

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 46 (1955)  
**Heft:** 1

**Artikel:** Die Schalt- und Transformatorenstation Mettlen bei Luzern  
**Autor:** Schiller, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1058121>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 25.12.2024

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

## Die Schalt- und Transformatorstation Mettlen bei Luzern

Von H. Schiller, Baden

621.316.267(494.275) : 621.316.262(494.275)

Das Unterwerk Mettlen wurde als Schalt- und Transformatorstation in der Nähe von Luzern von 6 Gesellschaften zum Zwecke des gemeinsamen Energieaustausches gebaut. Der Artikel beschreibt das Unterwerk im allgemeinen und macht auf einige Besonderheiten der Anlage aufmerksam.

La station de transformation et de couplage de Mettlen a été construite aux environs de Lucerne par 6 sociétés en vue de leurs échanges d'énergie. L'article contient une description générale de la sous-station ainsi que quelques particularités de l'installation.

### 1. Allgemeines

Die Schalt- und Transformatorstation Mettlen wurde von folgenden Kraftwerkgesellschaften zur Erleichterung des gegenseitigen Energieaustausches und der Transformierung der aus dem Kanton Tessin anfallenden Energie von 225 kV auf 150 kV gebaut:

Aare-Tessin A.-G. für Elektrizität,	Olten
Bernische Kraftwerke A.-G.,	Bern
Centralschweizerische Kraftwerke,	Luzern
Elektrizitätswerk der Stadt Zürich,	Zürich
Nordostschweizerische Kraftwerke A.-G.,	Baden
Schweizerische Bundesbahnen	Bern.

Fig. 2 zeigt. Später ist vorgesehen, evtl. eine 380-kV-Anlage anzugliedern, die ebenfalls über entsprechende Transformatoren mit der 225-kV-Anlage gekuppelt würde.

Die Station ist durchgängig in der *Flachbauweise* ausgeführt, d. h. alle Apparate sind auf eigenen Eisengestellen montiert, die direkt auf dem Boden stehen, und die verschiedenen Sammelschienen sind an den Gerüsten in gleicher Ebene nebeneinander (also nicht übereinander) montiert. Die Apparategerüste sind so hoch, dass die spannungsführenden Teile in einem solchen Abstand über Boden zu liegen kommen, dass keine Abschränkungen benötigt werden. Man kann deshalb in der gesamten Anlage unbehindert unter allen Gerüsten durchgehen, was nicht nur für die Bedienung bequem ist, sondern auch viel zur ruhigen architektonischen Wirkung beiträgt (Fig. 3 und 4).

Die *Hochgerüste* sind in Vollwandträgerkonstruktion gebaut, d. h. es wurden im Prinzip für vertikale Pfosten wie horizontale Riegel nur grosse

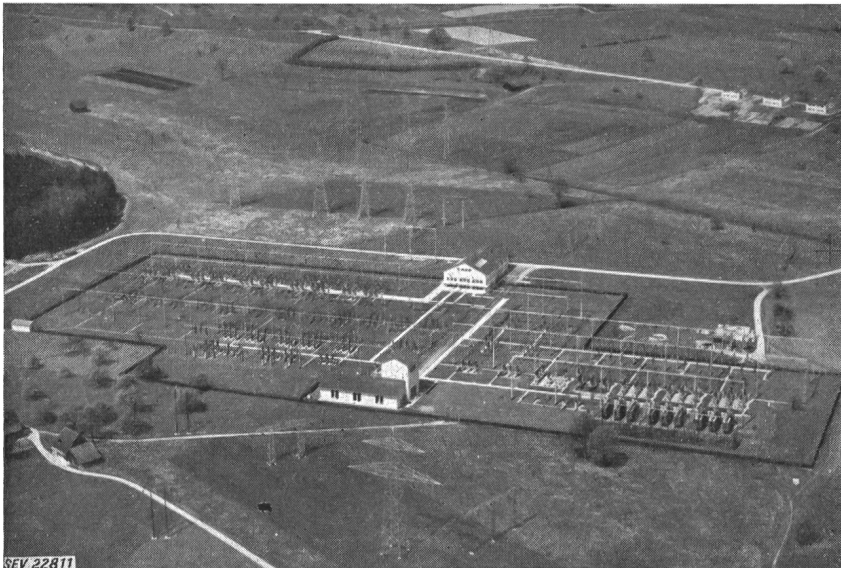


Fig. 1

Schalt- und Transformatorstation  
Mettlen

Luftaufnahme 1954

Zu diesem Zwecke wurde eine einfache Gesellschaft gegründet, an der die genannten Werke nach der Zahl der ihren Bedürfnissen dienenden Schaltfelder beteiligt sind. Praktisch wirkt sich das so aus, dass für die Kosten desjenigen Teils der Anlage, der allen Partnern gemeinsam dient, wie Sammelschienen, Kommandogebäude, Kranhalle, Grund und Boden, alle Partner gemeinsam aufkommen, während z. B. die Leitungsabgänge von der Sammelschiene weg von jedem einzelnen Partner bezahlt werden und infolgedessen auch ihm gehören. Geht ein Schaltfeld aus irgendeinem Grunde ein, so kann der betreffende Partner frei über die ihm gehörenden Apparate wie Schalter, Messwandler usw. verfügen.

Die gesamte Station belegt ein Terrain von 184 m Breite und 380 m Länge, entsprechend rund 70 000 m<sup>2</sup>. Die Anlage besteht aus einem 225-kV-Teil und einem solchen für 150 kV. Beide Teile sind über drei 100-MVA-Transformatoren 225/150/8 kV gekuppelt. Das Schema der Station wird in

Walzprofile, wie Differdinger, verwendet. Die senkrechten Pfosten sind, sofern nötig, in der Stegmitte aufgeschnitten, nach unten gespreizt und die beiden Teile mit Querstegen verbunden, um die nötige statische Festigkeit zu erhalten (Fig. 4). An den Eisenkonstruktionen wurden grundsätzlich alle Diagonalen vermieden und nur senkrechte und wagrechte Konstruktionsteile verwendet, um ein ruhiges Aussehen des Gerüsts zu erhalten. Wie aus Fig. 5 hervorgeht, wurde das angestrebte Ziel weitgehend erreicht. Die Kosten für die Vollwandkonstruktionen sind ca. 6...7 % höher als für eine gewöhnliche Gitterwerk-Eisenkonstruktion. Alle Eisenkonstruktionen sind feuerverzinkt.

### 2. Gebäude

An Gebäuden sind in der Anlage vorhanden:

- das Kommandogebäude,
- die Kranhalle mit angebauter Werkstätte und Magazin,

— ein kleines Magazin, das am äussersten Ende der Anlage liegt.

In der Nähe der Station wurden ausserdem für das Personal drei Doppel-Einfamilienhäuser gebaut.

Das *Kommandogebäude* erhielt in Anlehnung an die Architektur der Umgebung ein Satteldach und einen Balkon gegen die Anlagenseite (Fig. 6). Von diesem Balkon aus, der von der Kommandostelle

welchen die Registrierinstrumente untergebracht sind. Die Messtafeln und Pulte sind hufeisenförmig angeordnet, wobei rechts die Einrichtungen für die 150-kV-Seite, in der Mitte diejenigen für die 225-kV-Anlage untergebracht sind. Die linke Seite ist für eine spätere 380-kV-Anlage reserviert (Fig. 7). Im Rücken befinden sich die Tafeln für die Überwachung des Eigenbedarfes, sowohl 220/380 V, 50 Hz, als auch 220 V Gleichstrom, sowie die zentrale Uhrenanlage.

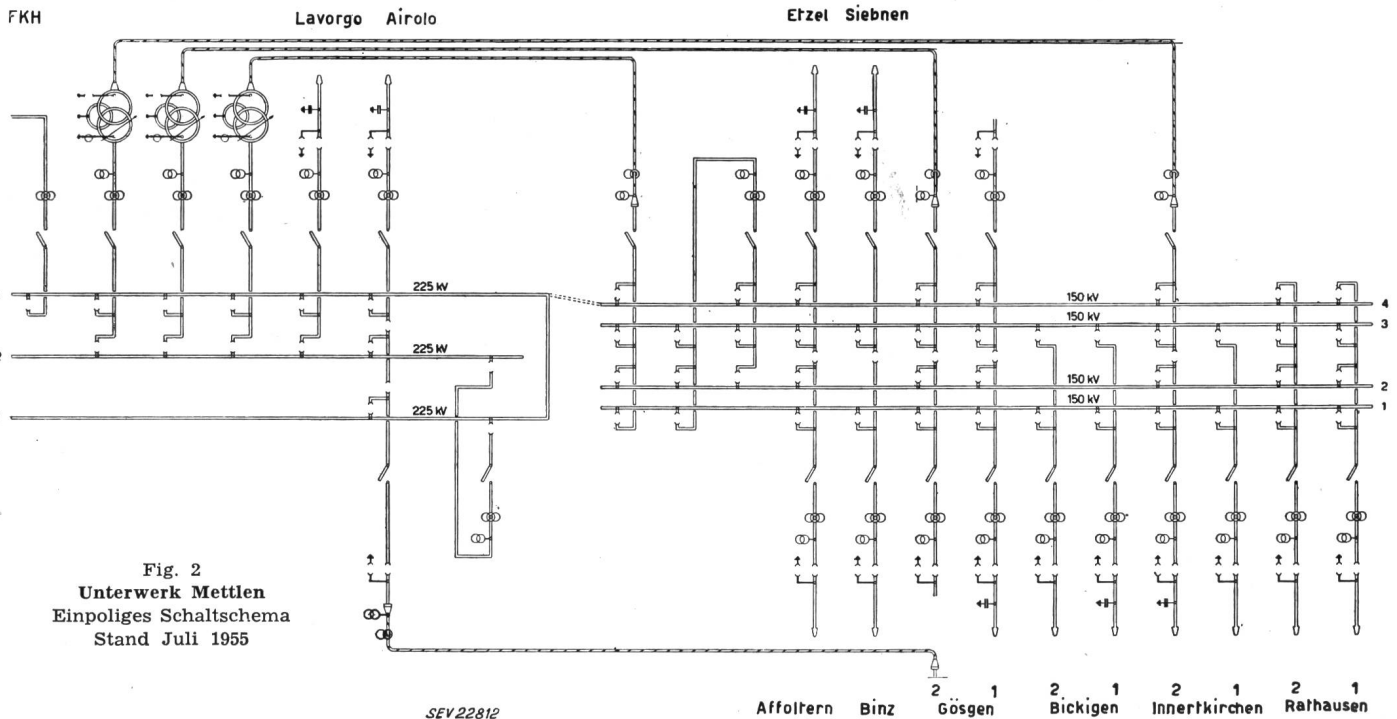


Fig. 2  
Unterwerk Mettlen  
Einpoliges Schalterschema  
Stand Juli 1955

SEV 22812

aus direkt zugänglich ist, hat man eine gute Übersicht über die Freiluftanlage.

Das Kommandogebäude enthält den *Kommandoraum* im ersten Geschoss im Ausmass von 11 × 14,5

In der Mitte des Raumes steht das Schreibpult mit eingebauter Telephonplatte, von der aus alle Verbindungen mit der internen Anlage, sowie dem Staatstelephonnetz und dem leitungsgerichteten

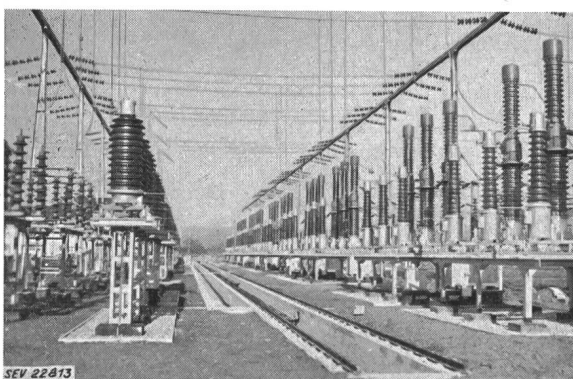


Fig. 3  
150-kV-Anlage

Ganz links Leitungstrenner, Spannungswandler; rechts vom Geleise Stromwandler und ölarme Schalter

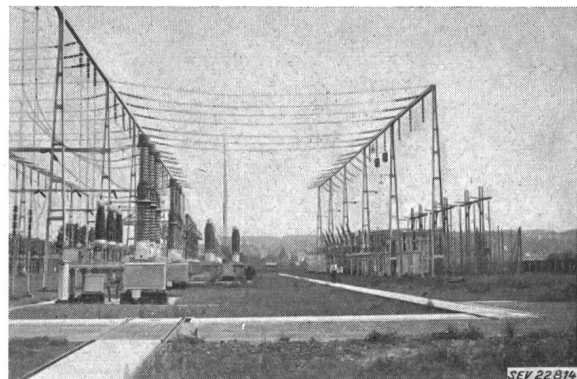


Fig. 4  
225-kV-Anlage

Links 150-kV-Transformatorenschalter mit 150-kV-Kabel-Endverschlüssen. Im Hintergrund 225-kV-Schalter und Messwandler. Rechts die drei 100-MVA-Transformatoren 225/150/8 kV

Meter. In diesem befinden sich die Steuerpulte, von welchen aus die Schalter und Trennschalter ferngesteuert werden, wie auch die Messtafeln, in

Hochfrequenz-Telephonnetz hergestellt werden können.

Unter der Kommandostelle befindet sich der *Relais- und Kabelraum*, in welchem die Zähler,

Schnelldistanzrelais, Hilfsapparate und Regler untergebracht sind. In diesem Raum endigen die Mess- und Steuerkabel, die innerhalb der Anlage verlaufen. Es sind eisenbandarmierte Papierbleikabel, die in einem Doppelboden des Kabelraumes verlegt

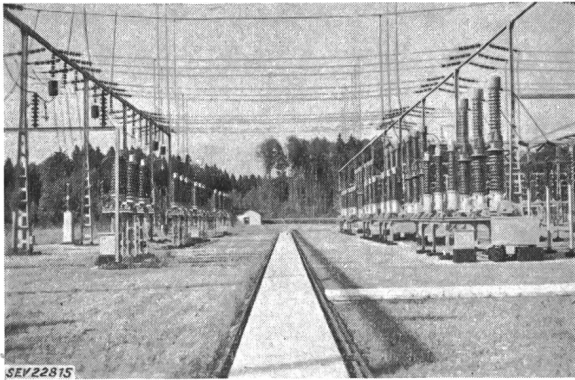


Fig. 5  
150-kV-Teil der Anlage

sind (Fig. 8). Von der Freiluftanlage werden sie in abgedeckten, nicht begehbaren betonierten Sammelkanälen, in welchen sie auf Eisenkonsolen verlegt sind, in den Kabelraum geführt.

Das Erdgeschoss enthält ferner die Transformatorstation, in der aus dem 13-kV-Netz der Umgebung die 220/380-V-Anlage versorgt wird. In diese Transformatorstation ist, um gegen Betriebsunterbrüche möglichst geschützt zu sein, eine durchgehende, zweiseitig gespeiste 13-kV-Leitung ein- und ausgeführt mit Trennmöglichkeit in der Station. Neben der Transformatorstation befindet sich der Verteilraum der 220/380-V-Eigenbedarfsanlage, von wo aus die Nebenstellen im Kommandoraum,

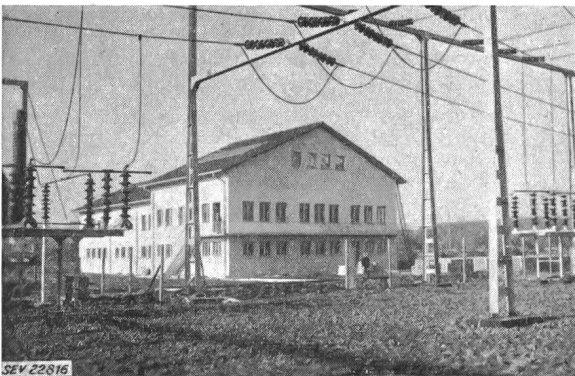


Fig. 6  
Stationsgebäude, in welchem die Kommandostelle untergebracht ist

Relaisraum, die Gleichrichteranlage, die ganze 150- und 225-kV-Freiluftanlage, sowie die Werkstätte und Kranhalle versorgt werden. Das Erdgeschoss enthält die Räume für das Personal: Ess- und Kochraum, Toilette und Duschen, das Sanitätszimmer und das Magazin für Kleinmaterial.

Im I. Stock sind neben der bereits erwähnten Kommandostelle das Bureau des Stationschefs, der Gleichrichterraum mit daneben liegendem Batterieraum, der Telephonraum, in welchem sich neben dem internen Telephonautomaten auch die Gestelle

für die Fernwahl über das HF-Netz befinden, untergebracht. An diesen stösst der Raum für die HF-Schränke, über die die HF-Telephonverbindungen wie auch die Fernmessungen und Fernsteuerungen gehen.



Fig. 7  
Kommandoraum

In Front die Steuerpulte für den 225-kV-Teil, rechts diejenigen für die 150-kV-Anlage. In der Mitte das Schreibpult mit der Telephon-Vermittlungsplatte

Von der Ostseite des Kommandogebäudes gelangt man auf einer Verbindungsstrasse zur *Kranhalle und Werkstätte* (Fig. 9). Die Kranhalle dient der Montage und eventuell Reparatur von Transformatoren und Apparaten. Sie ist so dimensioniert, dass gegebenenfalls zwei Einphasentransformatoreneinheiten gleichzeitig montiert werden können. Der Kran hat eine Tragkraft von 80 t. An den beiden Längsträgern des Kranes ist eine U-Schiene montiert, auf der ein Elektro-Flaschenzug von 5 t Tragkraft läuft, der vom Boden aus ge-

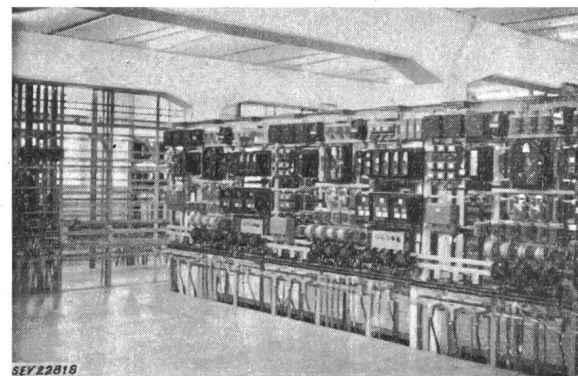


Fig. 8  
Relaisraum

Delta-Var-Regulierung für die Blindleistung der drei Transformatoren. Die Mess- und Steuerkabel kommen aus dem Doppelboden an die Gerüste

steuert wird, während der Kran von einer Kabine aus bedient wird.

An die Kranhalle schliessen sich die *Werkstätte* und ein besonderer Schweissraum an. Ferner ist im gleichen Gebäude ein grösseres *Magazin* für die grossen und schweren Stücke vorhanden; in einem besonderen Raum ist die Druckluftanlage für die 225-kV-Druckluftschalter mit den nötigen Behältern untergebracht. Die Druckluft wird auf 30 kg/cm<sup>2</sup> verdichtet und dann wieder auf Ge-

Fortsetzung von Seite 16

### Die Schalt- und Transformatorenstation Mettlen bei Luzern (Fortsetzung)

brauchsdruck von 16 kg/cm<sup>2</sup> entspannt. Dies ergibt bei gleichem Kesselvolumen einen grösseren Speichervorrat und zugleich eine bessere Trocknung der Luft. Um die Luft unter allen Verhältnissen möglichst trocken zu bekommen, sind je 2 Druckluftbehälter von 30 kg/cm<sup>2</sup> im Gebäude und im Freien aufgestellt. Es fehlen auch die Wasch- und Toilettenräume nicht.

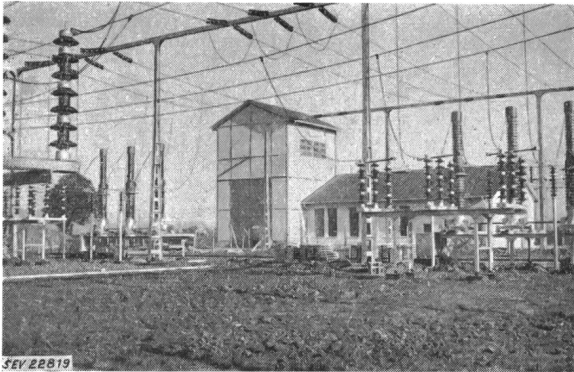


Fig. 9  
Kranhalle und Werkstattgebäude

### 3. Freiluftanlage

Die Freiluftanlage zerfällt in zwei Teile, die Westseite, auf der sich die 150-kV-Anlage befindet, und die Ostseite, auf welcher die 225-kV-Anlage mit den drei 100-MVA-Transformatoren errichtet ist.

Die 150-kV-Anlage enthält 4 Sammelschienen, die über einen Kuppelschalter parallel geschaltet werden können. An diese Sammelschienen können die 13 eingeführten 150-kV-Leitungen angeschaltet werden, sofern die Gesellschaften die erforderlichen Sammelschientrenner aufstellen, was zu entscheiden jeder Gesellschaft überlassen ist.

Die 150-kV-Leitungen sind einheitlich mit ölarmen 150-kV-Schaltern ausgerüstet. Die Schalter haben eine Abschaltleistung von 3500 MVA, welche sie auch bei doppelter verketteter wiederkehrender Spannung bewältigen können (Phasenopposition bei beidseitigem Erdschluss im ungeerdeten Netz) (Fig. 3 und 5).

Ferner ist jedes Feeder neben den Sammelschientrennern und kombinierten Leitungs-Erdungstrennern mit je 3 Strom- und Spannungswandlern ausgerüstet. Die Stromwandler sind umschaltbar 500/250/5 A und besitzen einen Relais- und Messkern von je 60 VA Leistung, den ersten in Klasse S 20, den zweiten in Klasse 0,2. Die Spannungswandler haben ein Übersetzungsverhältnis

$$\frac{150}{\sqrt{3}} / \frac{0,2}{\sqrt{3}} \text{ kV}$$

mit einer sekundären Leistung von 160 VA, ebenfalls in Klasse 0,2.

Die 225-kV-Leitungen sind in gleicher Weise mit Schaltern, Trennern und Messwandlern ausgerüstet, wie die 150-kV-Feeder mit der Ausnahme, dass die

Leitungsschalter Druckluftschalter sind mit einer Abschaltleistung von 5000 MVA, welche Leistung ebenfalls bei doppelt verketteter wiederkehrender Spannung bewältigt wird. Alles 225-kV-Material ist für 1000 A Nennstrom gebaut.

Für den Transport der Schalter und Messwandler in die Montagehalle ist ein 10-t-Wagen für Fahrt auf zueinander senkrecht stehenden Gleissträngen und zwei entsprechenden umsetzbaren Rollensätzen vorhanden.

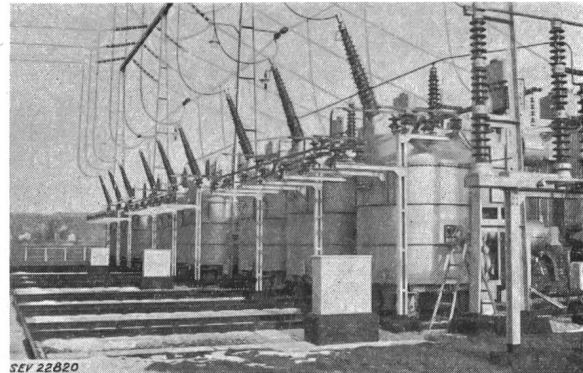


Fig. 10  
Ansicht der drei 100-MVA-Transformatorengruppen  
225/150/8 kV  
Die Kühler sind durch die Transformatoren verdeckt

### 4. Transformatoren

In der 225-kV-Anlage befinden sich drei *Regulier-Transformatoren* mit einem Übersetzungsverhältnis 203, +30×3,6/171/7,7 kV von je 100 MVA Leistung auf den 225- und 150-kV-Wicklungen und 30 MVA auf der 7,7-kV-Wicklung. Die drei Gruppen bestehen aus je drei Einphaseneinheiten zu 33 330 kVA. Jede Einphaseneinheit ohne Kühler wiegt 70 t inkl. 18 t Öl. Der Kühler hat ein Totalgewicht von 13,2 t inkl. 8,2 t Öl (Fig. 10). Die getrennten 225- und 150-kV-Wicklungen sind in Stern, die 8-kV-Wicklung in Dreieck geschaltet; an diese kann später ein Phasenkompensator angeschlossen werden. Im Sternpunkt der 225-kV-Wicklung befindet sich ein Stufenschalter, der eine Regulierung in 30 Stufen zu 3,6 kV unter Last gestattet.

Der Nullpunkt des 225-kV-Netzes ist starr geerdet. Die 225-kV-Wicklung ist mit abgestufter Isolation ausgeführt, wobei die Phasenseite für volle Prüfspannung isoliert ist wie bei ungeerdetem Sternpunkt (also nicht 0,8mal diese Prüfspannung). Der Sternpunkt ist herausgeführt und für eine Prüfspannung von 110 kV entsprechend einer Betriebsspannung von 50 kV isoliert, damit später bei Bedarf eine Impedanz zwischen Nullpunkt und Erde eingeschaltet werden kann. Die 150-kV-Wicklung ist mit vollisoliertem Nullpunkt gebaut, der herausgeführt ist.

Die Prüfspannungen der verschiedenen Wicklungen sind aus Tabelle I ersichtlich.

Zwei Pole wurden mit je 3 positiven und 3 negativen Stößen der angegebenen *Prüfstoßspannungen* mit voller Welle gestossen.

Je einer der drei Transformatoren ist mit einem Schalter von den drei schweizerischen Fabrikationsfirmen, welche Höchstspannungsschalter lie-

Spannungsprüfung der Transformatoren

Tabelle I

Nennspannung kV	Spannungsprüfung	Prüfspannung 50 Hz kV	Prüfstoss- spannung 1 50 <sup>2)</sup> kV
225	Pol-Erde Nullpunkt-Erde	450 <sup>1)</sup> 110	960
150	Pol-Erde Nullpunkt-Erde	300 300	660 660
8	Pol-Erde	24	

<sup>1)</sup> induzierte Spannung  
<sup>2)</sup> Scheitelwert

fern, ausgerüstet (Fig. 11). Im Gegensatz zu den 150-kV-Schaltern besitzen die 225-kV-Schalter aller Fabrikate für jeden Pol einen eigenen Antrieb, so dass sie neben dreiphasiger Schnellwiedereinschaltung auch für phasenweise Schnellwiedereinschaltung geeignet sind. Für den Fall des Versagens eines Schalterpols sind sie mit einer Fehleranzeige ausgerüstet, die auch bei dem Spiel einer Schnellwiedereinschaltung die fehlerhafte Phase sofort feststellen lässt.

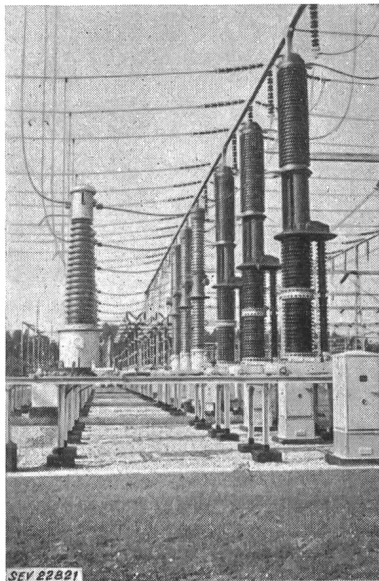


Fig. 11

225-kV-Transformatorenschalter von drei verschiedenen schweizerischen Fabrikanten

Jeder Transformatorpol ist mit einem eigenen Kühler ausgerüstet. Die Ölzirkulation beruht auf dem Thermosyphonprinzip ohne Pumpe. Die natürliche Kühlung genügt bis 60 % der Nennleistung, worauf durch einen Thermostat die am Kühler angebauten Ventilatoren in 2 Stufen selbsttätig eingeschaltet werden. In der Verbindungsleitung zwischen Transformator und Kühler sind sowohl transformatorseitig als auch kühlerseitig Ölabschlüsse eingebaut, die gestatten, den Kühler vom Transformator zu trennen, ohne dass im einen oder andern das Öl abgelassen werden muss.

Die 225-kV-Seite ist mit *Überspannungsableitern*, die vom Transformator-Hersteller geliefert wurden, ausgerüstet, während auf der 150-kV-Wicklung nur im Nullpunkt Überspannungsableiter des-

selben Fabrikanten aufgestellt wurden, die bei Betrieb mit geerdetem 150-kV-Nullpunkt überbrückt werden. Zum Überspannungsschutz der Anlage werden im Kapitel 7 weitere Angaben gemacht.

Zur Verbindung der 150-kV-Seite des Transformators mit den 150-kV-Schienen dienen 150-kV-Ölkabel. Die Ölkabel sind direkt in den Transformator eingeführt, so dass keine 150-kV-Phasendurchführungen vorhanden sind. Eine Besonder-

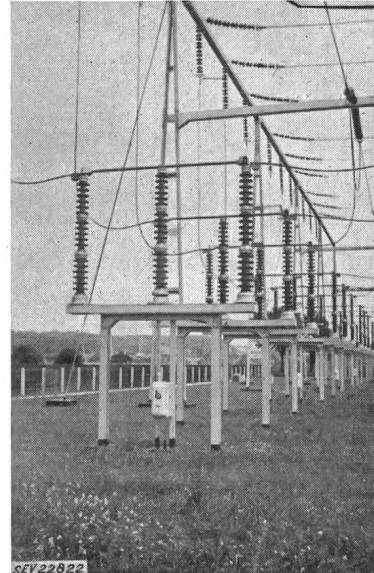


Fig. 12

225-kV-Sammelschienenentrenner

heit dieser 150-kV-Kabel besteht darin, dass sie mit einem Spannungsteilerbelag ausgerüstet sind, an den eine Korrekturereinrichtung für Winkel- und Übersetzungsfehler angeschaltet ist. Dieser Kabelspannungswandler ergibt eine sekundäre Messleistung von 100...160 VA in Klasse 0,2 (Fig. 13).

Die Fundamente der Transformatoren sind so gebaut, dass sie, falls sich das später als nötig erweisen sollte, mit einer Schallisolation versehen werden können. Für den Transport der Transformatoren vom Standort in die Montagehalle ist eine Gleisanlage erstellt worden, auf der die Transformatoren auf den eigenen Rollen transportiert werden. Auf dem früher erwähnten Wagen kann nötigenfalls auch die *Ölaufbereitungsanlage* mit Sprühkessel zu den Transformatoren oder Schaltern gefahren werden, mit der an Ort und Stelle das Öl aufbereitet werden kann.

## 5. Brandschutz

Besondere Aufmerksamkeit wurde dem *Brandschutz* der Anlage gewidmet. Es wurde davon abgesehen, bei den Transformatoren eine Feuerlösch-einrichtung nach dem Sprinkler-System fest einzubauen oder zwischen den Transformatoren Feuerwände zu errichten, und zwar aus folgenden Gründen. Wenn auch Transformatorenbrände von Zeit zu Zeit vorkommen, so gehören sie, wie aus der Statistik hervorgeht, doch zu den äussersten Seltenheiten, besonders in neuerer Zeit, in der die Schutz-einrichtungen für die Transformatoren bedeutend vervollkommen wurden durch den Einbau von

Buchholzschutz, Differentialschutz und Thermo-relais, das auch zum Kurzschlußschutz dient. Dagegen wurde unter den Transformatoren ein ca. 60 cm tiefes Kiesbett, das aus grobem Kies mit grossen Luftzwischenräumen besteht, vorgesehen. Durch den Kies wird das brennende Öl abgekühlt und gelöscht. Um auf dem Kiesbett besser gehen zu können und ihm ein besseres Aussehen zu verleihen, ist oben eine dünne Schicht von feinerem Kies aufgeschüttet. Das Kiesbett ist gegen aussen durch Betonstellriemen vom Rasen getrennt; diese Stellriemen verhindern das Überwuchern des Rasens in das Kiesbett, wie auch gegebenenfalls das Ausfliessen des Öles auf den Rasen. Die gleiche Massnahme wurde unter allen Öl enthaltenden Apparaten, wie Messwandlern und ölarmen Schaltern, getroffen.

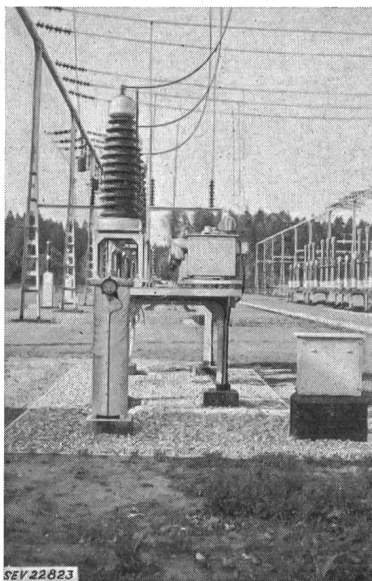


Fig. 13

150-kV-Kabelspannungswandler

Auf dem Gerüst links Kabelendverschluss, rechts Messkiste

Statt festeingebauter Feuerlöscheinrichtungen wurden folgende Apparaturen für die Feuerlöschung vorgesehen:

6 Hydranten und genügend Schlauchlänge auf einem Schlauchwagen, um jeden Platz der Anlage mit Wasserstrahlen erreichen zu können. Ausser den gewöhnlichen Wendrohren sind sog. «Nebel-Düsen» vorhanden, die das Wasser fein zerstäuben und durch diesen Wassernebel neben einer intensiven Kühlwirkung den Sauerstoff vom Brandobjekt abhalten und so das Feuer zum Ersticken bringen. Weil das Hydrantennetz der Anlage nur einen Druck von 5...6 kg/cm<sup>2</sup> hat, für ein gutes Funktionieren der Zerstäuberdüsen aber 8 kg/cm<sup>2</sup> Überdruck notwendig sind, wurde eine Zusatzpumpe, die durch einen Benzinmotor angetrieben wird, angeschafft. Die Pumpe kann auf luftbereiften Rädern leicht zu jedem Hydranten der Anlage hingefahren werden.

Ausser diesen Hydranten und Zerstäuberdüsen sind grosse fahrbare Schaumlöcher vorhanden, mit denen hauptsächlich Brände im Freien gelöscht werden sollen. Ferner stehen für Brände im Innern CO<sub>2</sub>-Geräte in verschiedenen Grössen bereit. In der

Transformatorhalle müssen bei Montagearbeiten an ölhaltigen Apparaten stets Schaum- und CO<sub>2</sub>-Löcher löschbereit aufgestellt sein. Kleine tragbare CO<sub>2</sub>-Löschgeräte sind besonders auch darum an verschiedenen Orten der Anlage aufgestellt, um Personen, deren Kleider in Brand geraten sollten, rasch Hilfe bringen zu können.

## 6. Erdungssystem

Als Grundlage des *Überspannungsschutzes* wurde ein gutes Erdungssystem vorgesehen, das darin besteht, dass eine Ringelektrode um die ganze Anlage innerhalb der Umzäunung gezogen wurde und längs und quer durch die Anlage Verbindungen zwischen diesem äusseren Ring verlegt wurden, so dass ein relativ dichter Erdungsrost entsteht. Die Erdelektroden bestehen aus Walzkupferband 40 × 3 mm und sind ca. 60 cm tief im Lehmboden verlegt. An diese Erdelektrode sind alle Eisengerüste sowie auch die 225-kV-Nullpunkte der Transformatoren und diejenigen der 150-kV-Wicklungen, soweit sie direkt geerdet sind, angeschlossen. Da die 225-kV-Wicklungen abgestufte Isolation besitzen, sind die Erdverbindungen von deren Nullpunkten fest verschweisst, damit sie nicht versehentlich geöffnet werden können. Vor dem Eintritt dieser Erdleitungen in das Erdreich ist eine direkte Querverbindung an den Kesseln der Transformatoren angebracht, damit jede Spannungsdifferenz zwischen Kessel und Nullpunkt vermieden wird. In die 225-kV-Sternpunktterdung ist ein Stromwandler eingebaut, der in seinem untern Bereich bis 100 A eine weite Charakteristik besitzt, um den Betriebserdstrom messen zu können; oben ist die Skala sehr gedrängt, so dass auch Kurzschlußströme bis 4000 A noch abgeschätzt werden können.

Das ganze in der Anlage liegende Wasserleitungssystem ist in die Erdung einbezogen. Gegen aussen aber ist es durch einen 2 m langen Gummischlauch isoliert, damit es bei Erdschluss kein erhöhtes Erdpotential in das Wasserleitungsnetz der Umgebung bringt.

Die Umzäunung der Anlage besteht aus Betonpfosten, zwischen denen Winkeleisen befestigt sind, die ihrerseits Holzstaketen tragen; sie ist nicht an die Erdung angeschlossen, um nicht einen ausserhalb der Anlage stehenden Menschen, der zufällig den Zaun berührt, bei Erdschluss einer erhöhten Spannungsdifferenz auszusetzen.

## 7. Koordination der Isolationen und Überspannungsschutz

Der Koordination der Isolationen wurden folgende Werte zu Grunde gelegt:

150 kV	mittleres Niveau	660 kV (Scheitelwert)
	Schutzniveau	495 kV (Scheitelwert)
225 kV	mittleres Niveau	960 kV (Scheitelwert)
	Schutzniveau	720 kV (Scheitelwert)

Die Werte entsprechen durchwegs denjenigen für Netze mit ungeerdetem Nullpunkt.

Wie bereits erwähnt, sind an den 225-kV-Klemmen der Transformatoren Überspannungsableiter angeschlossen, ebenso an den isolierten Nullpunkten der 150-kV-Wicklungen. Eine Untersuchung hat er-

geben, dass an den 150-kV-Klemmen keine Überspannungsableiter notwendig sind, da die Verbindung mit den 150-kV-Schienen über ca. 140 m lange Kabel erfolgt, deren Kapazität gerade als Überspannungsschutz genügt unter der Voraussetzung, dass auf den ankommenden Leitungen *Schutzfunkenstrecken* eingebaut werden, die auf das Ableiterniveau von 495 kV Scheitelwert eingestellt sind. Dies für den Fall, dass nur eine oder zwei Leitungen an die betreffenden Sammelschienen angeschlossen sind; bei drei und mehr angeschlossenen Leitungen an die Sammelschienen wären auch diese Schutzfunkenstrecken nicht mehr nötig.

Diese Schutzfunkenstrecken wurden nicht nur auf den 150-kV-Leitungen vorgesehen, sondern mit der dem ungeerdeten 225-kV-Betrieb entsprechenden Einstellung von 720 kV (Scheitelwert) auch auf den 225-kV-Leitungen zusätzlich zu den Transformator-Überspannungsableitern. Diese Leitungsschutzfunkenstrecken befinden sich auf dem 1. bis 3. Mast und wurden nach speziellen Versuchen, die von der Forschungskommission für Hochspannungsfragen (FKH) angestellt wurden, in möglichst polaritätsunabhängiger Form ausgeführt.

Auch die Frage, ob die Station mit Erdseilen zum Schutze gegen Blitzschläge überspannt werden sollte, wurde eingehend geprüft mit dem Ergebnis, dass auf Grund von mehr als 30jähriger Betriebserfahrung mit Hochspannungsanlagen für diese Massnahme keine zwingende Notwendigkeit besteht.

### 8. Steuer-, Mess- und Schutzeinrichtungen

Wie erwähnt, werden alle Trenner und Leistungsschalter von der Kommandostelle aus ferngesteuert, ebenso die Stufenschalter der Transformatoren. Trenner und Leistungsschalter sind schaltungstechnisch nicht miteinander verriegelt. Hingegen kann der Leistungsschalter nicht geschlossen werden, bevor der zugehörige Synchronisierschalter geschlossen wurde, was den Schaltwärter zwingt, den Synchronismus zu kontrollieren. Alle Verriegelungen mit Ausnahme der erwähnten wurden grundsätzlich vermieden.

Jedes Feeder ist mit 3 Ampèremetern und einem Voltmeter ausgerüstet, die auf dem Steuerpult im Blindschema eingebaut sind. Ferner sind je ein Wirk- und Blindleistungs-Registrierinstrument mit Nullpunkt in der Mitte, sowie je zwei Wirkleistungszähler und je ein Blindleistungszähler für Energiebezug und -abgabe vorhanden (Fig. 14). Je nach Bedürfnis der Partner sind in den einzelnen Leitungen Fernmessgeber mit Nullpunkt in der Mitte für die Wirkleistung und Blindleistung eingebaut, wobei es für Regulierzwecke notwendig werden kann, die Wirkleistungsgeber in Normal- und in um 180° gedrehter Lage (Kehrlage) vorzusehen. Das Kapitel 10 enthält hierzu weitere Ausführungen.

Als Leitungsschutz werden durchgängig Schnelldistanzrelais verwendet. Einzelne Leitungen sind mit Schnellwiedereinschaltung zur Kurzschlussfortschaltung versehen.

Die Synchronisierung kann sowohl von Hand, als auch über einen automatischen Schnellsynchronisier-

apparat erfolgen. Da keine Sammelschienen-Spannungswandler vorhanden sind, wird zwischen den Spannungswandlern der Leitungen synchronisiert, wobei eine bereits auf die betreffende Sammelschiene geschaltete Leitung die Sammelschienen-Spannung liefert, auf die alsdann das zuzuschaltende Feld synchronisiert wird.

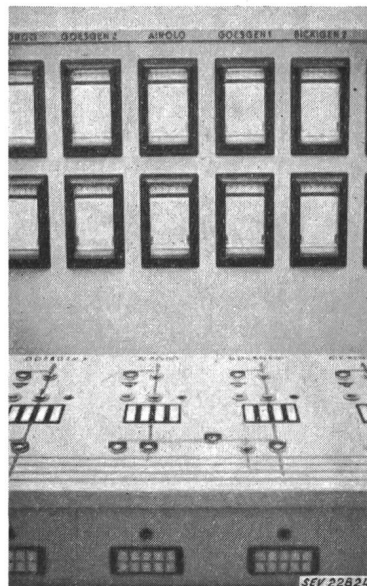


Fig. 14

Kommandoraum

Nahaufnahme des 150-kV-Schaltplatzes und der Registrierinstrumententafel

Die Transformatoren sind neben dem Differentialschutz mit Buchholzschutz und drei Thermorelais versehen worden. Diese schützen den Transformator vor Überlast und in Verbindung mit einem Zeitrelais auch bei Kurzschluss, sofern das Differentialrelais versagt. Die Thermorelais gestatten, die Transformatoren bei Störungen im Netz, z. B. beim Ausschalten einer von mehreren parallelgeschalteten Leitungen, bis an die Grenze zu überlasten, ohne dass sie Schaden nehmen oder zu früh ausgeschaltet werden. Sollte der Stufenschalter zwischen zwei Arbeitsstellungen stehen bleiben, oder nach Beginn einer Schaltung ein Kurzschluss eintreten, so wird der Transformator allseitig abgeschaltet. Ferner sind die Transformatorpole mit je drei Fernthermometern ausgerüstet, welche die Temperaturen des Öls bei seinem Austritt aus der Wicklung und aus dem Eisen, sowie oben im Öl messen. Ein weiterer Thermostat steuert die Ventilatoren der Kühler. Im Expansionsgefäß, das auf den Kühlern befestigt ist, befindet sich ein Ölstandszeiger mit Alarmkontakt für zu tiefen Ölstand und ebenso das Explosionskamin, das gegebenenfalls durch Ölauswurf einen zu hohen Druckanstieg im Transformator verhindert.

### 9. Telephoneinrichtungen

Hand in Hand mit der Zunahme des Energieaustausches zwischen den verschiedenen Gesellschaften gehen auch die Anforderungen an die *Telephonverbindungen* zwischen ihnen. Es ist verständlich, dass bei Störungen, bei denen grosse



Leistungen ausfallen, auch für rascheste Abhilfe gesorgt werden muss. Die dafür vorgesehenen Telephonverbindungen müssen immer und ohne Wartezeit zur Verfügung stehen.

Alle diese Gespräche gehen aus den oben angegebenen Gründen über werkeigene Telephonanlagen, die in den weitaus meisten Fällen aus HF-Verbindungen bestehen. Damit jede betriebswichtige Stelle rasch erreicht werden kann, wurde auf diesen Verbindungen die Fernwahl ähnlich der Städtefernwahl im Staatstelephonnetz eingeführt. Jedes Netz eines Kraftwerkbezirkes hat seine feste Nummer, mit der es von jedem andern Netz in automatischer Durchwahl über Tandem-Fernwahl-Übertrager erreicht werden kann. In den einzelnen Netzen wieder haben die verschiedenen Kraftwerke ihre bestimmte und feste Nummer, mit der sie von allen Werken des eigenen wie der fremden Netze aufgerufen werden können. Der Aufruf aus fremden Netzen ist allerdings auf einzelne wichtige Nummern beschränkt. Mit diesen Einrichtungen gestaltet sich der Telephonverkehr sehr einfach, rasch und sicher. In Mettlen befindet sich entsprechend seiner Lage zwischen den verschiedenen Gesellschaften ein wichtiger Telephon-Knotenpunkt.

#### 10. Fernmess- und Fernreguliereinrichtungen

Nicht nur die Sprechverständigung zwischen den verschiedenen Gesellschaften spielt eine grosse Rolle, ebenso wichtig sind die Fernmess- und Regulierverbindungen. Diese sind den Sprechverbindungen überlagert. Für die Sprache ist das Frequenzband von 300...2000 Hz reserviert. Es hat sich gezeigt, dass mit diesem Band die Verständigung gut möglich ist, trotzdem die Gespräche zwischen verschiedenen Sprachgebieten (italienisch-deutsch) stattfinden. Der weitere Frequenzbereich bis zur Grenze des Frequenzbandes, dessen Breite für die hier meistverwendeten Einseitenbandgeräte 4000 Hz beträgt, wird für die Fernmessung und Fernregulierung benützt. Die Übertragung eines Messwertes, die nach dem Frequenzmodulationssystem erfolgt, benötigt ein Band von ca. 450 Hz. Durch diese Bandbreite ist natürlich die Anzahl der übertragbaren Messwerte beschränkt. Für die eigentlichen Fernmessungen, die nur für die Anzeige oder Registrierung einer Grösse dienen, also nicht für die direkte Regulierung einer Maschine gebraucht werden, können mittels der rapid-zyklischen Umschaltung auf einem Band von 450 Hz bis 16 Messwerte übertragen werden, indem auf elektronischem Wege diese der Reihe nach auf den Kanal geschaltet werden, wobei am Sende- und Empfangsende synchron die betreffenden Geber und Empfänger angeschaltet werden. So wird jeder Wert während 0,1 Sekunden abgetastet. Zwischen den Abtastpausen hält sich der Wert auf dem letzteingestellten.

Anders liegen die Verhältnisse bei einer *Fernregulierung*. Hier muss der Regulierwert ständig und ohne Unterbruch auf die Regulierorgane der Maschine übertragen werden, um eine einwandfreie und richtige Regulierung zu erhalten. In Mettlen

sind für die Übertragung der Regulierwerte die Verhältnisse insofern noch komplizierter, als der einzelne Partner nicht nur eine einzige, ihm zugeordnete Leistung regulieren muss, sondern es wird gefordert, dass jeder Beteiligte nicht nur seine eigene Bezugs- oder Abgabeleistung, sondern gegebenenfalls auch diejenige anderer Partner, mit denen er im Parallelbetrieb ist, zu regulieren hat. Wie eine einfache Überlegung zeigt, hat die Reguliermaschine gerade entgegengesetzt zu regulieren, wenn sie die Impulse von einem Geberinstrument erhält, das nicht in der eigenen, sondern in einer fremden Leitung liegt. Es werden deshalb in den zu regulierenden Leitungen jeweils zwei Geberinstrumente eingebaut, eines in Normallage, das

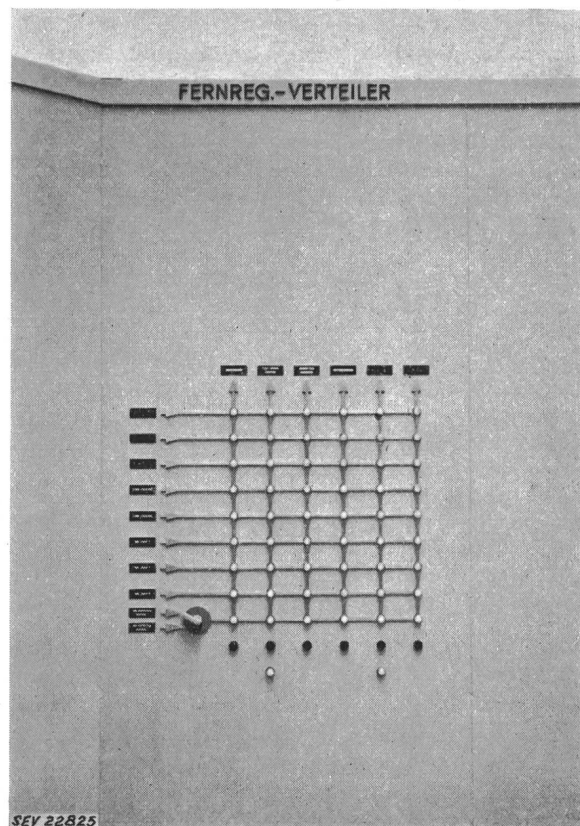


Fig. 15

Verteiler für die automatische Fernregulierung

andere in Kehrlage; das erste ist anzuschalten, wenn der Partner seine eigene Leistung reguliert, das zweite, wenn ein fremder Partner die betreffende Leistung reguliert.

Da die Reguliergeber jedem Partner zugeschaltet werden können, muss jeder Geber irgend eines Partners mit jedem Regulierempfänger irgend eines Partners zusammenarbeiten können, was bedingt, dass alle Fernregulierungen auf dem gleichen Tonfrequenzband laufen und dass alle Geber und Empfänger sehr präzise gearbeitet und aufeinander abgestimmt sein müssen. Der Fehler beträgt denn auch weniger als 2% des Skalenendwertes.

Damit bei den Zuschaltungen der verschiedenen Geber keine Fehler entstehen, ist ein zentrales Tafelfeld vorhanden, auf dem durch Drücken eines

Druckknopfes zwangsweise der richtige Fernreguliergeber auf den gewünschten Empfänger geschaltet wird (Fig. 15).

Ein Partner meldet von Mettlen aus die für ihn wichtigen Schalterstellungen in seinen Lastverteilerraum. Für die detaillierte Beschreibung der Fernregulierung sei auf den Aufsatz von *W. Hauser*, Olten, «Leistungsregulierung in Mettlen» im Bulletin SEV Bd. 45(1954), Nr. 12, S. 483, verwiesen.

### 11. Schalterprüfstand der Forschungskommission des SEV und VSE für Hochspannungsfragen (FKH)

In der Station Mettlen wird ein Schalterprüfstand für die FKH ausgebaut, der gestattet, Schalter von 150 und 220 kV Nennspannung direkt im Netz und Schalter anderer Spannung (bis 380 kV) unter Zwischenschaltung von Transformatoren (die aber vorläufig noch nicht zur Aufstellung kommen) zu prüfen, sowohl im Abschalten von Kurzschlüssen, als auch leerlaufender Transformatoren und Leitungen.

Als Messeinrichtungen werden die Kathodenstrahloszillographen, die im Messwagen der FKH eingebaut sind, verwendet.

### 12. Leitungsmasten

Die Masten der an die Station angeschlossenen Leitungen sind nach verschiedenen Systemen gebaut: Gittermasten mit Tannenbaumanordnung der Leiter, Rohrmasten und Gittermasten mit Flachanordnung der Leiter und ausbetonierte Rohrmasten [siehe *Vögeli, R.*: Die 380-kV-Freileitung. Bull. SEV Bd. 44(1953), Nr. 4, S. 141...145] mit Donauanordnung der Leiter.

Mit der Projektierung und Bauleitung der Station Mettlen war die Motor-Columbus A.-G. für elektrische Unternehmungen in Baden (Schweiz) betraut.

Die vorstehenden Ausführungen können keine eingehende Beschreibung der Station Mettlen geben, sondern sollen nur allgemeine Angaben über die Anlage unter Hervorhebung einiger Besonderheiten darstellen.

Adresse des Autors:

*H. Schiller*, Oberingenieur der Motor-Columbus A.-G., Baden (AG).

## Der Versuchsbetrieb auf der Höllentalbahn im Schwarzwald mit Einphasenwechselstrom von 50 Hz

Von *A. Degen*, Basel

621.331.3.025.1(434.6)

*Der Versuchsbetrieb auf der Höllentalbahn mit seinen speziellen Verhältnissen wird beschrieben. Es wird gezeigt, warum von den seinerzeit gebauten vier Lokomotivtypen sich nur diejenige mit Kommutatormotoren für 50 Hz durchsetzen konnte.*

*Après une description de service d'essai sur la ligne du Höllental, dans la Forêt-Noire, dont les conditions sont très spéciales, l'auteur montre pourquoi le type à moteurs à collecteurs pour 50 Hz a été le seul des quatre types de locomotives qui ait pu s'imposer.*

### Geschichtliches

Am 23. Mai 1887 wurde das erste Teilstück der normalspurigen Höllentalbahn von Freiburg im Breisgau nach dem Städtchen Neustadt im Schwarzwald eröffnet. Die Fortsetzung bis Donaueschingen mit Anschluss an die Schwarzwaldbahn folgte erst 14 Jahre später am 14. August 1901. Von diesem Zeitpunkt an kann die bisherige Nebenbahn als

Hauptlinie angesprochen werden; sie weist heute einen ansehnlichen Verkehr mit durchgehenden Eilzügen in beiden Richtungen auf. Die Überwindung des grossen Höhenunterschiedes im engen Höllental bereitete den Erbauern der Bahn grosse Schwierigkeiten, weshalb man auf der rund sieben Kilometer langen Steilrampe Hirschsprung-Hinterzarten zur Zahnstange griff. Sie wurde bis 1901 unter Verwendung besonderer Zahnradlokomotiven sowohl bei den Berg- als auch bei den Talfahrten benützt. Von diesem Zeitpunkte an beschränkte man sich auf die Bergfahrten allein, während die Talfahrten im reinen Adhäsionsbetrieb erfolgten. Mit der Indienstnahme schwerer Tenderlokomotiven mit 5 Triebachsen im Jahre 1933 konnte der unwirtschaftliche und hemmende Zahnradbetrieb auf der Rampe mit 55 % Steigung aufgegeben und die Zahnstange gänzlich ausgebaut werden.

### Die elektrische Zugförderung in Baden

Die früheren badischen Staatsbahnen hatten bereits vor dem Ersten Weltkrieg ihr Interesse für die elektrische Zugförderung bekundet, indem sie auf der Wiesen- und auf der Wehratalbahn (Normalspur, rund 47 km) versuchsweise zum elektrischen Betrieb mit Einphasenwechselstrom von 15 000 V Fahrdrachtspannung und 15 Hz (später auf  $16\frac{2}{3}$  Hz erhöht) übergingen. Der Ausbruch des ersten Welt-

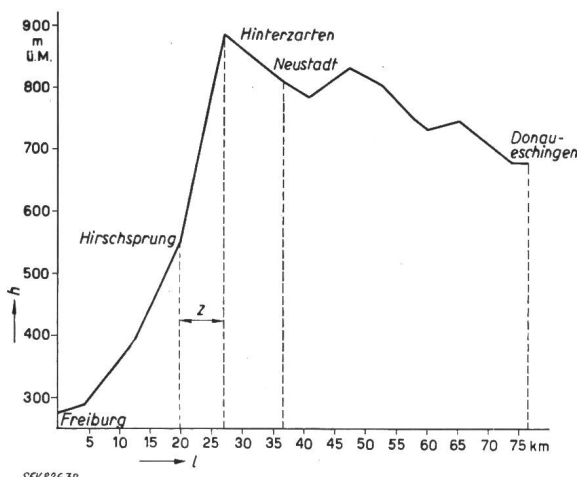


Fig. 1

Vereinfachtes Längenprofil der Strecke  
Freiburg-Donauesschingen  
Z ehemalige Zahnstangenstrecke