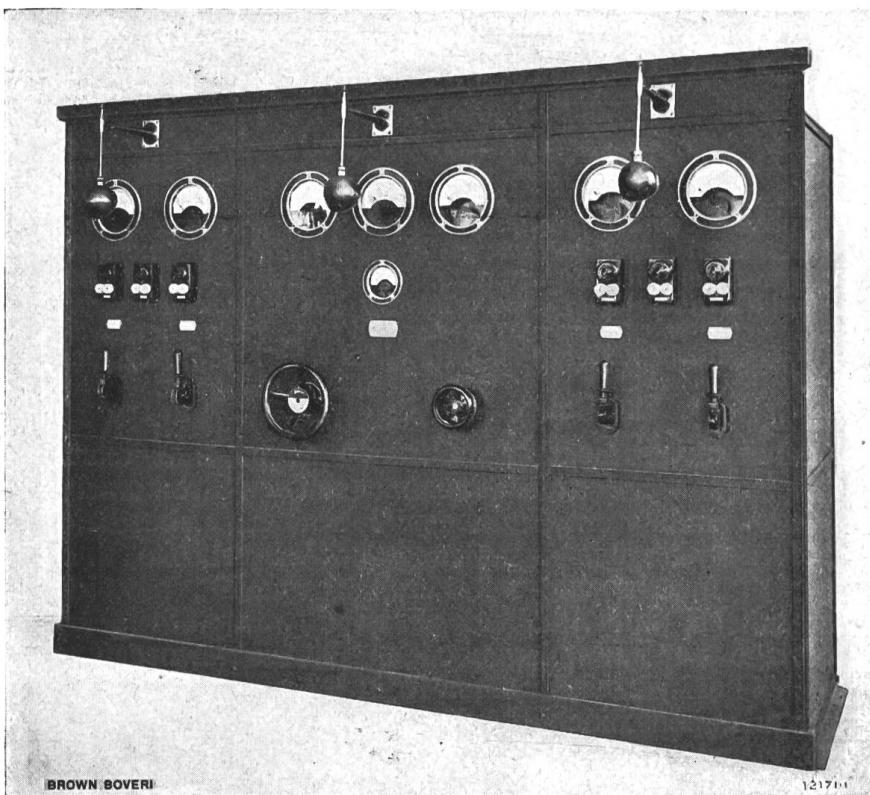


Fig. 1.

Schalttafel als vorderer Abschluss eines Schaltgerüstes für einen Generator 230 kVA, 525 V.

vorsichtig geworden, begannen nun die Erbauer von Kraftwerken die Oelschalter in besonders stark ausgebildeten Zellen vollständig zu isolieren, derart, dass bei Schadhaftwerden oder gar Explosion mit nachfolgendem Brand eines solchen die übrige Schaltanlage nicht betroffen wurde. Alle Leitungen wurden durch rauchdichte Mauerdurchführungen in die Schalterzellen eingeführt. Dieser Grundsatz führte zu einer sicheren, wenn auch etwas teureren Bauart der Schaltanlagen, die mit den Querschotten im Schiffsbau vergleichbar ist. Jede Stö-

rung wurde dadurch auf das zuerst betroffene Feld beschränkt, so dass der übrige Teil der Anlage ungestört im Betrieb bleiben konnte. Man hat sich eine Zeitlang auch bemüht, diese Zellen mit Federtüren, Fenstern oder Jalousien zu versehen, so dass bei Explosion des Schalters der Druckausgleich mit der Außenluft rasch und ohne Beschädigung vor sich gehen könnte und hernach durch möglichst guten Luftabschluss der eventuell nachfolgende Brand möglichst rasch gelöscht würde. Ein Bild eines solchen, heute nicht mehr angewandten Zellenabschlusses zeigt Fig. 3.

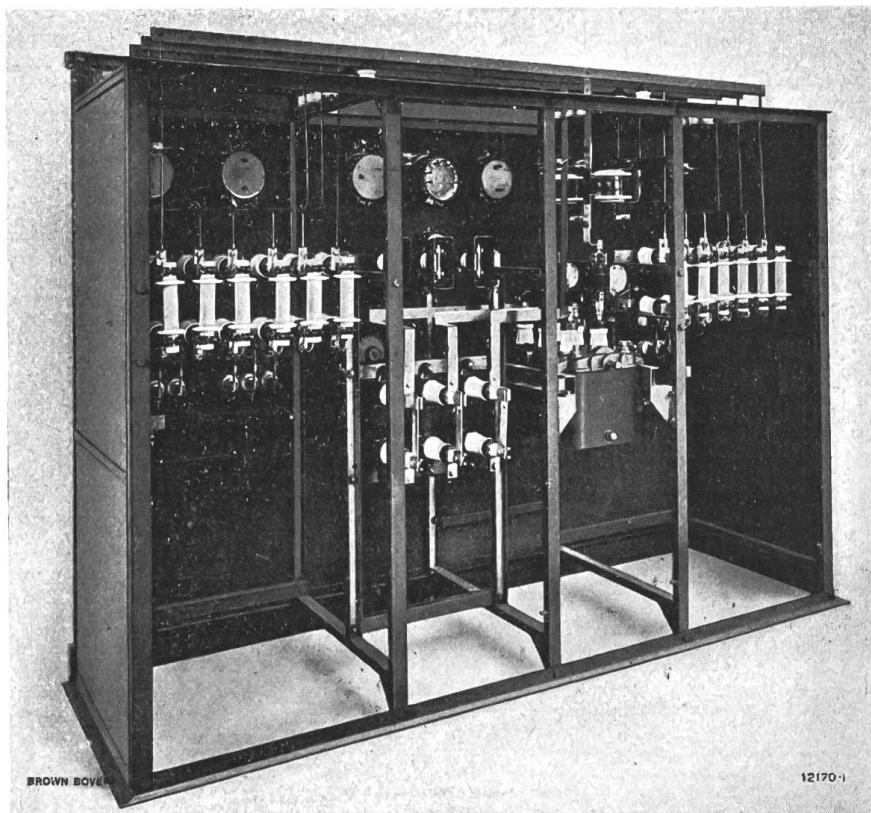


Fig. 2.
Rückansicht des Schaltgerüstes von Fig. 1.

2. Freiluftanlagen.

Nach der Jahrhundertwende entstand in Amerika eine ganz neue Bauart von Schaltanlagen: die Freiluftanlagen. Diese entwickelten sich jedenfalls aus den Konstruktionen, die man für kleine Transformatorenstationen für ländliche Siedelungen

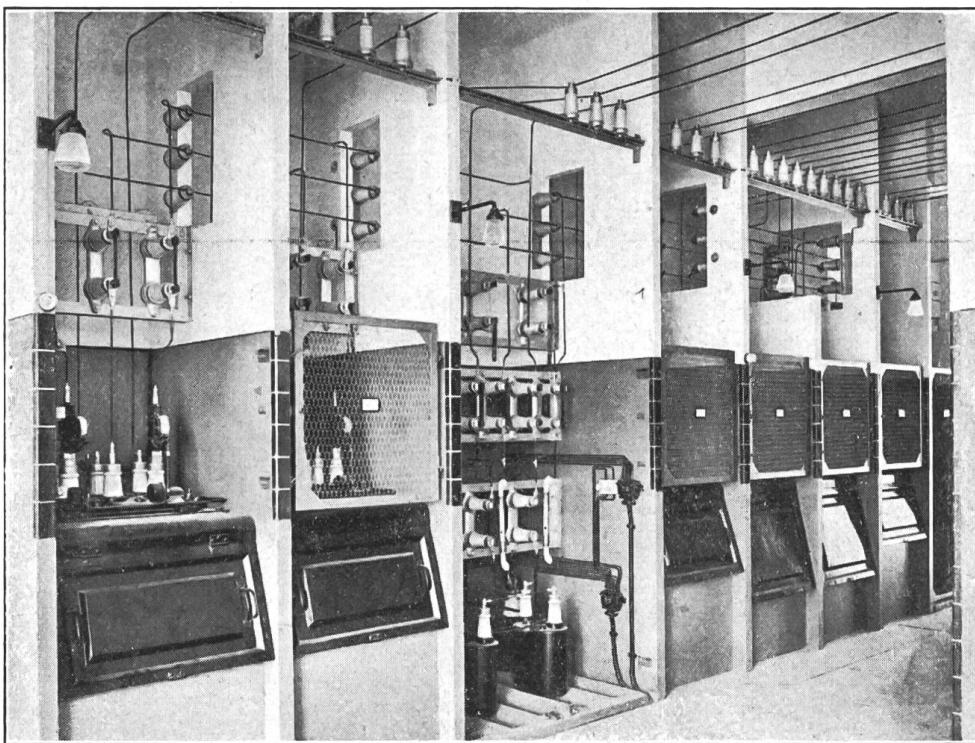


Fig. 3.
Schaltanlage mit offenen Zellen in einem Kraftwerk mit 6000 V Betriebsspannung.

anwandte, wo der geringe Stromabsatz den Bau von gemauerten Stationen wirtschaftlich sich nicht rechtfertigte. Solche Stationen hat man kurz nach der Jahrhundertwende auch in der Schweiz als Stangen-Transformatorenstationen gebaut. Die grossen Uebertragungsdistanzen in Amerika führten bald zu höheren Uebertragungsspannungen, für welche die amerikanischen Konstrukteure das für Aufstellung im Freien geeignete Schaltmaterial entwickelten. Es erwies sich nun, dass je höher die Betriebsspannung ist, um so wirtschaftlicher der Bau von Freiluftschanlanlagen gegenüber geschlossenem Zellenbau wird. Es entstanden daher bald Verteilanlagen, eigentliche Unterwerke in Freiluftausführung.

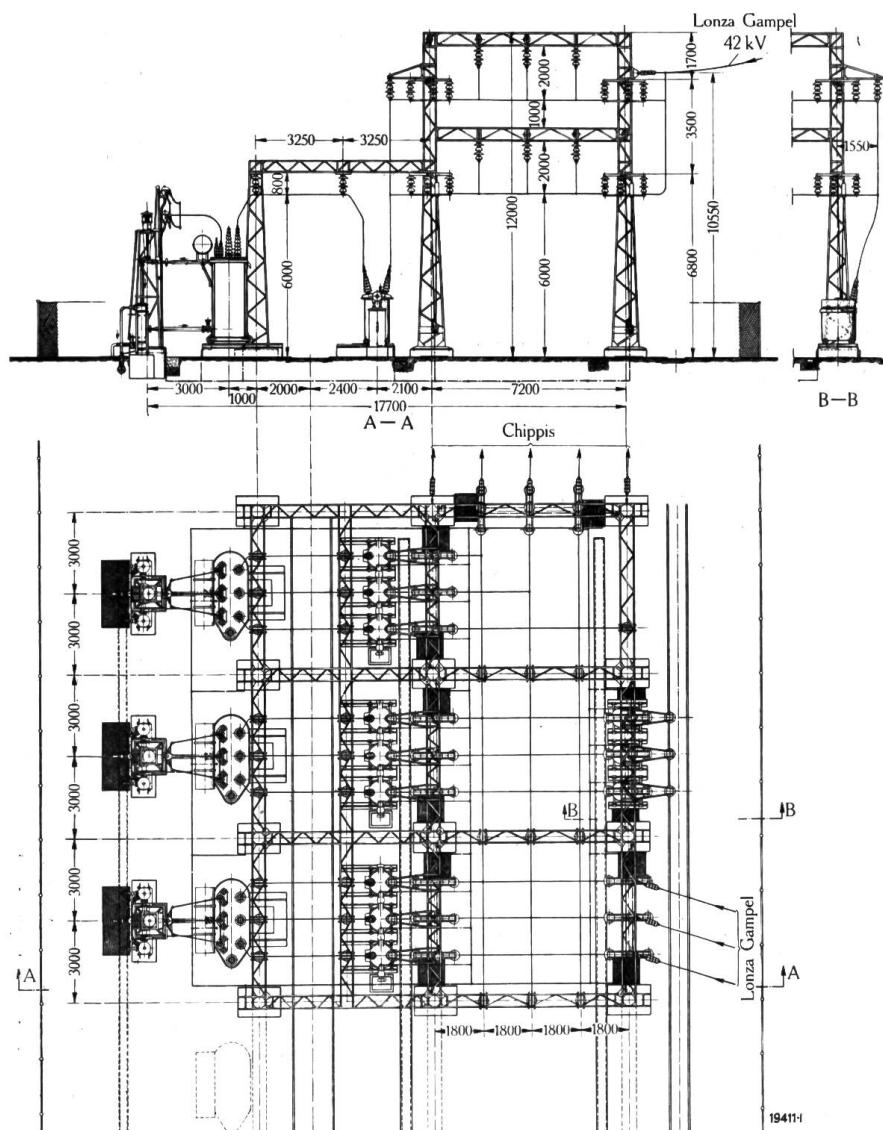
In Europa stiess die Ausführung der Freiluftanlagen anfänglich auf starken Widerstand bei den Betriebsleitern, welche einerseits eine wesentliche Abnahme der Sicherheit der Apparate gegen Ueberschläge usw. und anderseits die Erschwerung der Bedienung bei schlechtem Wetter fürchteten. Die ersten ausgeführten Anlagen zeigten aber deutlich, dass sich dieselbe Sicherheit bei den Apparaten wie bei Innenraumanlagen ohne grosse Schwierigkeit erreichen liess. Die hierfür entwickelten Sonderausführungen der Apparate sind naturgemäß etwas teurer; die Verbilligung der Anlage im ganzen durch Wegfall des Gebäudes ist jedoch bei Spannungen von 50 kV an aufwärts so gross, dass der Mehrpreis für die Apparate nur einen kleineren Teil davon ausmacht. Während der Kriegs- und Nachkriegszeit haben die Freiluftanlagen daher auch in den meisten europäischen Ländern Eingang gefunden und gelten heute auch bei staatlichen Unternehmungen als eine anerkannte Ausführungsform für Schaltanlagen.

Die Frage des Oelschalter-Einbaues, die den ganzen Schaltanlagenbau bei Innenanlagen beherrscht, tritt hier vollständig in den Hintergrund. Der zur Verfügung

stehende grössere Platz erlaubt die Anwendung grosser Schaltermodelle, die den Beanspruchungen bei Kurzschlussabschaltungen besser gewachsen sind. Sollte dennoch durch eine Verkettung ungünstiger Umstände eine Schalterexplosion stattfinden, so hat diese lange nicht die verheerenden Wirkungen wie bei einer geschlossenen Schaltanlage. Auch ein eventueller Brand kann keine grossen Folgen haben, da keinerlei brennbare Materialien offen daliegen. Nicht zu vergessen ist, dass bei

Freiluftanlagen spätere Erweiterungen resp. Umstellungen leichter vorzunehmen sind, da sie keine baulichen Veränderungen bedingen. Da man nicht auf die Fertigstellung eines Gebäudes warten muss, sondern nach Erstellung der an sich sehr einfachen Fundamente nur die fertig angelieferten Eisenkonstruktionen zusammenstellen kann, wird die Einhaltung der Bauprogramme sehr erleichtert.

Mit Ausnahme der Sammelschienen und Trennmesser befinden sich die Apparate auf ebenem Boden, so dass die Transportfrage bei Revisionen und Auswechslungen usw. sehr vereinfacht wird. Da man alle Trennmesser dreipolig macht und mit mechanischen Fernantrieben versieht, kann die Bedienung der ganzen Anlage vom Erdboden aus geschehen.



Freiluftanlage des Kraftwerkes Mühlacker-Turtmann der Illsee-Turtmann A.-G., Schnitt und Grundriss.

Wie erwähnt, kamen die Freiluftanlagen entsprechend ihrer Entstehung zuerst bei Transformatoren und Schaltstationen in Anwendung. Da mit den wachsenden Uebertragungsdistanzen auch die Spannung der von den Kraftwerken abgehenden Linien anstieg, kam man selbstverständlich dazu, auch die Schaltanlagen moderner Kraftwerke im Freien aufzustellen. So finden wir denn bei den neuesten in Bau befindlichen Grosskraftwerken die Schaltanlagen entweder in Freiluft- oder in Hallenbauausführung vorgesehen.

a) Disposition der Freiluftanlagen.

Die Sammelschienen und Trennmesser werden so hoch genommen, dass Reparaturen und Revisionen (Schalterauswechslungen usw.) an einzelnen abgeschalteten Feldern gefahrlos stattfinden können. Diese Anlageteile werden durch Eisengerüste

getragen, die je nach der Anordnung der Sammelschienen der Anlage einen bestimmten Charakter aufprägen. Diese Gerüste, die natürlich möglichst leicht als

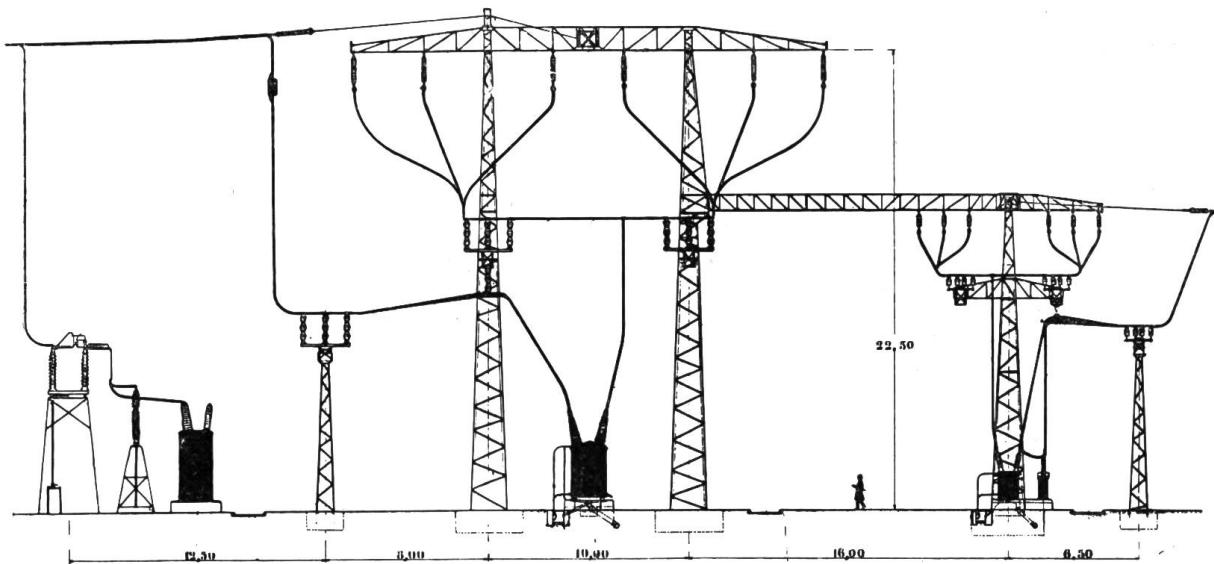


Fig. 5.
Freiluftschaltanlage Lannemezan der Cie. du Chemin de fer du Midi.

Fachwerkträger gebaut werden, stehen jeweils zwischen den einzelnen Feldern da, wo bei den geschlossenen Schaltanlagen die Zellenwände sich vorfinden. Der Raum zwischen zwei Gerüsten wird zweckmässigerweise als Felderteilung bezeichnet.

Da man durchweg zwei Sammelschienensysteme vorsieht, hat man zum vornehmerein zwei Möglichkeiten der Anordnung, d. h. man kann die Sammelschienen entweder übereinander oder nebeneinander legen.

Die Anordnung der Sammelschienen übereinander, welche die ältere zu sein scheint, ergibt eine äusserst klare Lösung, welche das Schema der Anlage sehr leicht erkennen lässt. Diese wird hierbei deutlich in drei Längsschiffe unterteilt. Im Mittelschiff befinden sich die Sammelschienen, welche durch portalartige Eisengerüste getragen werden, an denen man auch die Trennmesser befestigt. Die beiden Seitenschiffe enthalten die Oelschalter der Stromerzeuger (d. h. der aus dem Generator mit vorgeschaltetem Transformator bestehenden Betriebseinheiten) oder der abgehenden Linien. Die Trennmesser, mit denen die einzelnen Felder auf das eine oder andere Sammelschienensystem geschaltet werden, befinden sich übereinander. In derselben Felderteilung können sich beidseitig der Sammelschienen Transformatoren oder abgehende Linien befinden. Die Anlage kann daher für eine bestimmte Anzahl Felder in der Richtung der Sammelschienen sehr kurz gehalten werden. Ein hübsches Beispiel dieser Art bietet die Freiluftanlage des Kraftwerkes Mühlacker-Turtmann der Illsee-Turtmann A.-G. für 60 000 V (Fig. 4).

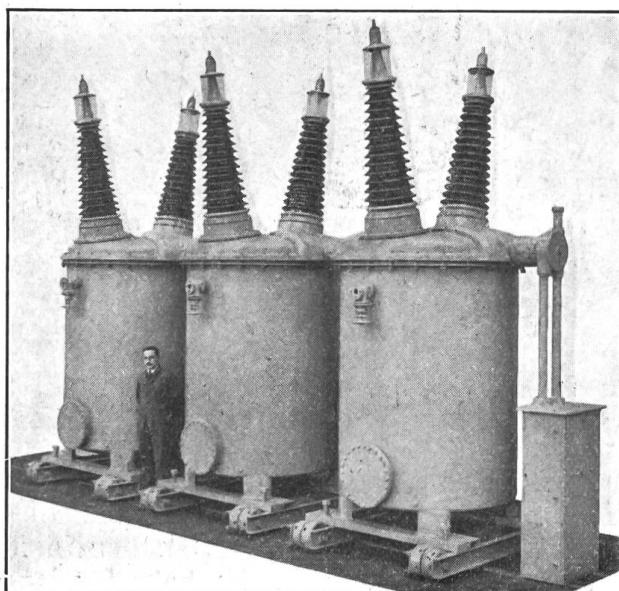


Fig. 6.
Oelschaltergruppe für Drehstrom 150 kV, 400 A, für Aufstellung im Freien.

Als Nachteil dieser Disposition kann erwähnt werden, dass es schwierig sein kann, ein Sammelschienensystem zu revidieren ohne das andere im Betriebe zu stören. Man hat daher auch schon bei dieser Lösung zwischen beiden Sammelschienen einen Zwischenboden eingebaut (Freiluftanlage Chevilly du Chemin de fer Paris-Orléans bei Paris für 90 000 und 60 000 V).

Bei der Anordnung der Sammelschienen nebeneinander ergeben sich verschiedene Lösungen, je nachdem man die Schalter in den Seitenschiffen belässt oder sie

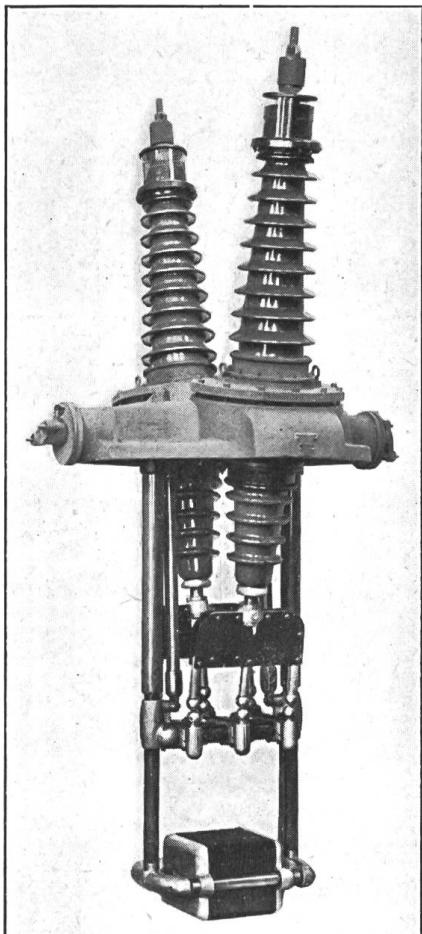


Fig. 7.

Innenteile eines einpoligen Oelschalters für 80 000 V, 350 A, Kontakte eingeschaltet.

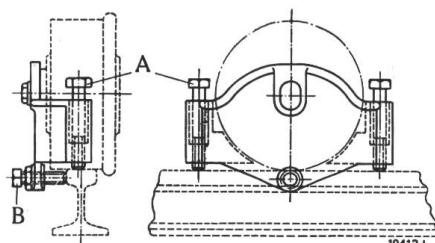


Fig. 8.
Einstellvorrichtung zu den Transportwagen
der Freiluftapparate.

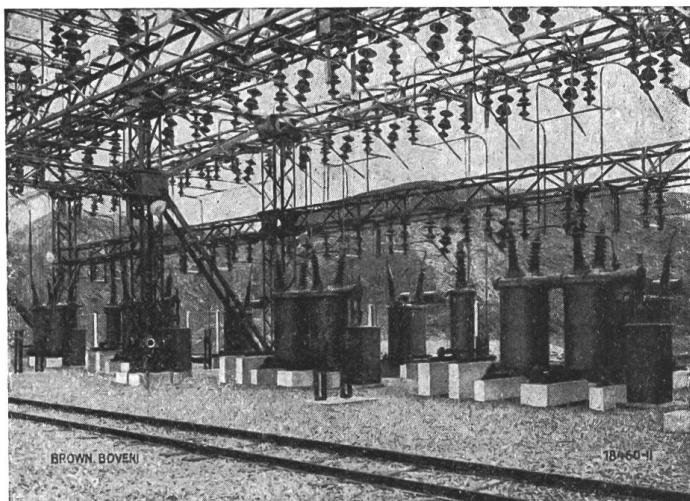


Fig. 9.

Unterwerk Brugg der S.B.B.
Zu beachten sind die 66 kV Messertrennschalter mit ihren Antriebs-
ständern, die neben den Antrieben der Oelschalter sichtbar sind.

mittens unter die Sammelschienen stellt. Im ersten Falle muss man, um von jedem Feld zu den beiden Sammelschienen zu gelangen, die doppelte Anzahl Leitungen (bei Drehstrom 6 Leitungen) nebeneinander führen. Dieses erfordert daher bei Drehstrom bedeutend mehr Platz für jedes Feld in der Längsrichtung der Sammelschienen. Bei Einphasenstrom hingegen lässt sich diese Anordnung sehr bequem und ohne Mehraufwand an Platz anwenden. Die Vermischung der Anschlussleitungen zu den beiden Sammelschienensystemen (Fig. 15) wirkt hier keineswegs so störend, wie es bei Drehstrom der Fall wäre. Bei dieser Anordnung kann man wiederum beidseitig des Hauptschiffes ankommende oder abgehende Felder vorsehen.

Stellt man die Schalter mittens unter die Sammelschienen, wie zum Beispiel bei der Freiluftanlage Lannemezan (Fig. 5), so ergibt sich wieder eine ungezwungene Leitungsführung zu den Sammelschienen. Diese Anlage zeichnet sich auch aus durch die schlanke und kühne Formgebung der Eisenkonstruktionen. Es ist jedoch hier nicht mehr möglich, in der gleichen Felderteilung nach beiden Seiten abzugehen.

Will man auch dieses wieder erreichen, so kann man eines der beiden Sammelschiensysteme U-förmig biegen, so dass sich das andere System in der Mitte befindet und von andern beidseitig eingerahmt wird. Diese Lösung gestattet, auch ohne lange Leitungen, ein bestimmtes Feld mit seinem gegenüberliegenden mit Hilfe eines Trennmessers und unter Umgehung der Sammelschienen zu verbinden.

Bei genauer Untersuchung muss man auch hier zugeben, dass es nicht ohne weiteres und ohne Gefahr möglich sein wird, ein Sammelschiensystem zu revidieren, während das andere und die übrige Anlage unter Spannung bleibt. Um zu einem abschliessenden Urteil darüber zu gelangen, wird man am besten auf

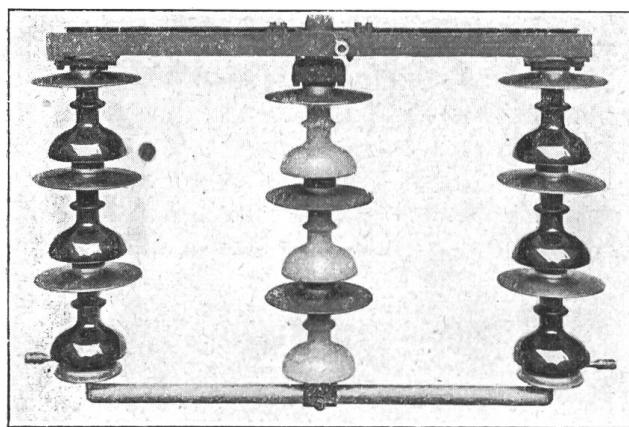


Fig. 10.
Dreh trennmesser für 110 kV, 350 A für hängende Montage
im Freien.

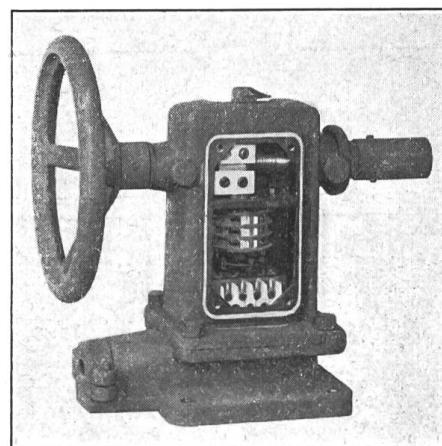


Fig. 11.
Handradantrieb eines dreipoligen Dreh trenn-
messers.

die im Laufe der Zeit erworbenen Erfahrungen der Betriebsleiter abstellen müssen. Heute wird man die eine oder andere Disposition wählen, je nach den örtlichen Verhältnissen, d. h. je nach Grösse und Form des zur Verfügung stehenden Platzes.

b) Leitungsmaterial.

Für den Charakter der ganzen Leitungsführung massgebend ist die Wahl des Materials für die Sammelschienen. Bei kleineren Spannungen, d. h. bei kleineren Spannweiten der Portale und bei kleinerer Felderteilung, ist die Verwendung von Kupferrohren das zweckmässigste. Es lässt sich damit bei kleinster Isolatorenzahl die schönste Leitungsführung erreichen. Es ist dann nur notwendig, bei grosser Totallänge der Sammelschienen usw. Ausdehnungsstücke zum Ausgleich der Temperaturoausdehnung einzubauen, so dass auf Stützisolatoren und speziell auf die Durchführungen der Apparate keinerlei Biegungskräfte ausgeübt werden.

Bei höheren Spannungen kann man auch durch Anwendung von Stahlrohren von grösserem Durchmesser (Fig. 5) noch mit der Rohrmontage auskommen. Bei Spannweiten über 6 m empfiehlt es sich aber doch, Drahtseil mit Abspannisolatoren wie bei Freileitungen zu verwenden. Die Verbindung zwischen je zwei Felderteilungen erfolgt dann durch Kabel- oder Rohrbügel. Bei dieser Montageart braucht auf die Wärmeausdehnung keine Rücksicht genommen zu werden. Da für kurze und gekrümmte Leitungsstrecken die Kabelmontage ungünstig wird, ist es angezeigt, sich nicht grundsätzlich darauf zu verstießen, sondern je nach Zweckmässigkeit in derselben Anlage das eine oder das andere anzuwenden.

Durch die Wahl des Leitungsmaterials sind auch die Isolatoren festgelegt. BBC verwendet sozusagen ausschliesslich den „Motor“-Isolator, sowohl für Kettenisolatoren als auch für starre Isolatoren, für stehende oder hängende Aufstellung. Dieser Isolator, der in den wenigen Jahren seit seinem Erscheineneine sehr grosse Verbreitung gefunden hat, hat sich unter allen möglichen Betriebsbedingungen bestens bewährt.

c) *Schaltapparate.*

Der wichtigste Betriebsapparat ist zweifellos der Oelschalter. Von seinem guten Funktionieren hängt die Sicherheit der ganzen Anlage ab. Die A.-G. Brown Boveri & Cie. hat einen Oelschalter für Freiluftaufstellung konstruiert, der die schwersten bisher vorgenommenen Abschaltversuche gut bestanden hat (siehe Electrical World vom 9. Mai 1925).

Die Konstruktion des BBC-Oelschalters (Fig. 6 und 7) beruht auf dem Prinzip der Mehrfachunterbrechung, welche erlaubt, mit mässiger Traversengeschwindigkeit und Schalterdimension grosse Leistungen abzuschalten. Jede Phase ist in einem besonderen Kessel untergebracht. Die kräftige Bauart dieser Oelschalter macht sie für Aufstellung im Freien besonders geeignet. Der starke gusseiserne Deckel ist wasserdicht ausgeführt. Er enthält zwei grosse auf entgegengesetzten Seiten angebrachte und nach unten gerichtete Oeffnungen, die zur Ventilation des Schalterinnern, d. h. zur Abfuhr der Oelgase und zum Ausgleich der Temperaturdifferenzen zwischen dem Schalterinnern und der Aussenluft dienen. Dadurch kann die gefürchtete Bildung von Kondenswasser vermieden werden. Die Durchführungen durch den Deckel, die sowohl bei den Oelschaltern, als auch bei den übrigen Apparaten und Transformatoren benutzt werden, sind aus Porzellan und bei Spannungen über 50 000 V mit Oel gefüllt. Sie werden gleichzeitig verwendet zur Anbringung von Ringstromwandlern zur Speisung der Maximalstromrelais und Amperemeter. Die Oelschalterkübel sind aus nahtlos geschweisstem, starkem Eisenblech hergestellt und besitzen, wie gesagt, kreisförmigen Querschnitt, als beste Form zur Aufnahme der bei schweren Abschaltungen entstehenden hohen inneren Drücke. Sie sind mit Mannloch versehen, so dass eine Revision auch an Ort und Stelle nach Entleerung möglich ist. Schliesslich sind die Schalter, wie auch alle Freiluftapparate, auf Rollen gesetzt zur Erleichterung des Transportes. Je drei Pole werden an den Wellen durch Klauenkupplungen zu einem dreipoligen Schalter vereinigt, der durch einen Motorferntrieb oder auch von Hand mit einer Kurbel betätigt werden kann. Um die Wellenmitten der drei Pole in gleiche Richtung und Höhe zu bringen, bringt man an den Rollen Einstellvorrichtungen nach Fig. 8 an, die gleichzeitig auch das Abrollen auf den Geleisen verhindern.

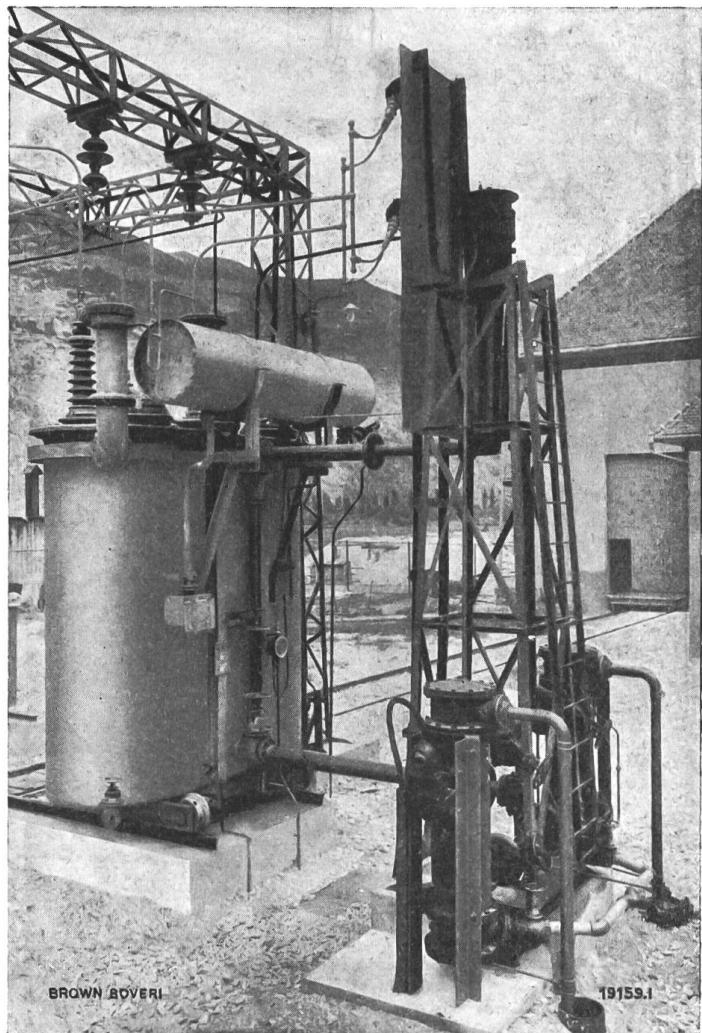


Fig. 12.

Oelrückkühlung für einen 8000 kVA Freilufttransformator,
60 000/9250 V, Frequenz 50.

sind aus nahtlos geschweisstem, starkem Eisenblech hergestellt und besitzen, wie gesagt, kreisförmigen Querschnitt, als beste Form zur Aufnahme der bei schweren Abschaltungen entstehenden hohen inneren Drücke. Sie sind mit Mannloch versehen, so dass eine Revision auch an Ort und Stelle nach Entleerung möglich ist. Schliesslich sind die Schalter, wie auch alle Freiluftapparate, auf Rollen gesetzt zur Erleichterung des Transportes. Je drei Pole werden an den Wellen durch Klauenkupplungen zu einem dreipoligen Schalter vereinigt, der durch einen Motorferntrieb oder auch von Hand mit einer Kurbel betätigt werden kann. Um die Wellenmitten der drei Pole in gleiche Richtung und Höhe zu bringen, bringt man an den Rollen Einstellvorrichtungen nach Fig. 8 an, die gleichzeitig auch das Abrollen auf den Geleisen verhindern.

Für die Spannungsabschaltung hat die A.-G. Brown Boveri & Co. zwei Typen von Trennmessern für Freiluftmontage entwickelt (Fig. 9 und 10). Für kleinere Span-

nungen bis 60 000 V wird der etwas billigere Messershalter verwendet, dessen Messer sich in der Ebene der Stützisolatoren bewegt. Bei höheren Spannungen wird ausnahmslos das Drehtrennmesser gebaut, dessen Brücke sich in einer zu den Stützisolatoren senkrechten Ebene bewegt. Beim Antriebmechanismus der ersten Trennmesser muss das Gewicht der beweglichen Teile durch ein Gegengewicht ausgeglichen werden. Beim Drehtrennmesser wird beim Oeffnen zuerst der mittlere Isolator gehoben, und erst dann beginnt die Drehung. Dadurch vermeidet man, dass die Isolatoren auf Verdrehung oder Biegung beansprucht werden. Sowohl bei den Ausführungen für stehende als auch bei denjenigen für hängende Montage sind

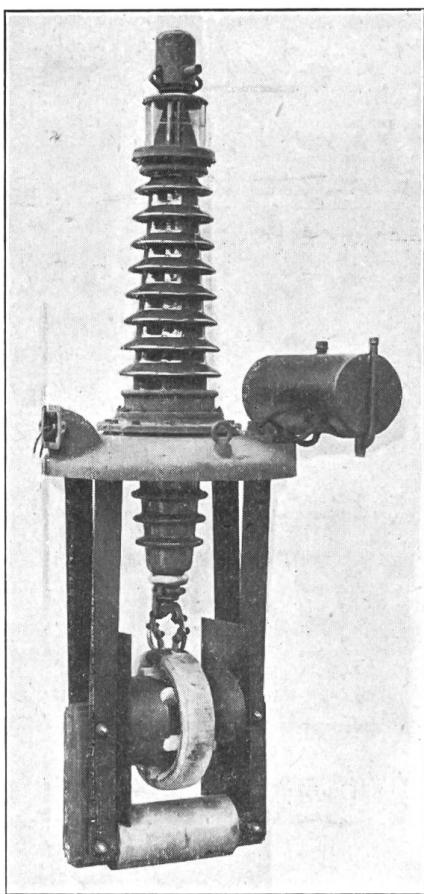


Fig. 13.
Stromwandler, aus dem Oelkübel herausgenommen.

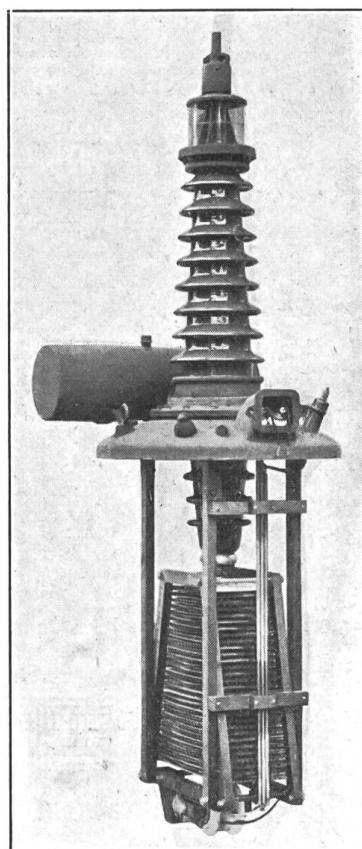


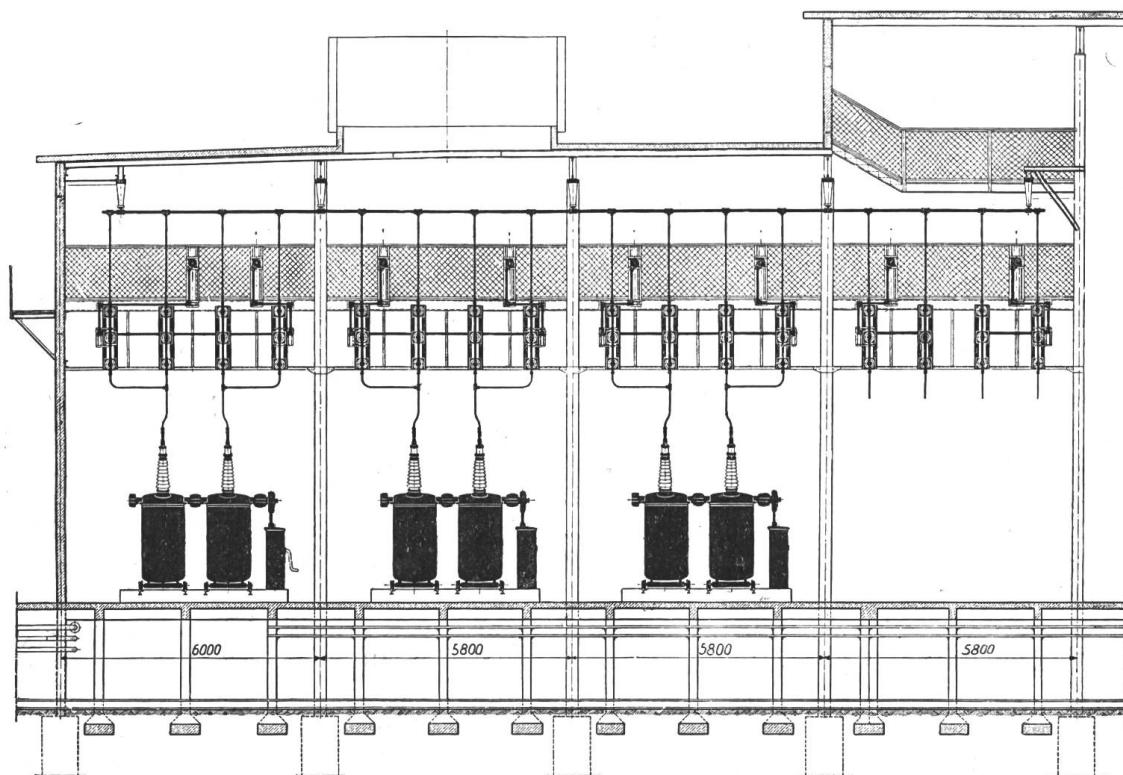
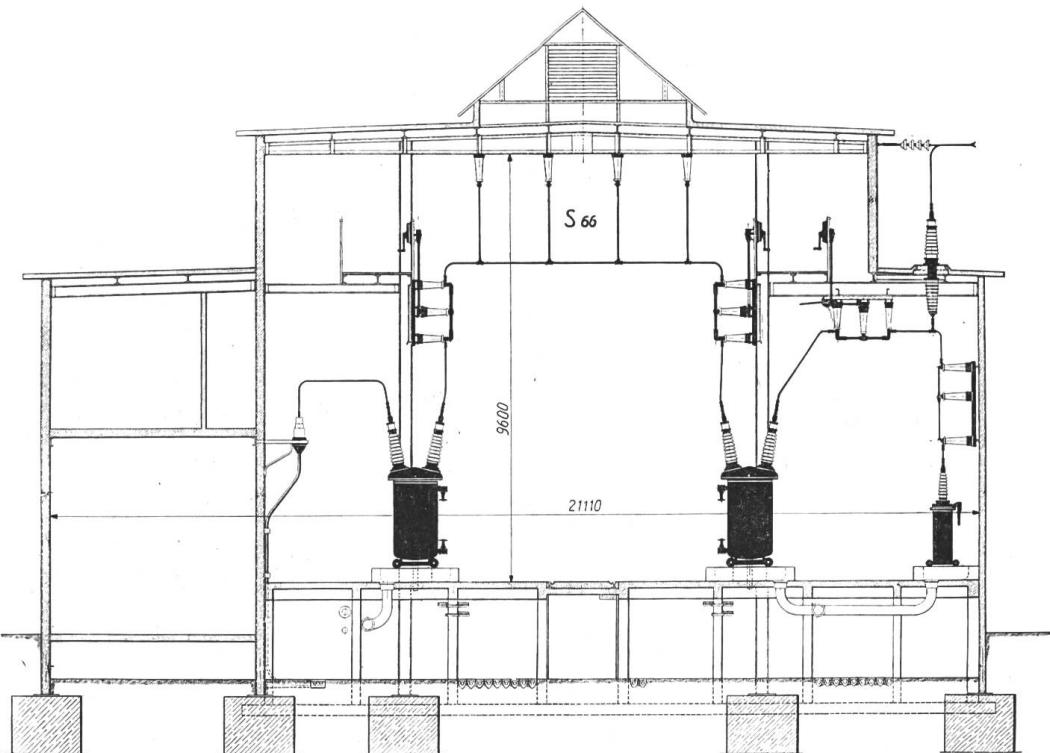
Fig. 14.
Widerstand, aus dem Oelkübel herausgenommen.

die Kontaktstücke durch Kappen gegen Vereisung geschützt. Alle Trennmesser sind dreipolig und, wie oben erwähnt, vom Boden aus bedienbar. Die Bedienung auf Passerellen usw. ist für Freiluftanlagen wegen der Gefahr des Ausgleitens bei Eisbelag gänzlich zu verwerfen.

d) Transformatoren.

Die Transformatoren für Freiluftaufstellung werden durchweg mit hermetisch, d. h. öldicht geschlossenem Kasten und mit Ausdehnungsgefäß oder Oelkonservator ausgeführt; dadurch kann dem Eintritt von Feuchtigkeit in das Öl wirksam begegnet werden. Die Atmung der Transformatoren erfolgt durch ein am Konservator geschlossenes Gefäß, das mit Chlorkalzium gefüllt wird. Auf dem Transformatordach befindet sich ein mit Oeldichtung versehenes Sicherheitsventil, welches bei Ueberdruck im Transformatoren den raschen Druckausgleich mit der Außenluft ohne Schädi-

gungen ermöglicht. Um das Auskochen der Transformatoren vor der ersten Inbetriebnahme oder nach Revisionen usw. in der Anlage selbst zu ermöglichen, werden die



Kasten vakuumfest gebaut. Der Deckel kann ebenfalls als Vakuumdeckel ausgebildet werden. Sofern aber mehrere Transformatoren zur Aufstellung gelangen, empfiehlt

es sich, einen gemeinsamen Deckel anzufertigen, der nur für den Auskochvorgang zu dienen hat.

Bei Kraftwerken wird man die Transformatoren stets für Oelumlauf und Wasser-
kühlung in gesondert aufgestellten Kühler bauen, da sie hierdurch leichter und
billiger werden und bei geeigneter Bemessung der Kühleinrichtung stark überlastbar
sind. Die Bauart für natürliche Kühlung empfiehlt sich da, wo kein Wasser oder
keine Bedienung zur Verfügung steht. Irgendwelche Bedenken wegen dem Gefrieren
des Wassers in der Kühleinrichtung braucht man nicht zu haben, wenn geeignete
Vorkehrungen getroffen werden. Gegen das Einfrieren der Leitung auf der kurzen
Strecke, wo diese aus dem Boden heraustritt bis zu ihrem Eintritt in die Kühler,
kann man sie durch Einbinden mit wärmeisolierendem Material schützen. Die Kühler
selbst werden vertikal gestellt und unten mit einem offenbleibenden Ablaufröhrchen

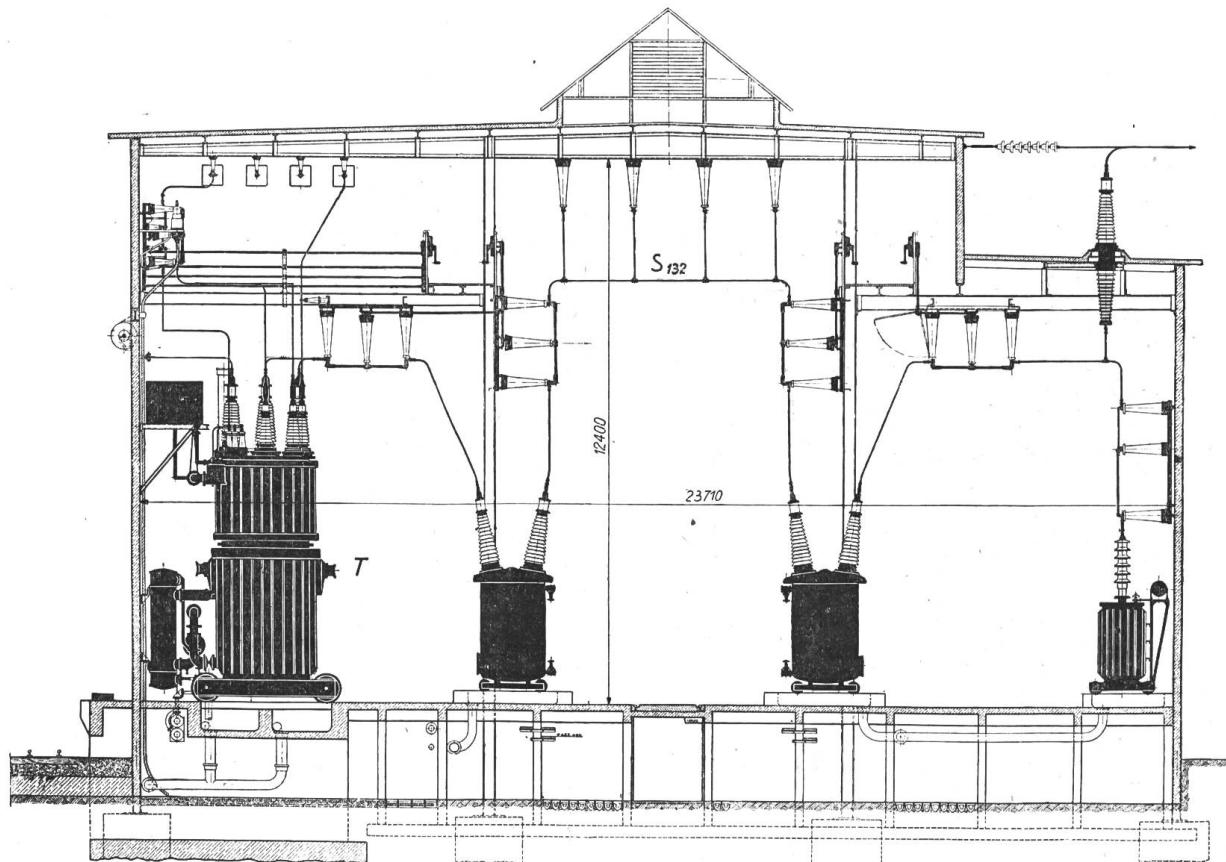


Fig. 16.
Hallenschaltanlage, Kraftwerk Vernayaz der Schweiz. Bundesbahnen für 132 kV Betriebsspannung.
S 132 = Sammelschienen 132 kV
T = Einphasentransformator 16 $\frac{2}{3}$ Per/sec, 9000 kVA.

versehen, durch das auch bei normalem Betrieb eine kleine Wassermenge abfließt, deren Verlust kaum in Betracht zu ziehen ist. Dadurch hat man die Gewähr, dass bei Abstellen des Kühlwasserzuflusses die Kühler sich vollständig entleeren. Diese Einrichtung hat sich auch in Gegenden mit strenger Winterkälte vorzüglich bewährt. Fig. 20 zeigt einen Transformator der Freiluft-Schaltanlage der Illsee-Turtmann Kraftwerke A.-G. Für den Oelumlauf wurde eine besondere Pumpengruppe durchgebildet, welche, um eine einfache Rohrleitungsführung zu ergeben, in der Nähe des Oelspiegels des Transformators montiert wird und mit vertikaler Achse ausgeführt wurde. Der Antriebsmotor ist über der Gruppe angeordnet, in genügender Entfernung, so dass zwischen beiden ein Standrohr untergebracht werden kann, worin das Oel sich auf die gleiche Höhe wie im Transformator, resp. Oelkonserver, einstellen kann. Dadurch erreicht man, dass die einzige noch vorhandene

Stopfbüchse der Pumpe, da wo die Welle zur Kupplung mit dem Motor durchgeht, nicht unter Druck steht. Diese Anordnung ergibt daher neben der schönen Leitungsführung bedeutend kleinere Oelverluste und vereinfacht in hohem Masse die Bedienung.

Die Transformatoren und ihre Kühleinrichtungen werden mit Kontrollapparaten, wie Wasserunterbruchsmelder, Oelströmungsmesser, Maximalthermometer, Signalkontakt, Ferntemperatur-Messeinrichtungen usw., ausgerüstet, die Störungen schon bei

Beginn ihres Auftretens durch Signalgebung anzeigen.

In Europa kommen für Drehstrom sozusagen ausschliesslich Dreiphasentransformatoren zur Anwendung, während man in Amerika häufig Einphasentransformatoren, zu dreien in Dreieck oder Stern geschaltet, vorsieht. Diese Lösung mag überall da, wo schlechte Transportverhältnisse herrschen, noch angebracht sein, da man hierdurch die Einzelgewichte beträchtlich herabsetzen kann. Es muss auch zugegeben werden, dass man bei einer Beschädigung an einem dieser Transformatoren den Betrieb mit den beiden andern mit auf 67% verringelter Leistung aufrecht erhalten kann, vorausgesetzt, dass die Transformatoren in Dreieck geschaltet werden,

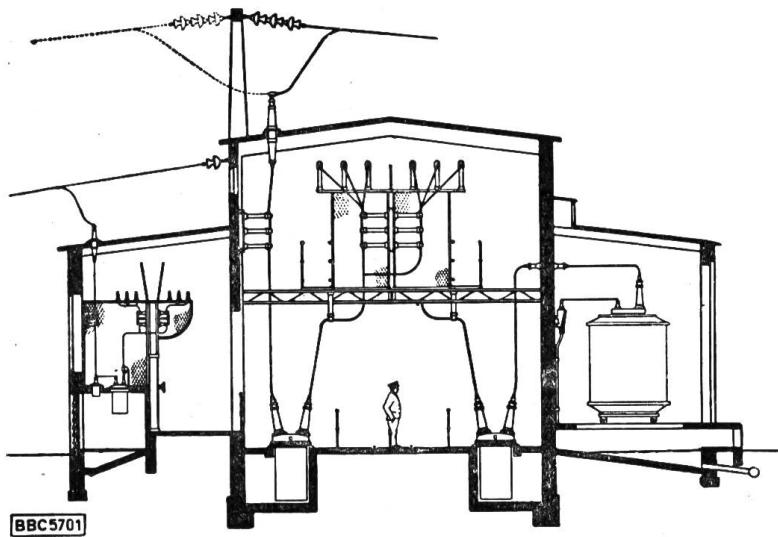


Fig. 17.

Umspannwerk 65/20 kV in Hallenbauweise (Variante mit in den Boden versenkten Oelschalterkübeln).

was allerdings höchst selten der Fall sein wird. Die wirtschaftlichen Nachteile dieser Lösung sind aber so gross, dass man wirklich nur unter dem Druck besonderer Verhältnisse dazu greifen sollte. Da der Preis eines Einphasentransformators ungefähr die Hälfte des Preises eines Dreiphasentransformators dreifacher Leistung beträgt, kann im günstigsten Falle die Lösung mit vier Einphasentransformatoren (wovon ein Stück als Reserve) gleich hoch zu stehen kommen als zwei Dreiphasentransformatoren, wovon ebenfalls ein Stück als Reserve zu dienen hätte. Bei wachsender Anzahl der Transformatoreinheiten und gleichbleibender Reserve (in beiden Fällen nur je ein Transistor) verschiebt sich der Preisunterschied immer mehr zu Gunsten der Anwendung von Dreiphasentransformatoren. Dazu ist der Raumbedarf bei Einphasentransformatoren erheblich grösser, was bei Innenstationen die Gebäudekosten in ungünstigstem Sinne beeinflusst; die Leitungsführung wird verwickelter, die Kühlungsapparatur verdreifacht sich, was den Betrieb unübersichtlich gestaltet und die Fehlermöglichkeiten erhöht. Schliesslich sind die Eisenverluste einer solchen Einphasen-Transformatorengruppe erheblich grösser als die Verluste des entsprechenden

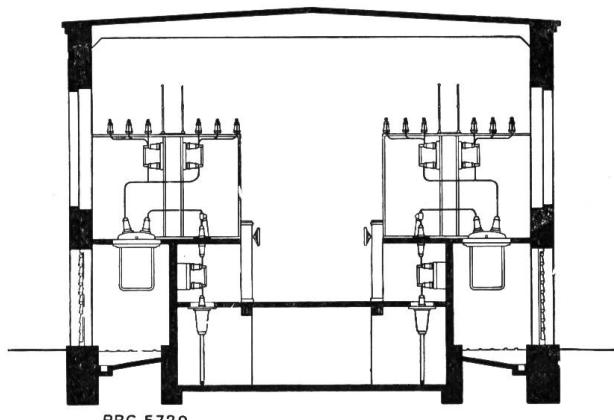


Fig. 18.
Hallenschaltanlage für Mittelspannungen.

Drehstromtransformators, so dass bei Kapitalisierung dieses Mehrverbrauchs die Unwirtschaftlichkeit dieser Lösung noch deutlicher zum Ausdruck kommt. Hat man sich dagegen entschlossen, den Sternpunkt des Hochspannungsnetzes bei den Transformatoren an Erde zu legen, so kann man Transformatoren mit spezieller Konstruktion, d. h. mit einpoliger Isolation, zur Anwendung bringen, wodurch sich die Kosten wieder erheblich reduzieren können.

Die Spannungs- und Stromwandler sind in ihrer Konstruktion ähnlich gehalten wie die Haupttransformatoren für natürliche Kühlung (siehe Fig. 13). Die Stromwandler werden allerdings nach Möglichkeit durch Ringstromwandler ersetzt, die man zweckmässigerweise an den Klemmen der Oelschalter anbringt. Ueberall aber, wo kleine Ströme gemessen und grosse Messleistung und Genauigkeit verlangt werden, müssen aber doch gewickelte Stromwandler in besonderen Kübeln zur Verwendung kommen.

Im Bestreben, die Anzahl der notwendigen Durchführungen nach Möglichkeit zu verringern, hat man die zum selben Felde zugehörigen Strom- und Spannungswandler in einen einzigen Oelkasten zu einem vollständigen Messatz vereinigt, der nur drei statt sechs Durchführungen, wie bei der getrennten Aufstellung, aufweist.

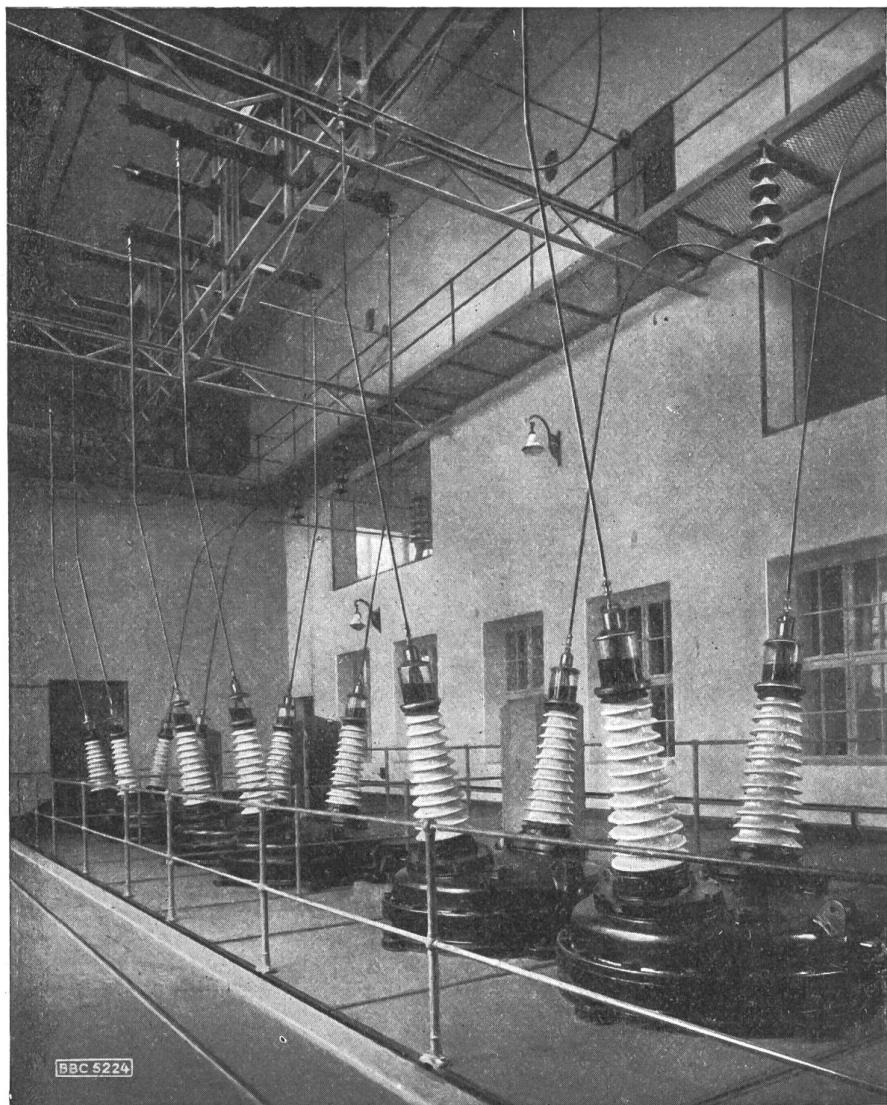


Fig. 19.
100 kV Hallen-Schaltanlage. Umspannwerk Murnau der Deutschen Reichsbahn.

e) Schutzapparate.

Die Ausführung der Schaltanlagen für Freiluftaufstellung bedingt keineswegs die Anwendung besonderer Schutzapparate. Es empfiehlt sich statt dessen, die Isolation der Transformatoren entsprechend stark zu wählen. Zum Schutze der Einrichtungen gegen die durch Erdschlüsse hervorgerufenen Ueberspannungen schliesst man bei Spannungen bis zu ca. 6000 V den Nullpunkt der Transformatoren über eine Löschspule an Erde. Bei Spannungen über 60 000 V ist eine direkte Erdung des Nullpunktes wegen der dabei zu erzielenden Ersparnisse am Isolationsmaterial das vorteilhafteste.

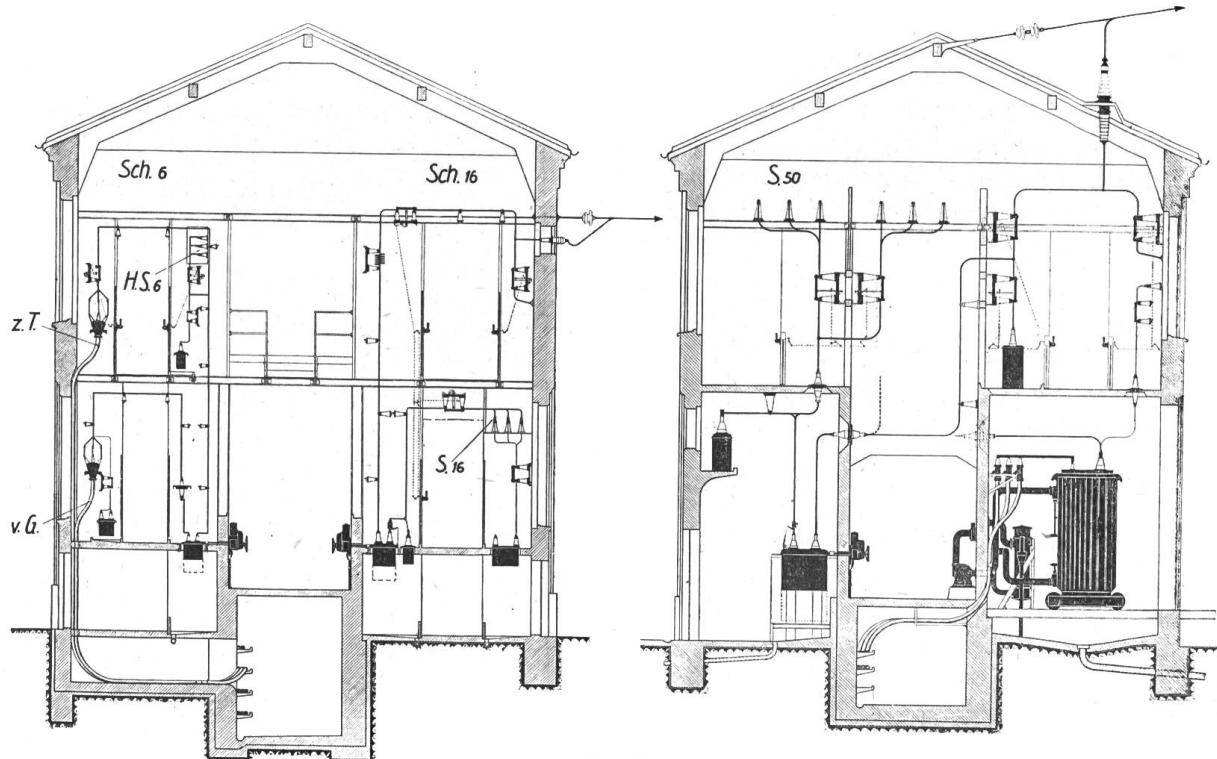


Fig. 20.

Fig. 26. Querschnitte durch die Schaltanlagen eines modernen Kraftwerkes, links als Hallenbau, rechts als Zellenbau.

Sch. 6 = Schaltanlage 6 kV

Sch. 16 = Schaltanlage 16 kV

H.S. 6 = Hilfssammelschienen 6 kV
S. 16 = Sammelschienen 16 kV

S. 50 = Sammelschienen 50 kV

v. G. = vom. Generator

z. T. = zum Transformator

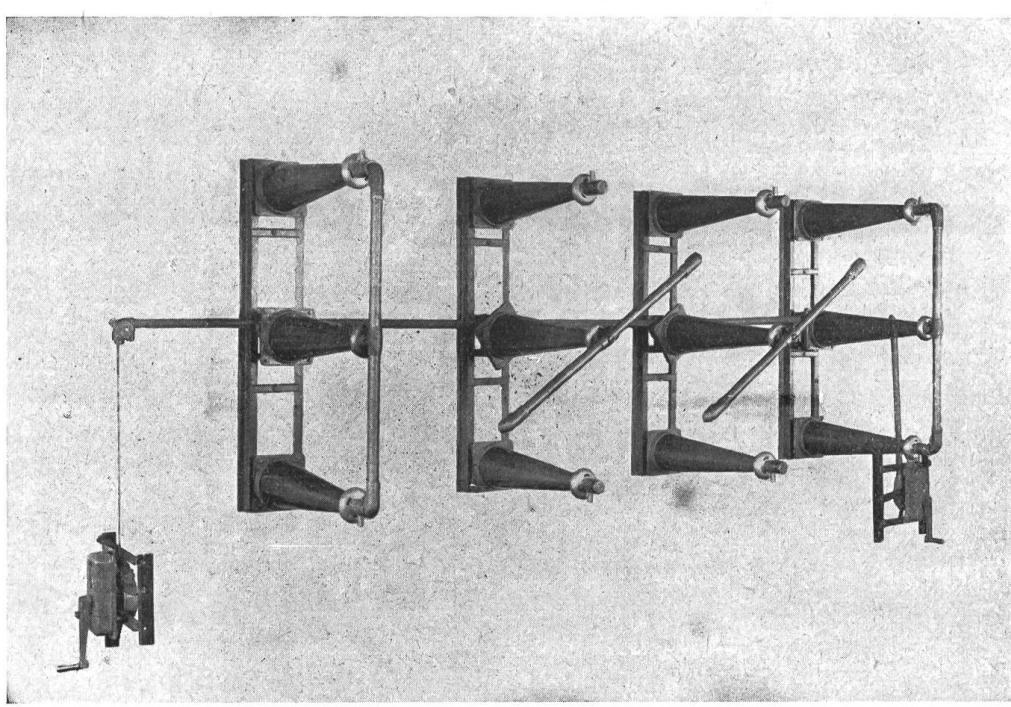


Fig. 21.

Zwei zweipolige Trennschalter-Gruppen mit Seilantrieb, für 150 kV Nennspannung, vorgesehen für die Hallenanlage Fig. 16.

Besondere Aufmerksamkeit ist der richtigen Bemessung und Verlegung der Erdungen der Eisenteile einer Freiluftanlage zu schenken. Im Bulletin des S. E. V., Heft 7 und 8 des Jahrganges 1923, sind die leitenden Grundsätze für die Ausführung für Erdungen festgelegt. Es ist jedenfalls notwendig, die Erdleitungen mit derselben Sorgfalt zu projektieren wie die Hauptleitungen, und so sollten auch die Trennmesser

zur Erdung des Nullpunktes der Transformatoren und zur Erdung der abgeschalteten Leitungen nach denselben Konstruktionsgrundsätzen bezüglich Bemessung der Kontakte, Sicherheit gegen Vereisen usw. gewählt werden, wie die Trennmesser, die den Betriebsstrom zu führen haben. Es ist deshalb zu empfehlen, für die Erdungstrennmesser dieselben bewährten Konstruktionen anzuwenden.

Eine andere Einrichtung kann hier noch erwähnt werden: es betrifft dies die Schaltung zur Feststellung, ob eine Leitung, die vor kurzem wegen Kurzschluss abgeschaltet wurde, nun wieder betriebsbereit ist. Durch einen Oelschalter, der mit Fernsteuerung versehen ist, aber keine automatische Ausschaltung besitzt, kann man den ausgeschalteten automatischen Oelschalter der betreffenden Linie mit einem Widerstand überbrücken, der nur einen ganz bestimmten, begrenzten Strom durchlässt. Wird nun am Amperemeter ein Strom in dieser Größenordnung festgelegt, so besteht die Störung noch. Ist umgekehrt gar kein oder nur ein kleiner Strom messbar, so darf die Linie wieder eingeschaltet werden. Diese Einrichtung hat sich bei den Unterwerken der Schweiz. Bundesbahnen zur Prüfung der Fahrdrähteitungen sehr gut bewährt.

3. Freiluftanlagen in Flachbauart.

Es war von jeher das Bestreben der Erbauer von Kraftwerken, die Schaltanlagen möglichst in einer Ebene, d. h. einstöckig auszuführen, um dadurch gegenüber der mehrstöckigen Ausführung die Bedienung zu erleichtern und an Gebäude- oder Konstruktionskosten sparen zu können. In gleicher Weise hat man sich auch bei den Freiluftanlagen bemüht, die Entwicklung der ganzen Anlage in der Ebene vorzunehmen. Daher ist man, wie schon weiter oben erwähnt, dazu gekommen, die Sammelschienen nebeneinander, statt übereinander anzuordnen. In der Weiterentwicklung dieses Gedankens hat man die Trennmesser nicht mehr am Traggerüst der Sammelschienen befestigt, sondern einzeln auf niedrige Pfosten oder gleich wie die Oelschalter, unmittelbar auf den Boden gestellt, so dass nur noch die Sammelschienen und deren Abzweige an einigen wenigen Masten abgespannt werden. Kreuzungen von spannungsführenden Leitungen gibt es bei dieser Lösung ebensoviel, wie bei der üblichen Bauart; es ist lediglich

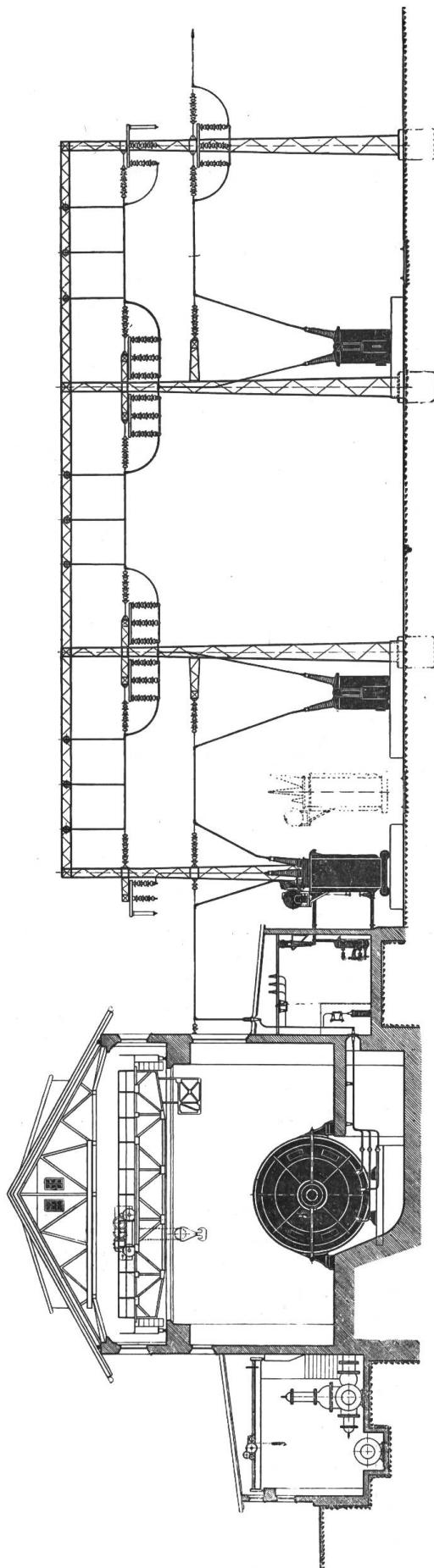


Fig. 22.
Kraftwerk mit Freiluftschaltanlage für 150 kV.

die Höhe über Erdboden kleiner geworden, so dass man zur Bedienung der Trennmesser nicht unter diesen Apparaten stehen kann, sondern um sie herumgehen muss. Die zusammengehörigen Apparate werden dann zweckmässig durch eine Umzäunung von den übrigen Apparaten und den Bedienungsgängen abgesperrt.

Es scheint, dass man in Deutschland zuerst an die konsequenteste Durchführung dieser Gedanken gegangen ist. Dabei kann man natürlich mit dem kleinsten Aufwand an Eisenkonstruktionen auskommen, dafür wird aber die notwendige Grund-

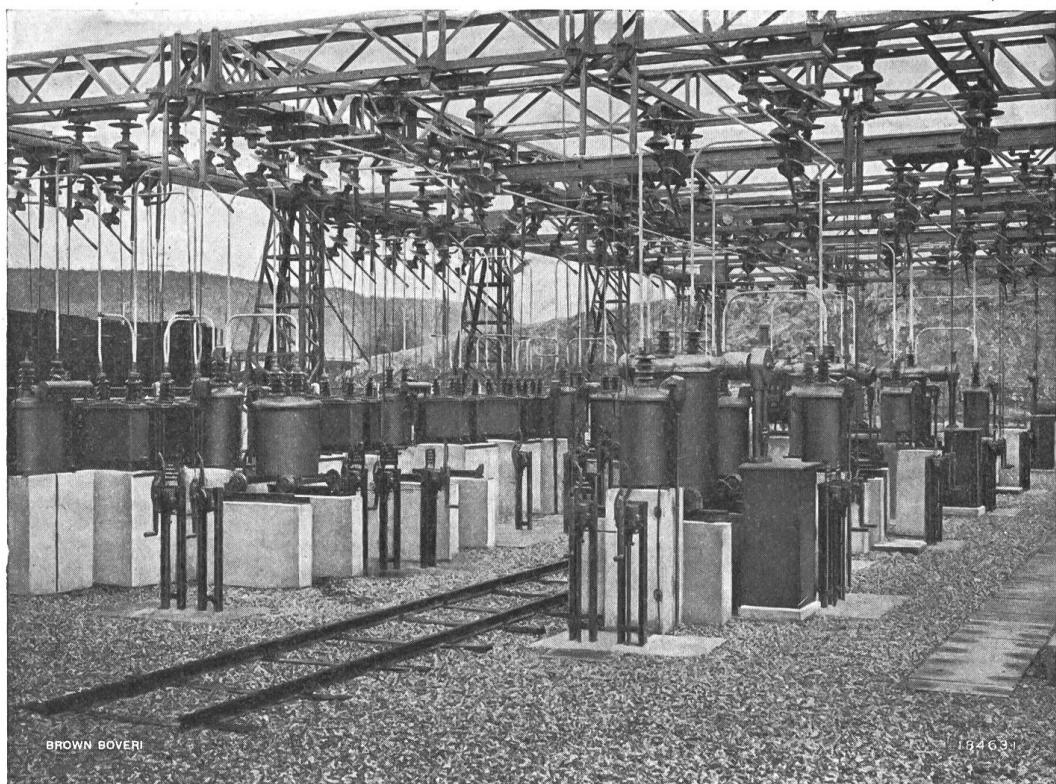


Fig. 23.
Unterstation Brugg der Schweizerischen Bundesbahnen; 15,000 Volt-Freiluftanlage.

fläche mindestens um die Hälfte grösser. Die Anlagekosten sind, wenn der Boden wenig kostet, etwas kleiner als bei der üblichen Freiluftbauart. Die Montagezeit mag auch etwas kürzer sein; hingegen ist als ausgesprochener Vorteil die leichte Zugänglichkeit bei Reinigung, Reparatur und Auswechselungen anzusehen. Die Bedienung aber wird durch die grössere Weitläufigkeit eher erschwert. An solchen Orten, wo genügend Platz vorhanden ist und keine häufigen Schaltungsänderungen vorzunehmen sind, wird sich die Anwendung der ausgesprochenen Flachbauart wirtschaftlich rechtfertigen. Ob sich diese Lösung allgemein empfehlen lässt, werden die Betriebserfahrungen der nächsten Jahre zeigen. Die A.-G. Brown Boveri & Cie. erhielt kürzlich von den Schweiz. Bundesbahnen den Auftrag zur Ausführung der ersten grossen Freiluftschaltanlagen in Flachbauart der Schweiz für das Unterwerk Biel mit vier Einphasen-Transformatoren von 15 000/66 000 Volt, $16\frac{2}{3}$ Perioden.

4. Die Hallenbauanlage.

Die Erschwerung der Bedienung von Freiluftanlagen bei schlechtem Wetter und speziell im Gebirge bei ungünstigen Schneeverhältnissen führte zur Entwicklung einer weiteren Schaltanlagebauart: zum Hallenbau. Diese Anlagen stellen eigentlich Freiluftanlagen dar, die unter Dach gestellt wurden. Dadurch ist man wieder zur geschlossenen Schaltanlage zurückgekehrt, wobei aber alle Trennwände, welche die Uebersicht erschweren und den Bau verteuern, weggelassen sind. Die Einführung dieser

Bauart war nur möglich, nachdem man in den Freiluftanlagen die Sicherheit der modernen Höchstspannungsschalter erprobt hatte. So durfte man die Oelschalter ohne weitere Schutzmassnahmen frei aufstellen, genau wie bei den eigentlichen Freiluftanlagen. Die in den Fig. 15 und 16 dargestellte Schaltanlage für 60 und 132 kV des Kraftwerkes Vernayaz der Schweiz. Bundesbahnen gibt ein gutes Beispiel für einen modernen Hallenbau.

Da die Beanspruchung der Oelschalter für gleiche Abschaltleistung bei sinkender Spannung steigt, empfiehlt es sich, bei Spannungen unter 50 000 V die Oelschalter doch wieder in druckfeste Zellen einzubauen, damit bei einem etwaigen Defekt keine Störung der übrigen Schaltanlage eintritt. Auch bei Anlagen mit einer Spannung von 50 000 V und mit grossen Kurzschlussleistungen wird dieser Einbau mit Vorteil angewendet. Er weicht aber von der bisher üblichen Art ab, indem nur die Kessel der Oelschalter in die druckfesten Kammern versenkt werden, während der Oberteil, d. h. Deckel und Klemmen, sich jeweils in der offenen Halle befindet. Der Deckel wird entsprechend stark bemessen und fest mit der Decke der Zelle verschraubt. Diese Lösung erspart die sonst notwendigen Mauerdurchführungen und gibt im übrigen der Hallenanlage genau dieselbe Uebersichtlichkeit, die man bei den Freiluftanlagen schätzen gelernt hat. Sehr wichtig ist die gute Lüftung dieser Zellen, die man am besten dadurch erreicht, dass man sie nach aussen offen lässt, d. h. lediglich durch Gitter abschliesst. Mit Hilfe eines besonderen Transportwagens (Fig. 24) lassen sich die Schalter ohne grosse Mühe nach unten wegnehmen, wobei die vom Schalter wegführenden Leitungen nicht demontiert zu werden brauchen.

Eine Variante, die eher für schwere Schalter in Betracht kommt, besteht darin, die Kammer, in welcher der Schalter versenkt wird, in den Keller zu verlegen. Fig. 17 gibt den Querschnitt einer solchen Anlage für 60 000 V wieder. Nach diesem Grundsatz wurde in Deutschland eine grössere Anzahl von Schaltanlagen gebaut, so die Umspannwerke Würzburg der Bayernwerke A.-G. (100/20 kV), Rheinau der Badenwerke A.-G. (100/15 kV), Murnau der deutschen Reichsbahn in München (100/15 kV), Wölfersheim des hessischen Staates (100/5 kV). In Fig. 20 ist der Querschnitt durch die Schaltanlage eines Kraftwerkes zu sehen, bei dem der versenkte Einbau für die 6000 und 16 000 V-Oelschalter angewendet wurde. Auf der 50 000 V-Seite hat man die Zellenbauweise beibehalten, einerseits um einfachere bauliche Verhältnisse zu erhalten, anderseits war durch die Verwendung von Oelschaltern mit prismatischen Kesseln die Möglichkeit gegeben, in der Längsrichtung an Platz sparen zu können. Die zurzeit im Bau befindlichen Schaltanlagen der Zentrale Rio Cala der Compania Sevillana de Electricidad werden entsprechend dieser Figur ausgeführt.

Ein wesentlicher Vorteil der Hallenschaltanlagen gegenüber den Zellenschaltanlagen muss noch besonders erwähnt werden. Beim Zellenbau ist man für die Einhaltung der Zellenmasse auf die Arbeitsgenauigkeit der Bauleute, Maurer usw.

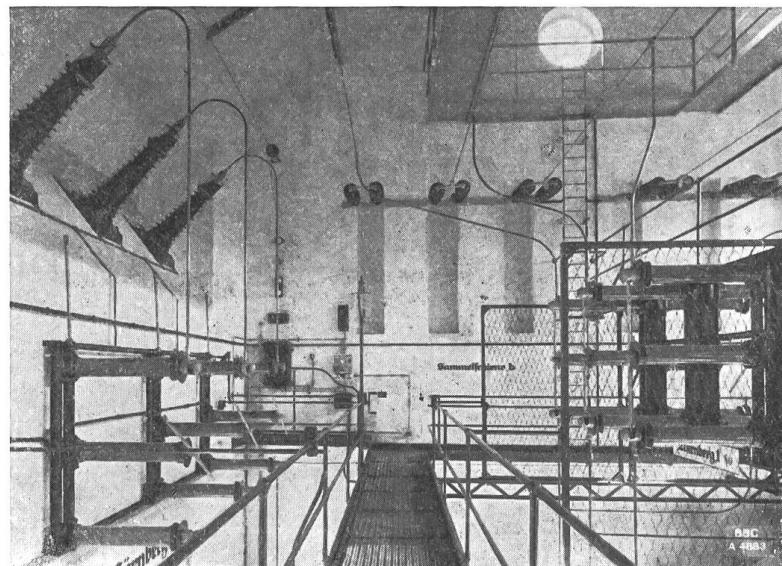


Fig. 24.
100 kV Hallenschaltanlage Würzburg der Bayernwerk A.-G., München.

angewiesen, was sich nachher bei der Montage der Apparate und Gerüste in der Regel unangenehm bemerkbar macht und Anpassungsarbeiten oder zumindest besondere Vorkehrungen bei den Befestigungsteilen erfordert. Bei den Hallenschaltanlagen kommt dies alles in Wegfall: die Teilungen sind durch die durchgehenden

Eisengerüste gegeben, deren Genauigkeit bedeutend weiter getrieben werden kann als die der Bauteile. Diese Gerüste kommen fertig bearbeitet auf den Montageplatz, so dass der Apparatemonteur nach Erstellung der vier Wände und des Daches der Halle von den Bauarbeitern völlig unabhängig ist. Durch die grosse Vereinfachung der eigentlichen Bau- und Maurerarbeiten wird, wie bei den Freiluftanlagen, die Bauzeit stark verkürzt.

Die Disposition der Hallenschaltanlage ist genau gleich wie bei den Freiluftanlagen; auch das zur Verwendung gelangende Leitungsmaterial ist dasselbe. Da man aber hier nicht mit Schnee- und Eisbelastung zu rechnen hat, und kleinere Abstände einhalten kann, wird man mit der Anwendung von Rohren für die Leitungsführung weiter gehen. Die Isolatoren werden, sofern man keine Kettenisolatoren vorzieht, zum Teil auch aus Bituba hergestellt, wodurch man die Belastung der Eisenkonstruktionen erheblich heruntersetzen kann. Für die Durchführungen aber nimmt man der Einheitlichkeit halber hier ebenfalls den mit Oel gefüllten Porzellantyp. Die Apparate, wie Oelschalter, Transformatoren, Messwandler usw., sind

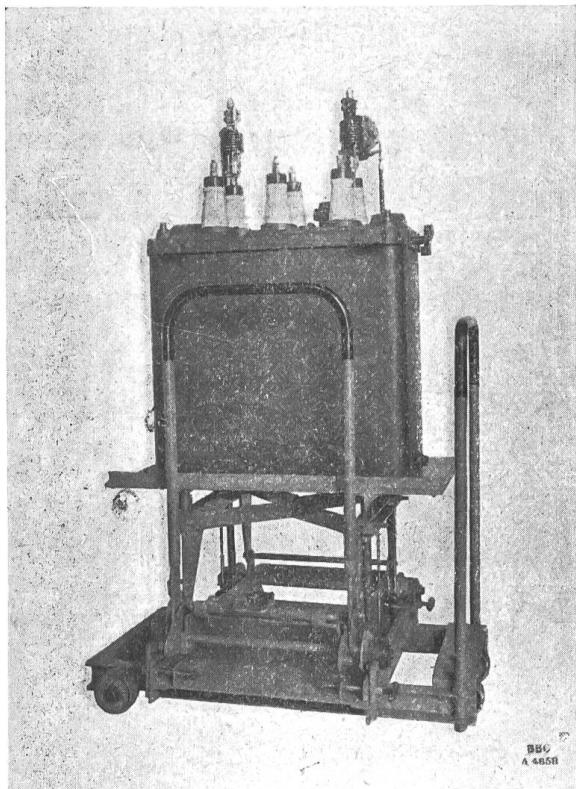


Fig. 25.

Oelschaltertransportwagen mit aufgesetztem Hubwagen.

daher alle von gleicher Ausführung wie für die Freiluftanlagen. Fig. 21 zeigt ein dreipoliges Trennmesser mit Seilantrieb für eine Spannung von 132 000 V, das mit Bitubaisolatoren versehen ist.

Bei bestimmter Anordnung der Felder werden bei Hallenanlagen die Felderteilungen bei den Trennmessern derart klein, dass man für die gefahrlose Ausführung von Revisionen oder Reparaturen an einem Felde genötigt wird, wieder Trennwände zwischen den einzelnen Gruppen anzubringen. Wird hierfür Streckmetall verwendet, so erhält man trotz genügendem Schutz eine Konstruktion, bei welcher, wie Fig. 24 zeigt, die Uebersichtlichkeit der Anlagen gewahrt bleibt, besonders wenn die sämtlichen Eisenteile so gestrichen sind, dass sie gegenüber den Leitungen auch in der Farbe stark zurücktreten.

Da man bei den Hallenanlagen vor den Unbilden der Witterung geschützt ist, kann man die bei den früheren Freiluftanlagen vorgesehenen Bedienungsstege zur Erleichterung der Bedienung und Reinigung wieder einführen. Die Antriebe der Trennmesser können dann sehr wohl auf diese Stege verlegt werden, z. B. um dadurch vom höher gelegenen Kommandoraum aus besser erreichbar zu sein (siehe Fig. 15 a und b).

Es empfiehlt sich, für die Leitungsausführungen die gleichen Konstruktionen zu verwenden, die sich bei den Freiluftapparaten bewährt haben, und zwar möglichst in ihrer natürlichen Lage. In vorbildlicher Weise angeordnete Leitungsausführungen sind in Fig. 15 a und 16 zu sehen. Auch bei schwach geneigten Dächern lassen sich die gleichen Durchführungen, ebenfalls in vertikaler Aufstellung, mit Vorteil ver-

wenden (Fig. 20). Muss aus konstruktiven oder klimatischen Rücksichten ein steiles Dach gemacht werden, so kann man, wie in Fig. 24 dargestellt, die Durchführungen unter 45° Neigung in Nischen setzen, die nach aussen vorspringen und durch ein kleines Vordach noch besonders geschützt sind.

Im modernen Kraftwerkbau wird heute durchwegs der Grundsatz der Aufteilung des Betriebes in einzelne für sich allein betriebsfähige Einheiten verfolgt (Betriebseinheiten). Eine solche Betriebseinheit besteht z. B. aus einem Generator samt Turbine und allen hierzu gehörigen hydraulischen und elektrischen Apparaten und Hilfsbetrieben. Die konsequente Durchführung dieses Gedankens führt zur Wahl von Transformatoren, die dieselbe Leistung haben wie die Generatoren, so dass jedem Generator ein Transformator zugeordnet werden kann. Es lassen sich dann Vereinfachungen in der Schaltung treffen, die zur wesentlichen Verbilligung der Schaltanlage führen. Man lässt die Unterspannungsschienen wegfallen und behält an ihrer Stelle höchstens eine Hilfsschiene für Notschaltungen oder Versuche bei.

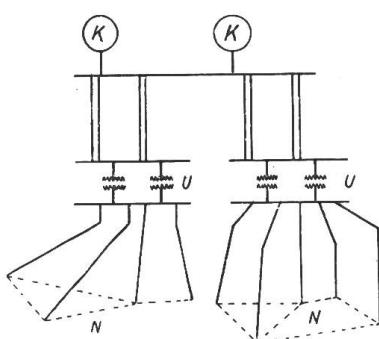


Fig. 26 a.

K = Kraftwerk.
U = Unterstation.
N = Netz.

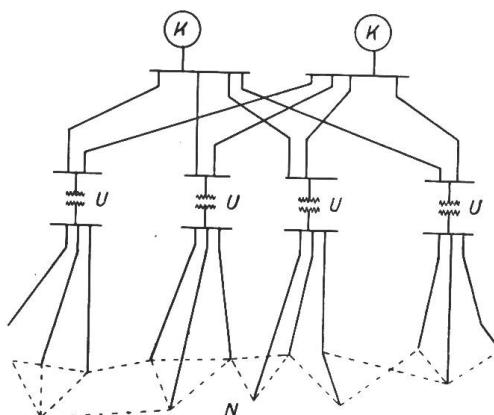


Fig. 26 b.

Die Zuschaltung der Generatoren oder Transformatoren auf diese Hilfsschiene erfolgt lediglich mit Trennmessern; durch geeignete mechanische oder elektrische Verriegelungen muss dann dafür gesorgt werden, dass diese Zuschaltung nur in spannungslosem Zustande erfolgen kann und dass die Parallelschaltung mehrerer Generatoren auf dieser Schiene vermieden wird. Für die Betriebseinheit, bestehend aus hintereinander geschaltetem Generator und Transformator, hat man nur einen Schalter auf der Oberspannungsseite. Die Messwandler werden hingegen auf der Unterspannungsseite zwischen Generator und Transformator eingebaut. Abgesehen von der Verbilligung durch Wegfall der Unterspannungsschalter usw. trägt diese vereinfachte Schaltung in hohem Masse zur besseren Uebersichtlichkeit und zur Erleichterung des Betriebes bei. Die Schutz- und Messwandler werden dann zweckmässigerweise in der Generatorgrube aufgestellt oder auch in einem niederen Anbau an das Maschinenhaus, der, wie das häufig beim sogenannten Schieberhaus der Fall ist, sich auf der ganzen Länge des Maschinenhauses hinzieht, was zur Führung der Hilfssammelschienen sehr günstig ist. Ferner kann man mit Vorteil in Gegenden mit strenger Kälte auch die Kühl anlagen der Transformatoren in diesem Anbau unterbringen, so dass deren Bedienung und Kontrolle stets im geschützten Raum erfolgen kann und eine besondere Wärmeisolation der Wasserleitungen nicht mehr erforderlich ist. Ein nach diesen Prinzipien entworfenes Kraftwerk ist in Fig. 22 dargestellt, wo die eigentliche Schaltanlage als Freiluftanlage gedacht ist.

Die amerikanischen Werkleiter haben den oben erwähnten Gedanken der Aufteilung des Betriebes in weitgehendster Weise angewendet, bis auf den Entwurf ihrer Verteilnetze. Die stromliefernden Werke werden dort vielfach nicht alle auf einer bestimmten Sammelschiene parallel geschaltet, sondern direkt mit den einzelnen

Bezirken des betreffenden Netzes verbunden, derart, dass jeder Bezirk von zwei Kraftwerken gespeist werden kann. Abgesehen von der Reduktion der Kurzschlussleistungen erreicht man damit eine sehr grosse Sicherheit des Betriebes, weil bei Ausfall einer Stromquelle sofort die andere dafür einspringen kann. Fig. 26 a zeigt die allgemein übliche, Fig. 26 b die amerikanische Schaltung eines städtischen Stromversorgungsnetzes. Es ist sehr wohl möglich, dass in Europa auch Netze vorhanden sind, die nach diesen Grundsätzen geschaltet sind; die konsequenteste Anwendung in grösserem Maßstabe scheint hingegen in Amerika gemacht worden zu sein.

Mit der Freiluft- und Hallenbauart haben wir heute neue Formen für elektrische Schaltanlagen gefunden, die bei grösster Betriebssicherheit und kleinstem Kostenaufwand eine bisher unerreichte Uebersichtlichkeit der Apparate und Leitungen ergeben.

Es braucht kaum noch erwähnt zu werden, dass die meisten dieser verschiedenen Lösungen im Schaltanlagebau auch heute noch angewendet werden, je nach Grösse und Zweck der betreffenden Anlage. Auch hier entscheidet in letzter Linie die Wirtschaftlichkeit, so dass es vorkommen kann, dass sich örtlich dicht beieinander Anlagen befinden, wovon die einen vielleicht an den Anfang, die andern an den Schluss der erläuterten Entwicklungsreihe hingehören. Das Aufsuchen der für den Einzelfall richtigsten Lösung, sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Beziehung, ist Sache der projektierenden Ingenieure und setzt weitgehende allgemeine und technische Kenntnisse voraus.

Beitrag zur technischen Berechnung von Kondensator-Durchführungen.

Von Prof. A. Imhof, Winterthur.

621.319.4 (004) + 621.315 (004)

Der Autor legt eine Methode für die rasche Berechnung von Kondensatordurchführungen dar, unter Berücksichtigung der praktisch wichtigsten Daten. Sie wird für gleiche axiale und radiale Ungleichmässigkeit unter Annahme unendlich dünner Schichten und solcher von endlicher Dicke durchgeführt. Für letztere wird ein Beispiel gerechnet. Ferner wird die Berechnung auf gleichmässige axiale Beanspruchung bei Verwendung von Schichten ungleicher Dicke gezeigt.

L'auteur expose une méthode pour le calcul rapide des isolateurs de traversée, qui tient compte des données pratiques les plus importantes. Il applique cette méthode au cas d'une répartition inégale du gradient du potentiel, mais identique le long de l'axe et dans le sens du rayon, dans l'hypothèse de couches infiniment minces d'abord, puis d'épaisseur fine. Enfin le calcul est fait pour une contrainte diélectrique axiale régulière, en supposant des couches d'épaisseur inégale.

In den letzten Jahren haben sich einige Publikationen mit der Berechnung von Kondensator-Durchführungen befasst. In sehr gründlicher Weise hat Dr. Humburg¹⁾ die verschiedenen Grundprinzipien dargetan. Er befasst sich mit drei fundamentalen Fällen:

1. Berechnung auf gleichmässige, radiale Feldstärke.
2. Berechnung auf gleichmässige, axiale Feldstärke.
3. Berechnung auf gleiche axiale und radiale Ungleichmässigkeit.

Dr. Humburg zeigt, dass die zweite Methode die kleinsten Dimensionen ergibt. Auf die technische, d. h. für die Praxis zugerichtete Berechnungsweise geht die betreffende Arbeit nicht ein. Eine Berechnungsmethode, die der Praxis direkt dienen soll, wurde von Schwaiger²⁾ angegeben. Er führt die Begrenzungslinien der leitenden Folien in die Rechnung ein und will so die zeitraubende Kapazitätsberechnung vermeiden. So bestehend dieser Gedanke zunächst ist, haftet ihm der grosse Nachteil an, dass die Güte der Spannungsverteilung nicht ohne weiteres daraus ersichtlich ist und somit zu einer kritischen Berechnung doch noch dielektrische

¹⁾ Die Berechnung von Kondensatordurchführungen. Archiv für Elektrotechnik, Bd. 12, Heft 6, 1923.

²⁾ Ueber die Berechnung von Kondensatordurchführungen. El. Betr. 1923, Heft 16.