

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 52 (1961)  
**Heft:** 13

**Artikel:** Die Transformatoren- und Schaltstation Lavorgo  
**Autor:** Schiller, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1059063>

### **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:** 18.01.2025

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

# BULLETIN

DE L'ASSOCIATION SUISSE DES ELECTRICIENS

Organe commun de l'Association Suisse des Electriciens (ASE)  
et de l'Union des Centrales Suisses d'électricité (UCS)

## Die Transformatoren- und Schaltstation Lavorgo

Von H. Schiller, Baden

621.311.42(494.56)

*Im Artikel wird die 220/380-kV-Station Lavorgo der Aare Tessin AG (Atel) beschrieben. In die Beschreibung werden sowohl die Hochspannungs- wie die Niederspannungs- und Schwachstrom-Einrichtungen einbezogen. Die Station wurde für eine endgültige Spannung von 380 kV gebaut, wird aber vorläufig nur mit 220 kV betrieben, wobei je 2 Leitungsabgänge in einem für 380 kV dimensionierten Feld untergebracht sind. Es wird auf die Besonderheit aufmerksam gemacht, dass die 380-kV-Sammelschienen verkabelt werden müssen, um deren Phasenabstand nahezu auf Null zu reduzieren wegen der kleinen Ausdehnung in der Breite des zur Verfügung stehenden Grundstückes.*

*Description des équipements à haute et à basse tension, ainsi que ceux à courant faible, du poste de transformation et de couplage 220/380 kV de Lavorgo de la S. A. Aar-Tessin (Atel), construit pour une tension définitive de 380 kV, mais utilisé provisoirement pour 220 kV seulement, avec deux lignes de départ dans chaque cellule dimensionnée pour 380 kV. L'auteur attire l'attention sur le fait que les barres collectrices à 380 kV ont dû être câblées, afin que les distances entre phases puissent être presque nulles, car la largeur du terrain disponible est extrêmement réduite.*

### 1. Zweck der Anlage

Die Aare-Tessin AG (ATEL) besitzt zwei Hochspannungsleitungen, die von Lavorgo über die Alpen nach Mettlen führen. Sie dienen der Verbindung des Tessin mit der Nordschweiz. Die eine (Gotthardleitung) erreicht ihren höchsten Punkt auf 2180 m. ü. M., die andere (Lukmanierleitung) auf 2500 m ü. M. Beide sind für 380 kV Betriebsspannung gebaut, wurden aber bis 1953 nur mit 150 kV betrieben.

Mit dem weiteren Ausbau der Kraftwerke im Tessin reichte die Spannung von 150 kV zum Abtransport der anfallenden Energie nicht mehr aus und es musste die Spannung beider Leitungen auf 220 kV erhöht werden. Im Zusammenhang damit mussten die entsprechenden Schalt- und Transformatorenanlagen in Mettlen, Airolo und Lavorgo erstellt werden.

### 2. Disposition der Anlage

Im Tessintal bei Lavorgo befindet sich auf einer Meereshöhe von 610 m das Kraftwerk Piottino mit der daneben liegenden Schaltstation für 150 kV. Das Tal ist hier sehr eng und bietet nicht viel Möglichkeiten für den Bau von Hochspannungsanlagen. Es ist nicht genügend Raum vorhanden, um je eine weitere 220-kV- und 380-kV-Anlage zu erstellen. Es wurde deshalb beschlossen, von Anfang an eine Anlage für 380 kV zu bauen und dieselbe vorläufig mit 220 kV zu betreiben. Für den Bau kamen nur zwei Plätze in Frage: einer, der etwa 700 m vom Kraftwerk weg lag, keine direkte Sicht von demselben hat, wo grössere und kostspieligere Verbauungen wegen Überschwemmungsgefahr notwendig gewesen wären und auch die Erstellung der Zufahrtsstrassen grössere Kosten verursacht hätte. Der andere Platz lag direkt dem Kraftwerk gegenüber auf der anderen Flußseite mit guter Sicht vom Kraftwerk aus. Der erste Platz wäre genügend gross gewesen, um eine normale 380-kV-Anlage darauf zu errichten, während der zweite wohl in der Länge genügend Raum bot, aber

in der Breite zu schmal war, um 380-kV-Sammelschienen mit normalen Abständen zu entwickeln. Die Breitedimension reichte nur aus, wenn bei den vorgesehenen zwei Sammelschienen der Abstand zwischen den Phasen nahezu auf Null reduziert werden konnte, was nur bei Verkabelung der Sammelschienen möglich war.

Nach Abwägung aller Vor- und Nachteile entschied man sich für die zweite Lösung der verkabelten Sammelschienen (Fig. 1).

### 3. Ausführung der Anlage

Fig. 2 zeigt im einpoligen Schema die Ausbaugröße der Anlage, und zwar im ersten (Fig. 2 a) wie im Vollausbau (Fig. 2 b). Das Schema bleibt sich grundsätzlich für den Ausbau für 220 kV wie für 380 kV gleich, denn die Leitungen Mese und Biasca, wie die Gotthardleitung und die Lukmanierleitung sind für 380 kV endgültige Betriebsspannung vorgesehen. Der Transformator 150/220 kV wird beim Übergang auf 380 kV durch einen solchen mit einer Übersetzung 150/380 kV ersetzt. Die 220-kV-Leitung Peccia bleibt auf 220 kV; es wird ihr aber ein Transformator 220/380 kV vorgeschaltet zum Anschluss an die 380-kV-Anlage.

Die Feldteilung der Eisengerüste für 380 kV wurde zu 32 m gewählt; für 220 kV beträgt die Feldteilung 16 m. Dies gestattet, in einem 380-kV-Feld zwei 220-kV-Leitungen unterzubringen, was auch gemacht wurde. So war es möglich, nur die Hälfte der endgültig für die 380-kV-Anlage benötigten Felder auszubauen und dadurch für den Moment eine bedeutende Ersparnis an den Eisengerüsten zu erzielen. Das Gerüst präsentiert sich in der 32 m Feldteilung besonders leicht. Die Pfosten wurden in ausbetonierter Rohrkonstruktion erstellt, während die horizontalen Abspannriegel in sehr leichtem Rohrfachwerk ausgeführt wurden (Fig. 3 und 4).

Die Hochspannungsapparate wie Schalter, Trennschalter, Strom- und Spannungswandler sind auf eigenen Eisengerüsten aufgestellt, die so hoch sind, dass sie nicht eingezäunt werden müssen. Man kann sich deshalb in der ganzen Anlage frei bewegen (Fig. 5).

und Zählerboden, wie auch ein separater Raum für die Eigenbedarfsverteilung und ein Batterieraum vorhanden ist. Neben dem Kommandoraum befindet sich der Raum für die Netzregler. In einem weiteren Raum sind zwei Kompressoren für die 220-kV-Druckluftschalter untergebracht. Im Gebäude befinden sich ein

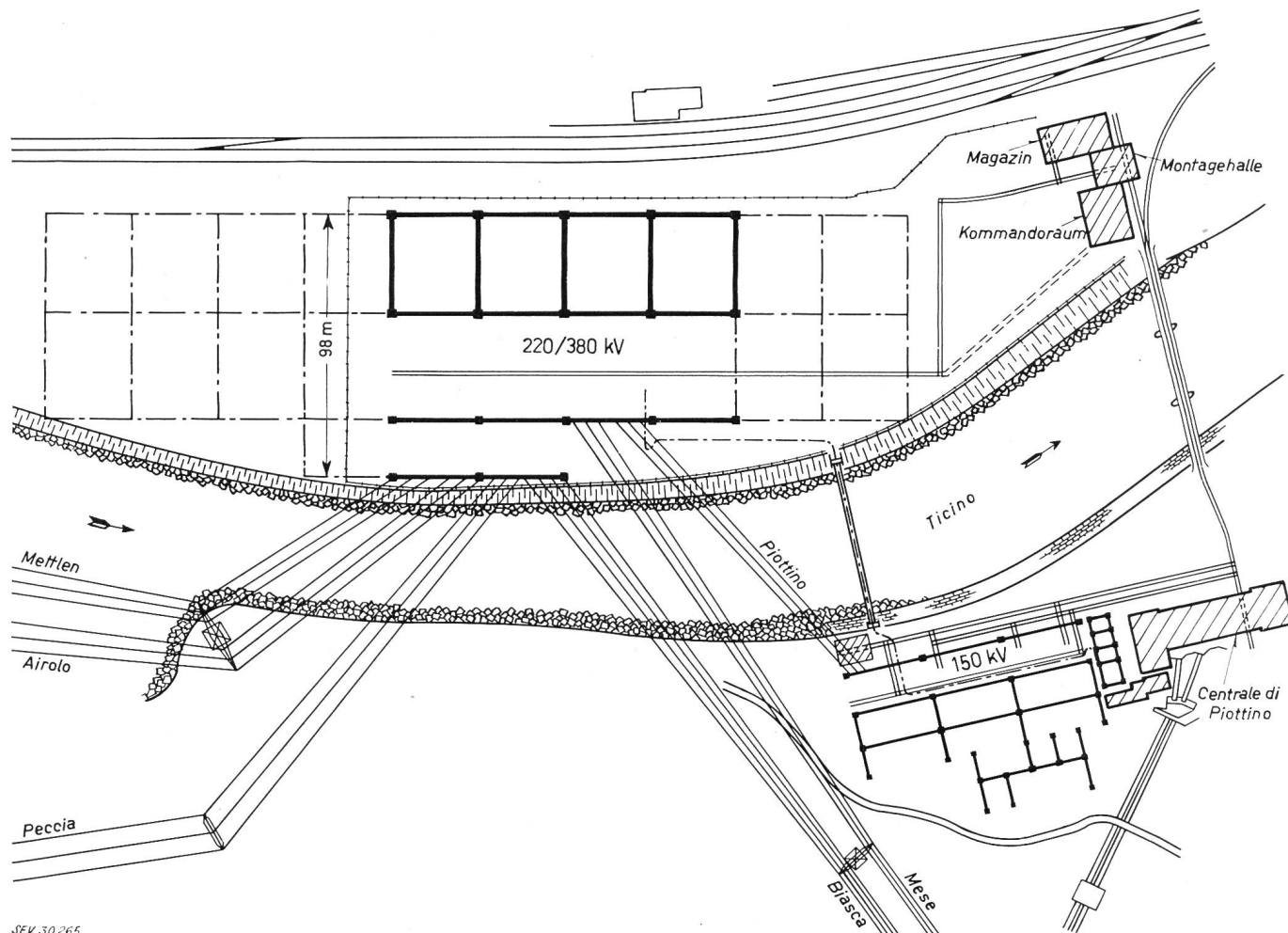


Fig. 1  
Situationsplan des Kraftwerkes Piottino und der Unterstation Lavorgo

Unter den ölethaltenden Apparaten ist ein Kiesbett vorhanden, um die Ausbreitung eines Ölbrandes zu vermeiden.

Wie aus Fig. 6 zu ersehen ist, sind links des Geleises die Leitungstrenner und die Spannungswandler je auf einem eigenen Gerüst montiert. Rechts des Geleises stehen die Druckluftschalter und die Stromwandler auf einem gemeinsamen Gerüst (Fig. 5). Der Transport der Apparate erfolgt auf einem Wagen mit 2 um 90° versetzbaren Radsätzen, um rechtwinklig abzweigende Geleise befahren zu können.

Wie bereits erwähnt, müssen wegen der engen Platzverhältnisse die 380-kV-Sammelschienen verkabelt werden. Hingegen war es möglich, die beiden 220-kV-Sammelschienen als normale abgespannte Seilkonstruktion auszuführen, so dass die 220-kV-Anlage diesbezüglich nichts besonderes zeigt.

Die Anlage wird im endgültigen Ausbau von 380 kV in der Länge 320 m und in der Breite 100 m messen, was einem Flächeninhalt von 32 000 m<sup>2</sup> entspricht.

#### 4. Gebäude

Es wurde ein Kommandogebäude errichtet, in welchem der Kommandoraum, darunter der Relais-

Telephonautomat, die Einrichtungen für Hochfrequenztelephonie, ein Sanitätszimmer, ein Essraum, sowie das Bureau für den Stationschef.

Angebaut an das Stationsgebäude ist die Montage- und Kranhalle für die Transformatoren sowie ein grösseres Magazin. In die Kranhalle können über einen Geleiseanschluss die schwersten Lasten auf dem Bahnwagen unter den Kran gefahren werden (Fig. 7).

Für Reparaturen werden die bestehenden Werkstätten im benachbarten Kraftwerk benützt.

#### 5. Transformatoren

Vorerst kam ein 100-MVA-Transformator, bestehend aus 3 Einphaseneinheiten zu je 33 1/3 MVA, zur Aufstellung. Es ist Platz für eine zweite gleiche Einheit vorgesehen (Fig. 8 und 9).

Der aufgestellte Transformator ist ein Dreiwicklungstransformator 150/220/8 kV, wobei die 150- und 220-kV-Wicklungen für je 100 MVA, die 8-kV-Wicklung für 30 MVA bemessen sind.

Die 150-kV-Wicklung ist in Stern geschaltet und voll isoliert, da der Nullpunkt des 150-kV-Systems zur Zeit der Aufstellung des Transformators noch über

eine Petersen-Spule geerdet war. In der Zwischenzeit wurde er starr geerdet.

Die 220-kV-Wicklung ist in Stern geschaltet und mit abgestufter Isolation sowie mit einem unter Last schaltbaren Stufenschalter mit 30 Stufen im Nullpunkt versehen.

Die 8-kV-Wicklung ist in Dreieck geschaltet. An diese Wicklung können die Generatoren des Kraftwerkes Piottino über 8-kV-Ölkabel angeschaltet werden. Es sind 4 Dreiphasen-Kabelstränge parallel verlegt von je  $3 \times 300 \text{ mm}^2 \text{ Cu}$  für total 2260 A.

Die Prüfspannungen der Wicklungen sind aus Tabelle I ersichtlich. Ein Pol der Dreiphasengruppe wurde mit je drei positiven und negativen Stößen  $1|50$  geprüft.

Die Betriebsspannungen bei Vollast und  $\cos \varphi = 0,8$  können auf der 220-kV-Seite zwischen 220 und 246 kV und auf der 150-kV-Seite zwischen 145 und 170 kV schwanken.

Es ist vorgesehen, in einigen Jahren eine zweite Transformatorgruppe von 125 MVA Leistung aufzustellen, wobei die 150- und 220-kV-Wicklungen in Autoschaltung ausgeführt werden, da inzwischen, wie erwähnt, auch der Nullpunkt des 150-kV-

Netzes geerdet wurde. Jeder Transformatorpol ist mit einer auf eigenem Fahrgestell montierten Kühlergruppe ausgerüstet mit natürlicher Ölzirkulation und künstlicher Bebläsung. Bis 60 % der Nennleistung genügt die natürliche Kühlung ohne Bebläsung; die Ventilatoren

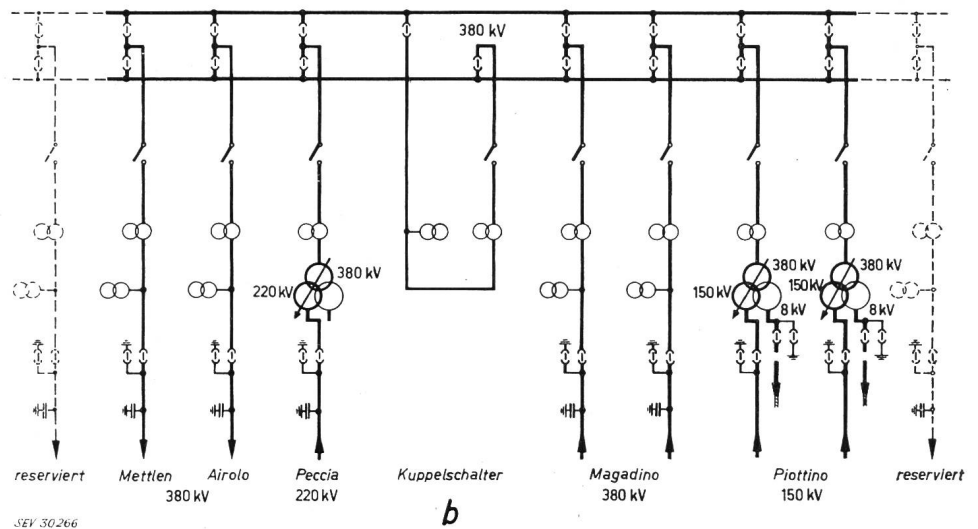
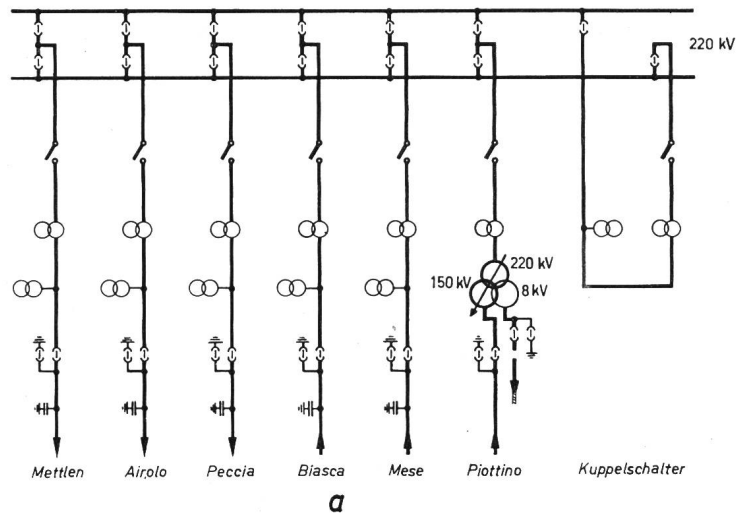
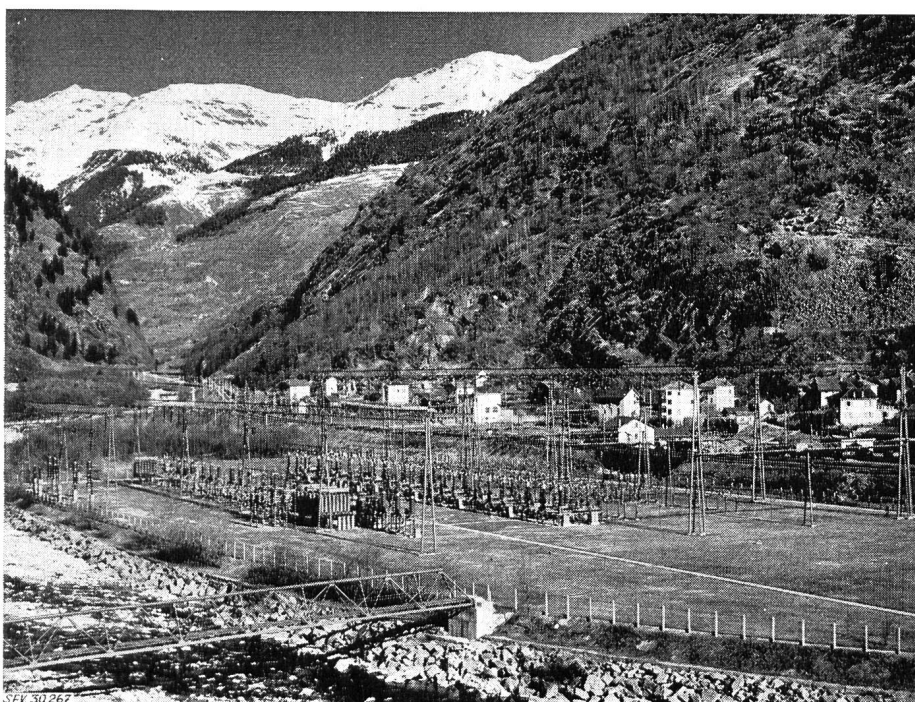


Fig. 2

Einpoliges Schema der Station Lavorgo  
a Ausbau 220 kV; b Ausbau 380 kV



werden mittels Thermostaten in zwei Stufen automatisch eingeschaltet.

In den Verbindungsleitungen zwischen Kühler und Transformator sind je 2 Schieber eingebaut, so dass die Kühler vom Transformator getrennt werden können, ohne das Öl der beiden ablassen zu müssen.

Die Fundamente der Transformatoren sind schallisoliert, da sie in nächster Nähe eines Dorfes aufgestellt sind. Unter den Transformatoren ist ein Kiesbett vorhanden um die Ausbreitung eines Ölbrandes möglichst zu verhindern.

Von ihrem Standpunkt aus können die Transformatoren auf ihren

Fig. 3

Ansicht der Station Lavorgo zwischen dem Fluss Tessin und der Eisenbahn

Nennspannung kV	Spannungsprüfung	Prüfspannung 50 Hz kV	Prüfstoss- spannung 1   50 <sup>2)</sup> kV
220	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.

eigenen Rollen über ein Geleise in die Transformatorenmontagehalle transportiert werden.

## 6. Hochspannungsapparate

### 6.1. Schalter

Es wurden je nach Wichtigkeit der Leitungen Druckluftschalter mit einer Abschaltleistung von 10 000 MVA, 7500 MVA und 5000 MVA verwendet, welche Leistung bei doppelt verketteter, wiederkehrender Spannung bewältigt wird. Die 10 000-MVA-Schalter sind in die Feeder Airolo und Mettlen der beiden Alpenleitungen

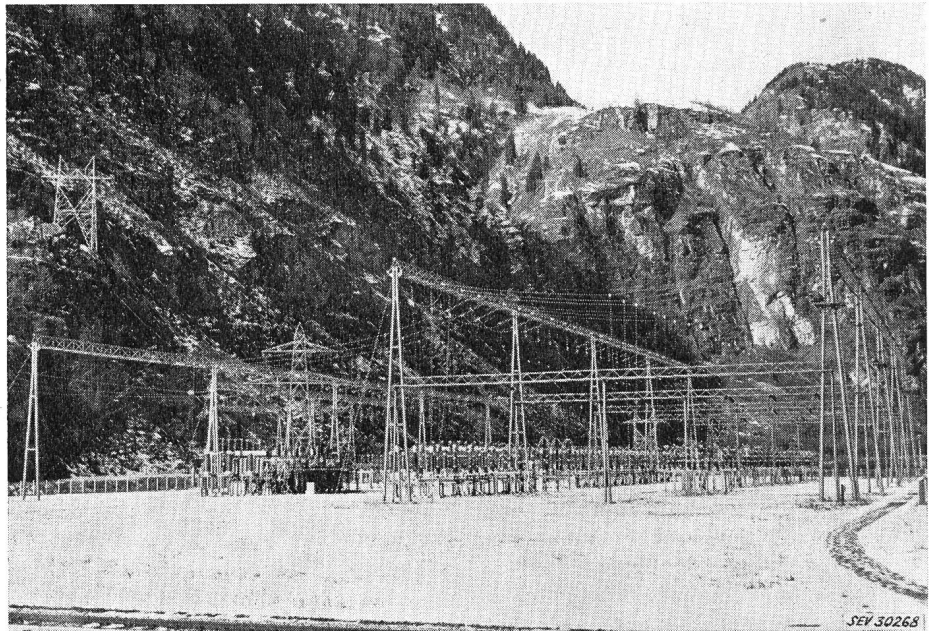
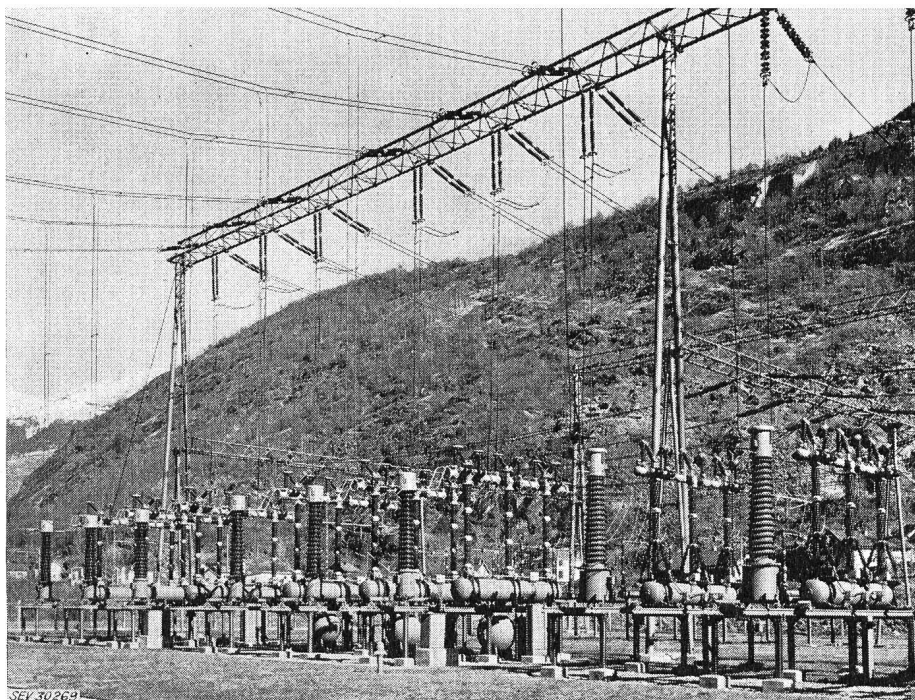


Fig. 4  
Ansicht der Station vom Eisenbahndamm aus gesehen



### 6.2 Strom- und Spannungswandler

Neben dem zugehörigen Druckluftschalter ist jeder Leitungsabgang mit Strom- und Spannungswandlern ausgerüstet. Beides sind Ölwannder vom Manteltyp.

Die Spannungswandler haben Übersetzungsverhältnis

$$\frac{225}{\sqrt{3}} / \frac{0,200}{\sqrt{3}} \text{ kV}$$

und eine Sekundärleistung von 300 VA der Klasse 0,2.

Die Stromwandler haben ein Übersetzungsverhältnis 2000 — 1000/1 oder 1000 — 500 — 250/1 — 1 A. Sie sind mit zwei Kernen ausgerüstet, einem Relais- und

Fig. 5  
220-kV-Druckluftschalter mit Stromwandlern auf gemeinsamem Gerüst

Gotthard und Lukmanier eingebaut. Die Schalter haben 6 Unterbrechungsstellen und sind zur gleichmässigen Spannungsverteilung über dieselben mit spannungsabhängigen Widerständen ausgerüstet. Die Schalter der Feeder Mettlen, Biasca und Peccia sind mit Schnell-

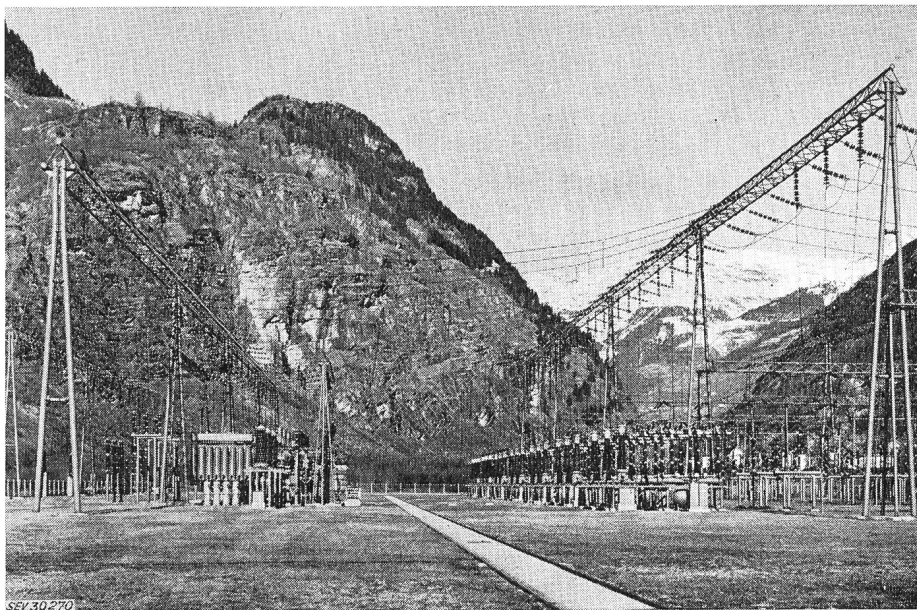
einem Messkern, beide mit 60 VA Leistung; diejenige des Messkernes ist in Genauigkeitsklasse 0,2; der Winkelfehler des Relaiskernes darf sekundär im Bereich zwischen 0,66 und 20fachem Nennstrom nicht grösser als 5° und der Übersetzungsfehler nicht mehr

als 5 % sein. (Klasse S 20). Als Sekundärstrom wurde 1 A gewählt, dies mit Rücksicht auf die langen Messleitungen (200...400 m). Eingehend wurde die Frage der hohen Spannungen an den Klemmen studiert, die beim unachtsamen Öffnen der Sekundärleitungen entstehen können. Die Innen-Isolation der Wandler wurde so ausgeführt, dass sie dieser Spannung standhält, und die Durchführungsisolatoren wurden so klein gewählt, dass sie vor Erreichen dieser Spannung überschlagen. Neuerdings werden an den Sekundärklemmen zusätzlich Funkenstrecken vorgesehen, die eine möglichst tiefe Überschlagsspannung aufweisen.

Fig. 6

**Frontansicht der Station**

links des Geleises der Haupttransformator 100 MVA, 150/220 kV und die Spannungswandler; rechts des Geleises die Stromwandler, Druckluftschalter und Sammelschienen



**6.3 Trennschalter**

Die Trennschalter sind vom 2- und 3-säuligen Drehtrennertyp mit Motorantrieb.

Der 2-säulige Typ mit einem Nennstrom von 2000 A ist in den Leitungen Airolo und Mettlen eingebaut. Der Öffnungswinkel der Trenner-Arme beträgt 150°

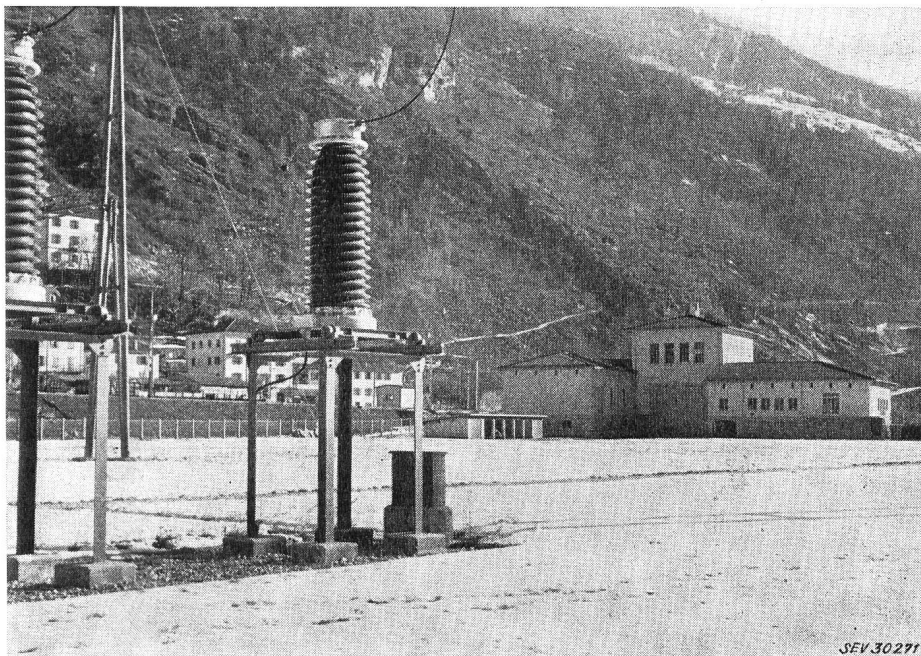


Fig. 7

Blick gegen das Kommandogebäude rechts der Kommandoraum, in der Mitte überhöht die Kranhalle für die Transformator montage, links das Magazin

statt wie üblich 90°, um den gegenseitigen Abstand zu vergrößern.

In diesen Feldern wurden nachträglich Bündelleiter 2 × 550 mm<sup>2</sup> Aldrey installiert, ebenso in der Sammelschiene. Der Rest der Station blieb mit Einfachleitern 350 mm<sup>2</sup> Cu bzw. 550 mm<sup>2</sup> Cu.

Der 3-säulige Typ ist für 1000 A Nennstrom dimensioniert und im Rest der Anlage verwendet.

Für die 220-kV-Anlage wurden schon 1952 besondere Seil- und Apparate-Verbindungsklemmen konstruiert, die mit Bügelschrauben zusammengeschraubt werden und bei denen besondere Rücksicht auf Radio-störfreiheit genommen wurde (Fig. 10).

**7. Das Erdungssystem**

Die ganze Station liegt auf Terrain, das teilweise bis 2,5 m aufgeschüttet werden musste. Vor der Aufschüttung wurde deshalb in den gewachsenen Boden eine Kupferelektrode, bestehend aus Kupferbändern 3 × 40 mm, in Form eines Maschennetzes von etwa 16 m Maschenweite verlegt. An verschiedenen Stellen wurden Kupferbänder in Schächten aus Zementrohr an die Oberfläche der Auffüllung hochgeführt, um dort an ein zweites Erdungssystem, das auch als Maschennetz ausgebildet wurde, angeschlossen zu werden. An dieses in der Auffüllung gelegene Erdungsnetz wurden alle Gerüste und Geleise geerdet und dieses sorgt auch für eine gleichmäßige Potentialverteilung an der Oberfläche.

An dieses Erdungssystem ist auch der Nullpunkt der 220-kV-Wicklung angeschlossen. Da zwischen Nullpunkt und Kessel zufolge der abgestuften Isolation praktisch keine Spannungsdifferenzen auftreten dürfen, wurde vor Eintritt der Nullpunkterdung in den Boden noch eine Querverbindung an den Kessel gemacht.

## 8. Koordination der Isolation und Überspannungsschutz

Der Isolation der Anlage wurde entsprechend den damaligen Vorschriften eine Stosshaltespannung (Scheitelwert) von 960 kV zugrunde gelegt und das Schutzniveau der Ableiter entsprechend auf 720 kV festgesetzt. Die Werte entsprechen einem nichtgeerdeten Netz.

Der Transformator ist durch Überspannungsableiter geschützt. An den Abspannketten auf den beiden ersten Masten vor der Anlage sind Schutzfunkenstrecken von 1050 mm Schlagweite entsprechend einer Überschlagspannung (Scheitelwert) von etwa 720 kV eingebaut. Diese Funkenstrecken sind in möglichst polaritätsunabhängiger Form ausgeführt.

Die Station wurde nicht mit Erdseilen überspannt, da die Erfahrung zeigt, dass eine solche Massnahme nicht notwendig ist. Hingegen sind die Erdseile der

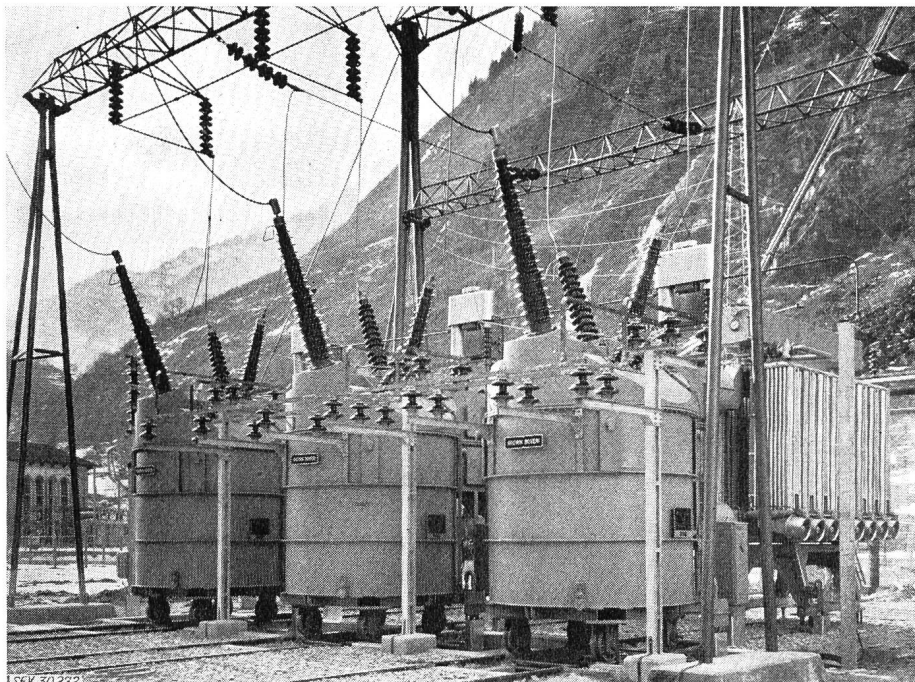


Fig. 8  
Haupttransformatorgruppe 100 MVA,  
150/220 kV

Leitungen am Anlagegerüst abgespannt und mit demselben leitend verbunden.

## 9. Steuer-, Mess- und Schutzeinrichtungen

Alle Schalter, Trenner, sowie auch der Stufenschalter werden vom Kommandoraum aus ferngesteuert.

Die Kommandoschalter und die Anzeigeeinstrumente sind in einer vertikalen Schalttafel in ein Blindschema eingebaut (Fig. 11).

In einer Tafel gegenüber der erwähnten sind die registrierenden Watt- und Blindwattmeter eingebaut.

In dieser Tafel befindet sich auch ein G.E.-Störungsoszillograph mit 6 Schleifen. Derselbe wird sowohl durch den Nullstrom als auch durch ein  $dU/dt$ -Organ angeworfen.

Die Wirk- und Blindleistungszähler sind im Relais- und Kabelverteilteraum unter der Kommandostelle eingebaut. Die Zähler sind Dreisystem-Zähler, um auch im Netz mit geerdetem Nullpunkt die Energie genau messen zu können. Im Gegensatz dazu sind die anzeigenden und registrierenden Watt- und Blindwattmeter nur vom Zweisystemtyp, da nach diesem keine Energieverrechnungen stattfinden.

Alle abgehenden Leitungen sind mit Schnelldistanzschutzrelais ausgerüstet, die Lukmanierleitung zudem mit einem Überspannungsrelais, das die Leitung abschaltet, wenn infolge einer Störung bei eingeschalteter leerlaufender Lei-

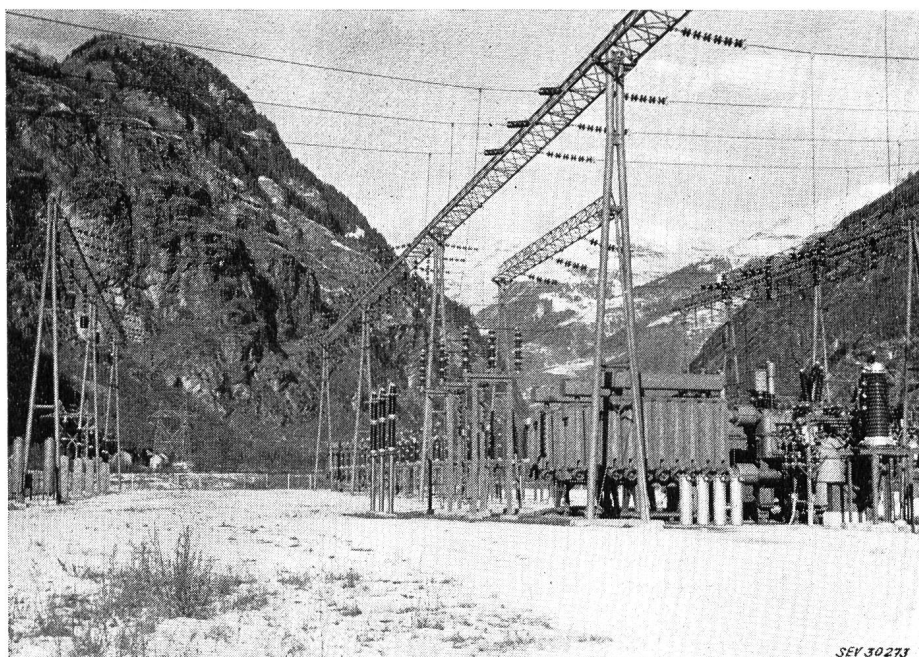


Fig. 9  
Haupttransformatorgruppe  
Rückansicht mit Kühlern, Überspannungsableitern und den Endverschlüssen des  
8-kV-Ölkabels

ert. In demselben befinden sich auch die Anzeigeeinstrumente wie Ampèremeter, Voltmeter, Watt- und Blindwattmeter.

tung Selbsterregung eintreten sollte. Bei den Leitungen Mettlen und Biasca sind die Distanzrelais mit einer Zusatzeinrichtung für Schnellwiedereinschaltung aus-

gerüstet, wobei die Kupplung mit der Gegenstation über Hochfrequenz erfolgt.

Die Transformatoren sind mit Differentialschutz gegen innere Fehler und mit Thermorelais gegen Überlast geschützt. Ferner ist für Fernanzeige im Kom-

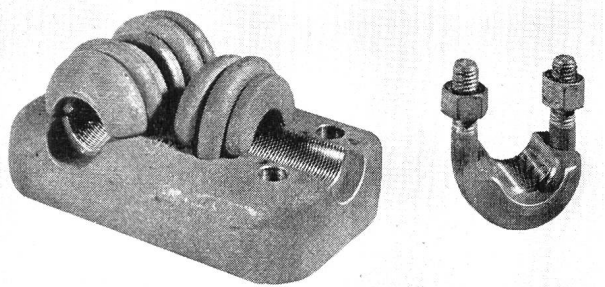


Fig. 10  
Verbindungsklemmen  
neuerer Konstruktion  
ohne Schutzhaube,  
aber mit  
erhöhtem Rand als Sprüh-  
schutz

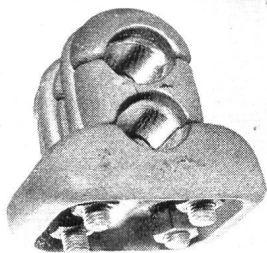
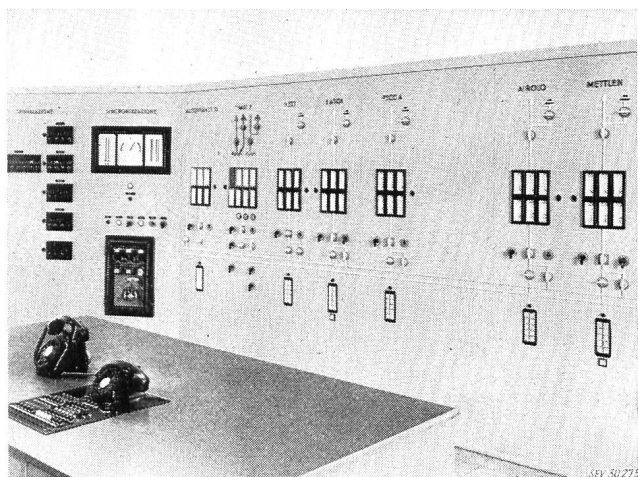


Fig. 11  
Kommandoraum mit Steuertafel

mandorraum jeder Pol mit 3 Ferntemperaturanzeigern ausgerüstet, welche die Öltemperatur im Transformator oben, wie beim Austritt aus den Wicklungen (Kupfer-Temperatur) und beim Austritt aus dem Eisen (Eisen-Temperatur) misst. Ein weiterer Thermostat steuert, wie schon erwähnt, die Ventilatoren der Kühler. Im Expansionsgefäß ist ein Ölstandszeiger mit Alarmkontakt beim Unterschreiten des Minimalölstandes eingebaut. Ferner ist der Transfor-



mator mit einem Explosionskamin versehen, um gegebenenfalls durch Ölauswurf einen zu hohen Druckanstieg im Transformatorkessel zu verhindern.

### 10. Eigenbedarf der Station

Die Energie für den Eigenbedarf wird aus einem fremden 8-kV-Netz über einen 200-kVA-Transformator 8 kV/220 V/380 V bezogen. Das Fremdnetz hat einen Anschluss an das benachbarte Kraftwerk Piottino, so dass im Notfall auch direkt aus dem Werk gespeist werden kann.

Für die Gleichstromversorgung ist eine Blei-Akkumulatorenbatterien von 216 Ah und 220 V Nennspannung vorhanden. Infolge Dauerladung beträgt aber die Spannung dauernd 240 V.

### 11. Telephon

Neben dem internen Telephon in der Station bestehen Hochfrequenztelephonverbindungen vom Einseitenband-Typ nach den Gegenstationen, über die das schweizerische Elektrizitätswerk-Fernwahlnetz erreicht werden kann. Die Station Lavorgo selbst besitzt ihrerseits eine Fernwahlzentrale.

Für die dauernde unterbrochlose Versorgung der HF-Telephonanlage sind, besonders mit Rücksicht auf die Schnellwiedereinschaltung, dauernd laufende 3 Maschinen-Umformergruppen vorhanden, bestehend aus einem Wechselstromgenerator für die Speisung der HF-Einrichtungen und je einem Gleich- und Wechselstrommotor als Antrieb. Normalerweise wird die Umformergruppe vom Drehstrommotor angetrieben, in Störungsfällen jedoch schaltet sie ohne Unterbruch in der Belieferung der HF-Einrichtungen den Gleichstrommotor auf die Gleichstrombatterie.

### 12. Fernmess- und Fernregulierung sowie Fernsteuerung

Über die HF-Verbindungen werden auch Fernmessungen übertragen für Anzeigezwecke wie für direkte Leistungsregulierung der Maschinen über zwei Netzregler. Die Telephonie belegt die Frequenzen 300...2000 Hz. Darüber sind die Fernmessungen untergebracht, die nach dem Prinzip der Frequenzvariation ein Band von etwa 450 Hz pro Messwert belegen. Für die Anzeigewerte wird das System der rapid zyklischen Übertragung verwendet, wo bis 16 Messwerte zyklisch während 1 s auf einen Kanal gegeben werden, wobei Sender und Empfänger synchronisiert sind. Regulierwerte für die Maschinen müssen dauernd übertragen werden und belegen somit pro Messwert ein Band von 450 Hz.

Mittels HF werden ferner die wichtigsten Schalterstellungen nach dem Lastverteiler der Atel in Olten in einer Entfernung von etwa 180 km nach der Methode eines verschlüsselten Impulssystems gemeldet; dahin werden auch die erwähnten rapid zyklischen Fernmessungen übertragen.

### 13. Netzregler

Es sind zwei Netzregler installiert (Fig. 12): eine ältere analogelektromechanische Ausführung und ein neuer elektronischer Digital-Regler.

Die Netzregler dienen dazu, nach Wahl die Übergabeleistung an verschiedenen Kuppelstellen mit fremden Netzen zu regeln. Zur Regelung können über die Netzregler wahlweise die Maschinen des etwa 100 m entfernt liegenden Werkes Piottino ( $2 \times 23$  MVA und  $1 \times 30$  MVA) oder das in 25 km Entfernung befindliche Speicherwerk Lucendro ( $2 \times 30$  MVA, Gefälle 1000 m) einzeln oder in einer beliebigen Kombination herangezogen werden. Überdies können die einzelnen Maschinen nach Gutdünken verschieden vorbelastet und mit für jede Maschine frei wählbarer Statik und Sollwert betrieben werden. Über ein Wahlsystem werden die ferngemessenen Übergabeleistungen auf die gewünschten Maschinen geschaltet, die dann mit der ihnen zugeteilten Teillast gemeinsam mit den



übrigen Maschinen die Gesamtübergabe-Last ausregulieren.

Die Regulierung kann überdies nach freier Wahl mit konstanter Frequenz, konstanter Leistung oder frequenzabhängiger Leistung betrieben werden.

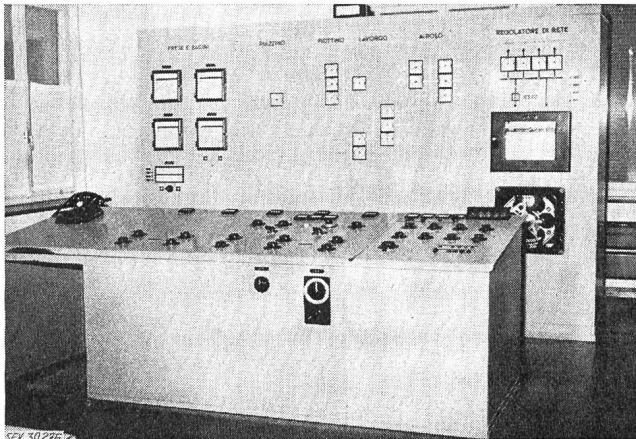


Fig. 12  
Netzregler

#### 14. Leitungen

Die Tragwerke der abgehenden Leitungen sind teilweise als ausbetonierte Rohrmaste, teilweise als Winkelisenkonstruktionen ausgebildet und mit den für Hochgebirgsleitungen benötigten hohen Zusatzlasten berechnet.

der 150-kV-Schalter, Messwandler usw. in der 150-kV-Anlage aufgestellt bleiben.

Die Leitung nach Peccia, die endgültig mit 220 kV betrieben wird, wird über einen vorgeschalteten Transformator von 150...200 MVA Leistung an die 380-kV-Anlage angeschaltet (Fig. 13).

Wie bereits erwähnt, sollen die zwei 380-kV-Sammelschienen zufolge der Beschränkung in der Breitenausdehnung der Anlage verkabelt werden (Fig. 13 und 14). Für die Ausbildung der Leitungsabgänge an diese Schiene sind verschiedene Varianten studiert worden. Die Figur zeigt diejenige, die im heutigen Zeitpunkt ausgeführt werden könnte und auch am meisten Platz beansprucht. Sie wurde daher der Disposition der Anlage zu Grunde gelegt.

In diesem Fall sind zwischen zwei Feldern für jede Phase einzelne Kabelabschnitte, die beidseitig mit Endverschlüssen versehen sind, verlegt. Die beiden Endverschlüsse sind mit Kupferrohr verbunden. Durch Aneinanderreihen verschiedener solcher Abschnitte entsteht die Sammelschiene. An den jeweiligen Kupferrohrverbindungen werden die Leitungen angeschlossen.

Entsteht ein Fehler in einem Sammelschienen-Abschnitt, so kann er leicht abgetrennt werden durch Lösen der Kupferrohrverbindungen.

Um im Falle einer Störung auf einer Phase der Kabelsammelschiene nicht zu stark behindert zu werden, ist noch eine auf Stützisolatoren montierte Hilfschiene vorgesehen (Fig. 13 und 14).

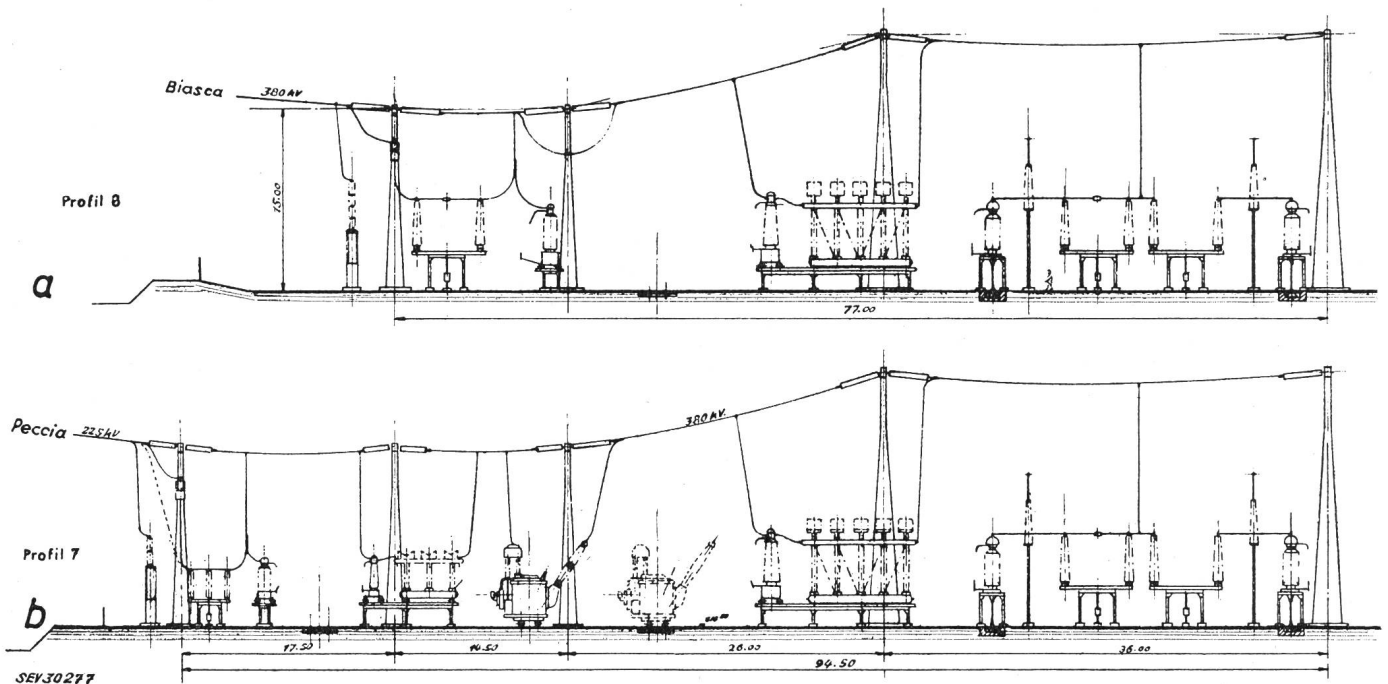


Fig. 13  
380-kV-Station Lavorgo

a Querschnitt durch das Feeder Biasca; b Querschnitt durch das Feeder Peccia mit vorgeschaltetem Transformator 220/380 kV

#### 15. Der Übergang auf 380 kV

Es mag interessieren, noch kurz etwas über die Ausbildung der Anlage für den Betrieb mit 380 kV zu vernehmen.

Die Station ist so disponiert, dass bei Betrieb mit 380 kV nur diese Spannung vorhanden ist; es existiert also in jenem Zeitpunkt kein 220-kV-Teil mehr. Die Kupplung mit der 150-kV-Anlage erfolgt dann über einen oder zwei Transformatoren 150/380 kV, wobei

Es seien noch zwei weitere Varianten des Sammelschienenanschlusses erwähnt. Statt zwei Endverschlüsse wird eine T-Muffe in den Kabelzug eingebaut, so dass über der Erde nur ein Endverschluss notwendig ist. Die T-Muffe würde so ausgebildet, dass die Sammelschienen-Abschnitte, im Falle einer Störung in derselben, rasch abgetrennt und isoliert werden können.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, dass der Kabelendverschluss als eine Isolatorensäule des Tren-

ners ausgebildet wird, wodurch Platz und Isolatoren gespart werden.

Zum Schlusse sei noch dem Gedanken Ausdruck verliehen, dass mit der Verkabelung der Sammelschiene der erste Schritt zur gekapselten Höchstspannungsanlage gemacht würde. Wenn man sich diese ganze Frage richtig überlegt, so kommt man zum Schluss, dass für Höchstspannungsanlagen die gekap-

welchem das Kabel durch Einführung eines Messbeleges nahe dem Bleimantel als kapazitiver Spannungswandler gebraucht wird, aus dem zusammen mit einem Korrekturglied bedeutende Leistungen mit grösster Klassengenauigkeit herausgeholt werden können. Zusammen mit dem Kabelstromwandler entsteht dadurch eine Messgruppe, die um so vorteilhafter im Preis ist, je höher die Spannung ist. Diese Anordnung ist in ver-

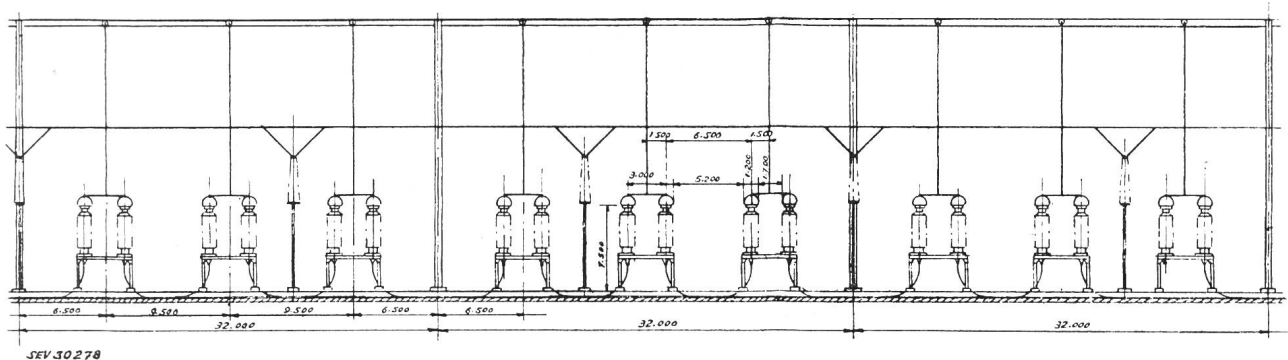


Fig. 14

Schnitt, die 380-kV-Kabel-Sammelschiene zeigend

selten Anlagen sehr interessant werden, da dadurch enorm an Platz gespart wird und ermöglicht würde, solche Anlagen auch in der unmittelbaren Nähe, eventuell sogar in den Aussenquartieren von Städten zu bauen. Bei den hohen Kosten für die heutigen Apparate-Typen für diese Spannungen dürften die Kosten der gekapselten Ausführung kaum prohibitiv werden. Teilweise sind die Apparate-Typen der gekapselten Anlage sogar billiger als die normalen heute zur Verfügung stehenden. Zum Beispiel ist ein Kabelstromwandler sehr viel billiger als ein gewöhnlicher Wandler, indem praktisch keine Isolation gebraucht wird. Als weitere Entwicklung aus der verkabelten Sammelschiene ist auch der Kabelspannungswandler hervorgegangen, bei

schiedenen Ländern patentiert oder zum Patent angemeldet und wurde schon wiederholt ausgeführt.

Wenn für die Sammelschienen im vorliegenden Fall Ölkabel gewählt wurden, so deshalb, weil in jenem Zeitpunkt (1952) die Ölkabel eben die einzige Möglichkeit boten, den Bau der Anlage in der vorgesehenen Ausführung zu realisieren. Es ist aber nicht unmöglich, dass binnen kürzerer Zeit andere, z. B. synthetische Isoliermaterialien zur Verfügung stehen, die noch vorteilhaftere Lösungen gestatten; solche Ausführungen sind unseres Wissens bereits im Gange.

Adresse des Autors:

H. Schüller, a. Vizedirektor der «Motor-Columbus» AG für elektrische Unternehmungen, Baden (AG).

## A. M. AMPÈRE

1775 — 1836

Am 10. Juni 1836 starb in Marseille André Marie Ampère. Der am 22. Januar 1775 in Poleymieux bei Lyon Geborene wuchs auf dem Lande auf, erhielt vom Vater Unterricht in Latein und vom Dorfpfarrer in höherer Mathematik. Als André 18jährig war wurde sein Vater von Jakobinern ermordet, die ihn für einen Aristokraten gehalten hatten. Während der Revolutionsjahre irrte Ampère ziellos umher und huldigte Rousseaus Lehren. Erst 1801 beruhigte er sich, wurde Mathematik-Professor in Lyon. Eine Arbeit über Wahrscheinlichkeitsrechnung machte ihn bekannt, was ihm 1805 die Berufung an die Ecole polytechnique in Paris eintrug. 1814 wurde er Akademie-Mitglied und 1820 lehrte er Physik am Collège de France.

Ampère wiederholte 1820 die Versuche von Oersted, bei denen dieser im Winter 1819/1820 den Elektromagnetismus entdeckt hatte. Wie vor ihm Coulomb für die Elektrostatik, so gelangen ihm die präzisen Formulierungen für die Elektrodynamik. Er folgerte auch richtig, dass wenn Ströme auf Magnete einwirken, dass dann auch Magnete auf Ströme bzw. Ströme auf Ströme wirken müssen. Ampère experimentierte mit Spulen aus vielen Drahtwindungen, formulierte Theorien über den Magnetismus und unterschied als erster klar zwischen Spannung und Strom. Er erkannte auch das Wesen des elektrischen Widerstandes, dessen Gesetze dann Ohm herauschälte.

Zu Ehren André Marie Ampères heisst die Einheit der elektrischen Stromstärke Ampère.

H. W.

