

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 60 (1969)  
**Heft:** 26

**Artikel:** Umstellung auf 400-kV-Betriebsspannung im Leitungsnetz der ATEL  
**Autor:** Affolter, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-916207>

### **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:** 18.03.2025

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

# BULLETIN

DES SCHWEIZERISCHEN ELEKTROTECHNISCHEN VEREINS

Gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV)  
und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)

## Umstellung auf 400-kV-Betriebsspannung im Leitungsnetz der ATEL

Von A. Affolter, Olten  
498-500

621.311.1:621.3.027.84

Dem Ausbau ihres Höchstspannungsnetzes hat die Aare-Tessin AG (Atel) von jeher volle Aufmerksamkeit geschenkt und als erste schweizerische Gesellschaft beim Bau der grossen Freileitungen die Tragwerke für die heute in Westeuropa gebräuchliche, höchste Betriebsspannung von 400 kV vorgesehen. Aus den historischen Gegebenheiten und aus der besonderen Struktur der Unternehmung entwickelte sich insbesondere eine Verbindungsachse Nord-Süd, mit den Knotenpunkten Laufenburg-Gösgen-Mettlen-Tessin (Airolo

und Lavorgo)-Italien, zum Rückgrat des Atel-Höchstspannungsnetzes. Damit waren nicht nur die eigenen und die Partner-Anlagen südseits der Alpen mit den Kraftwerken an Aare und Rhein verbunden, sondern es konnte auch der wichtige Energieaustausch über die Landesgrenzen hinaus wesentlich gesteigert werden.

Die hauptsächlichsten Bauetappen in diesem Leitungszug, Beiträge der Atel für das kommende 400-kV-Verbundsystem, seien hier kurz erwähnt:

	Baujahr
Gotthardleitung	1932/33
Lukmanierleitung	1948/49
Leitung Amsteg-Mettlen	1948/49
Leitung Lavorgo-Riazzino	1951/52
Partnerleitung Mettlen-Gösgen	1958/59
Partnerleitung Gösgen-Laufenburg	1961/62

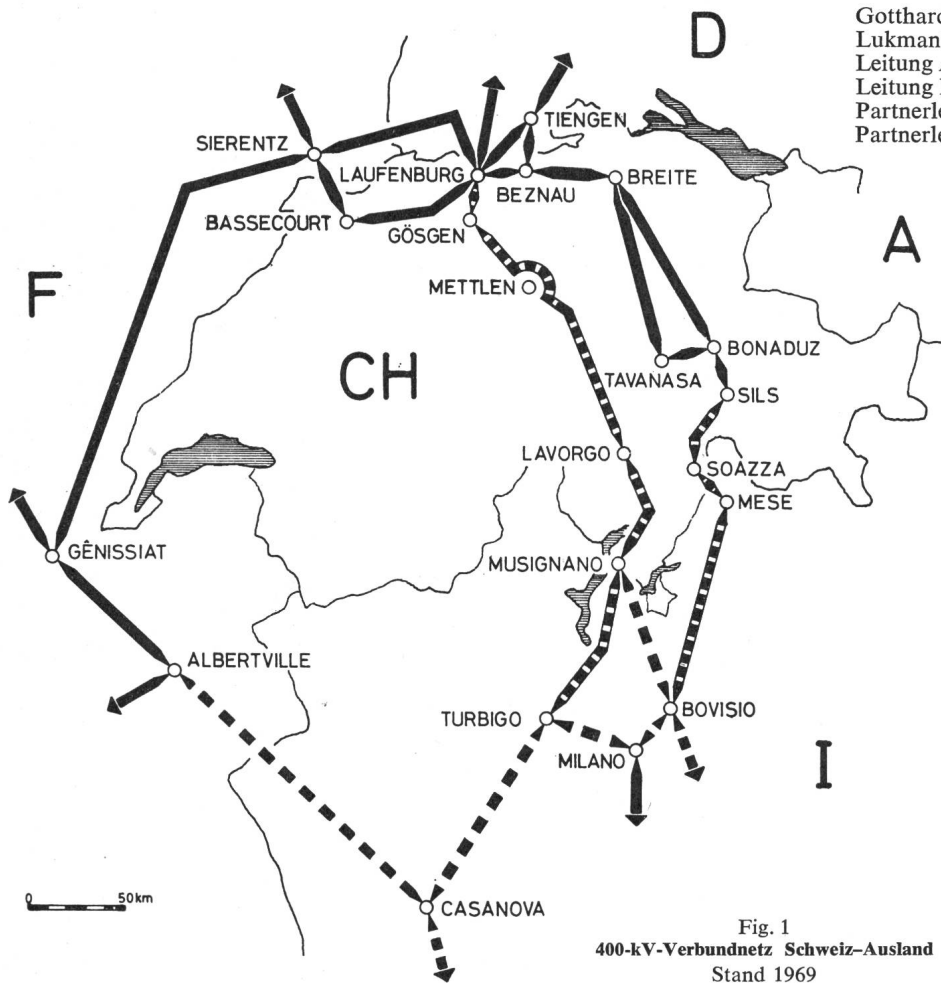


Fig. 1  
400-kV-Verbundnetz Schweiz-Ausland  
Stand 1969

— in Betrieb  
- - - in nächster Zeit betriebsbereit  
· · · · · projiziert

Alle erwähnten Teilstrecken stehen heute mit 220 kV im Betrieb; sie sind aber bereits für einen Übergang auf 400 kV ausgerüstet, das heisst, dementsprechend isoliert. Sie können, sobald die dazu erforderlichen Schalt- und Transformatoren-Anlagen erstellt sind, auf das höhere Spannungsniveau umgeschaltet werden.

Bisher durchgeführte energiewirtschaftliche Untersuchungen und Bau-studien, ergänzt durch Versuche an einem analogen Netzmodell, führten zum Beschluss, einen Strang des Leitungszuges Laufenburg-Gösgen-Lavorgo-Italien auf 400 kV umzustellen und zudem in Lavorgo und Gösgen noch je eine Transformatorengruppe 400/220 kV zu installieren, die der Kuppelung des bestehenden 220-kV-Netzes mit dem neuen 400-kV-Leitungszug dienen und damit zu wichtigen Gliedern im Gesamt-Verbundbetrieb verschiedener Gesellschaften werden.

Die Kartenskizze in Fig. 1 zeigt die geographische Lage des 400-kV-Verbundnetzes Schweiz-Ausland und

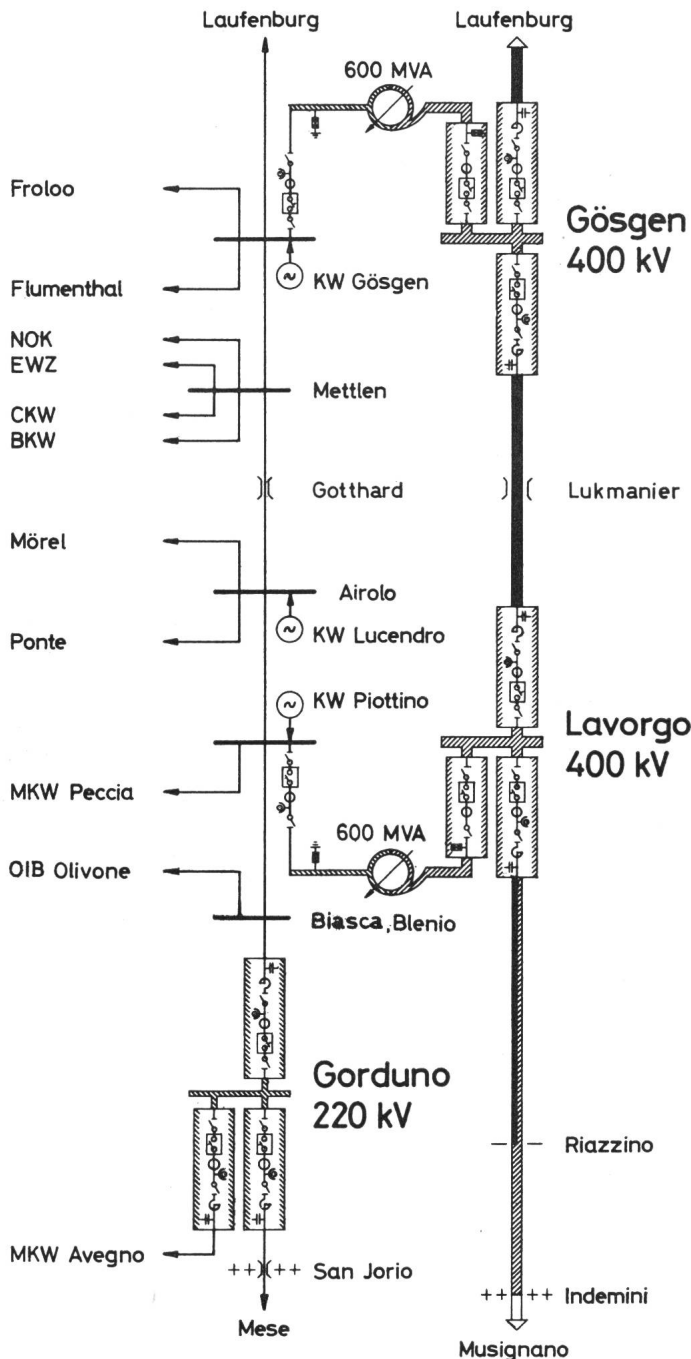


Fig. 2  
 Übersichtsschema des ATEL-Netzes 400/220 kV  
 ■ Neuerstellung 400 kV  
 ▨ Nachzug-Bündelleiter  
 ▩ Neuerstellung 220 kV

lässt erkennen, wie durch die beschriebene Nord-Süd-Verbindung sowie die ebenfalls in Vorbereitung stehende Betriebsspannungserhöhung der Leitung Soazza-Italien ein 400-kV-Leitungsring Gösgen-Lavorgo-Italien-Soazza-Sils-Breite-Laufenburg-Gösgen entsteht, der die Übertragungskapazität und die Sicherheit der Energieversorgung über das Höchstspannungsnetz für alle am Verbundbetrieb Beteiligten wesentlich erhöht.

Es ist vorgesehen, bereits auf den Herbst 1969 einen Teilbetrieb mit 400 kV ab Lavorgo nach dem Süden vorzubereiten. Der durchgehende 400-kV-Betrieb auf dem gesamten Leitungszug von ca. 228 km Länge ist bis zum Frühjahr 1970 zu bewerkstelligen.

Obschon die einzelnen, älteren Leitungsabschnitte wie auch die in den vergangenen zehn Jahren neu erstellten Leitungen Gösgen-Mettlen und Laufenburg-Gösgen für eine Nennspannung von 400 kV gebaut und isoliert sind, bedingt ein Übergang von 220-kV- auf 400-kV-Betriebsspannung doch noch einen recht beachtlichen Ausbau der bestehenden Schaltanlagen, bzw. den Neubau von Anlagen. Aus dem Übersichtsschema in Fig. 2 ist ersichtlich, welchen Umfang diese Bauvorhaben erreichen, nämlich:

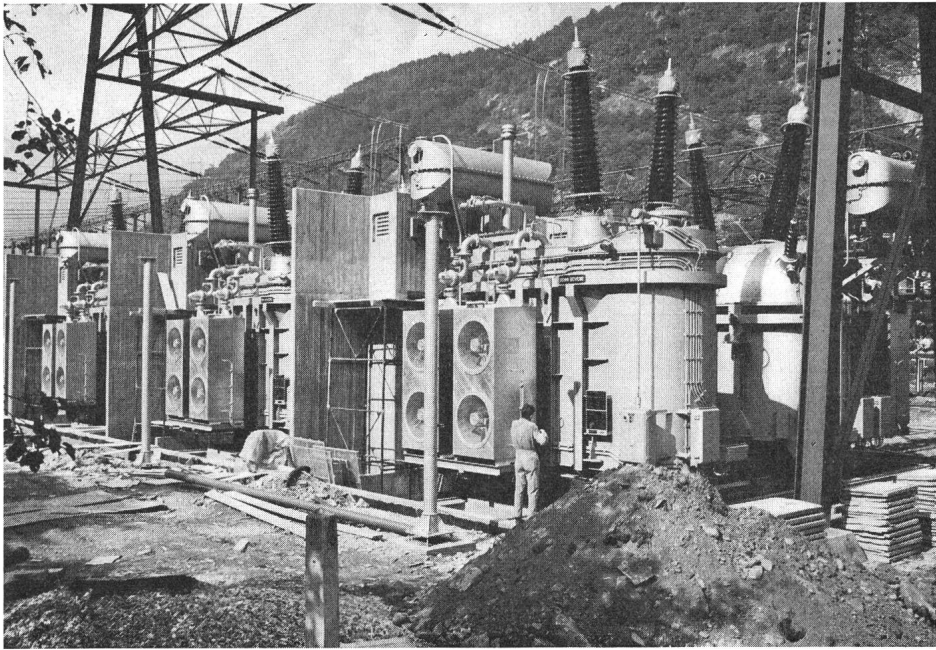
- Neubau einer einsträngigen 400-kV-Leitung Riazzino—Indemini (schweizerische-italienische Landesgrenze), Länge ca. 13 km.
- Auflegen von Zweierbündeln auf der Leitung Lavorgo—Riazzino, Länge ca. 42 km.
- Bau einer neuen 220-kV-Schaltanlage Gorduno, mit drei Leitungs-Schaltfeldern für den Anschluss der Jorio-Leitung (Mese) an den «220-kV-Maggiaring».
- Einbau einer 400/220-kV-Transformatorgruppe 600 MVA in der bestehenden Anlage Lavorgo, sowie Erstellung von zwei 400-kV-Leitungsschaltfeldern und von einem 400-kV-Transformator-schaltfeld.
- Durchschaltung des neuen 400-kV-Stranges in Mettlen neben der bestehenden 220-kV-Partneranlage.
- Neubau einer 400-kV-Anlage in Gösgen, bestehend aus einer 400/220-kV-Transformatorgruppe 600 MVA, sowie aus zwei 400-kV-Leitungsschaltfeldern und einem 400-kV-Transformator-schaltfeld.

Zudem wird in Laufenburg aufgrund von vertraglichen Rechten ein 400-kV-Schalt- und Messfeld durch die Elektrizitätsgesellschaft Laufenburg für den Anschluss des 400-kV-Stranges Laufenburg-Gösgen bereitgestellt.

Den vorstehend kurz geschilderten Bauvorhaben, deren Projektierung die Atel der ihr nahe stehenden Motor-Columbus, Ingenieur-Unternehmung AG in Baden übertragen hat und deren Durchführung auch den eigenen technischen Abteilungen interessante Aufgaben zu lösen gibt, sind sehr kurze Bauzeiten zugemessen. Eine gute Koordination in der Bearbeitung der verschiedenen Sachgebiete drängte sich daher schon aus Zeitgründen auf und gewährleistet die termin-gerechte Bereitstellung des gesamten erforderlichen 400-kV-Materials, wie Transformatoren, Leistungsschalter, Trennschalter und Messwandler. Verständlicherweise fiel dabei eine entscheidende Bedeutung der Wahl des Fabrikates für die 400/220-kV-Transformatoren zu, da diese wertmässig den wesentlichsten Teil der Gesamtkosten ausmachen.

Wie bereits erwähnt, kommen als markanteste Objekte sowohl in der Anlage Lavorgo als auch in Gösgen je eine 600-MVA-Dreiphasen-Transformatorgruppe zur Aufstellung (Fig. 3). Diese grossen Transformatoren sind noch dauernd um 10 % überlastbar, ohne dass dabei eine schädliche Mehrerwärmung in Kauf genommen werden muss. Für die Dauer einer Stunde ist die Gruppe sogar um 30 % überlastbar und während zwei Stunden sind 25 % zulässig.

Das feste Übersetzungsverhältnis der Transformatoren beträgt 400/242/16 kV, Schaltung Stern-Auto/Dreieck, dem noch ein Regulierbereich von  $\pm 11 \times 3,867$  kV ( $\pm 43$  kV) zugeordnet ist. Es bilden also drei Einphasentransformatoren von je 200 MVA Durchgangsleistung zusammen die 600-MVA-Drehstromgruppe, wobei pro Phase der Hauptpol (mit fester Übersetzung) und der Regulierpol in separaten Ölkasten stehen. Haupt- und Regulierpol werden wahlweise so zusammengeschaltet, dass im Betrieb je nach Bedürfnis eine Längs- oder Schrägregelung ( $\pm 60$  Grad Zusatzspannung) gewonnen wird. Die 16-kV-Tertiärwicklung des Hauptpols speist hierbei die 16-kV-Erregerwicklung des Regulierpols in



**Fig. 3**  
**Montagebild einer 600-MVA-Transformator-**  
**gruppe 400/220 kV in Lavorgo**  
 Vorn die Regulierpole für  $3 \times 200$ -MVA-  
 Durchgangsleistung mit Luft-Ölkühlern und  
 aufgebauten Ölumlwälzpumpen

Prüfspannungen für einen Haupt-  
 pol:

a) Eigenspannung bei 250 Hz wäh-  
 rend 24 s 680 kV, zwischen Oberspan-  
 nungs-Netzanschluss und Erde (als Er-  
 satz für eine nicht durchführbare  
 Fremdspannungsprüfung bei abgestufter  
 Wicklungsisolation).

b) Fremdspannung bei 50 Hz wäh-  
 rend 1 min 140 kV, Oberspannungs- und  
 Mittelspannungswicklung zusammen ge-  
 gen geerdete Tertiärwicklung und Ei-  
 sengestell (Prüfung der Nullpunktisolation).

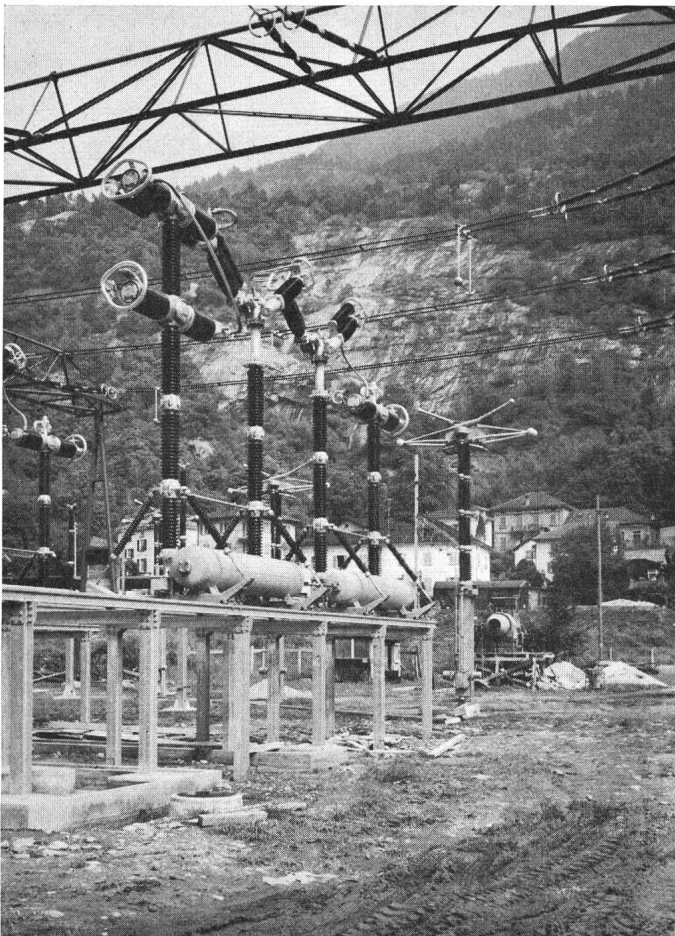
c) Stosshaltespannungen (Scheitel-  
 werte):

1550 kV Oberspannungs-Netzanschluss  
 1050 kV Mittelspannungs-Netzanschluss  
 125 kV Unterspannungs-Anschlüsse

Prüfspannungen für einen Regulierpol (mit Isolationsstu-  
 fe 300 kV auf der 220-kV-Seite und 24 kV für die Erreger-  
 wicklung):

passender Anschließung. Bei spannungsloser Transformator-  
 reingruppe wird die gewünschte Dreieck-Umschaltung am  
 Regulierpol durch einfache Druckknopfbedätigung automa-  
 tisch vollzogen.

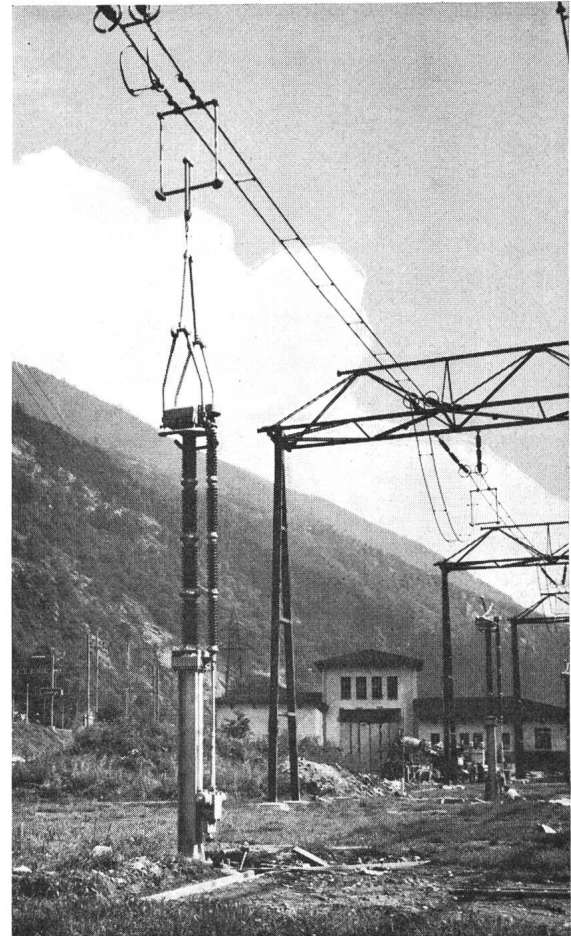
Von den wichtigsten technischen Daten der Transformatoren  
 seien noch die folgenden mitgeteilt.



**Fig. 4**

**Montagebild eines Pols einer 400-kV-Druckluftschaltergruppe**

Pro Pol sechs Löschkammern (+Anordnung) und vier Trennkammern  
 (V-Anordnung) in Serie geschaltet; rechts: ein Pantographen-Trenner,  
 400 kV, in Offen-Stellung



**Fig. 5**

**Montagebild eines Pantographen-Trenners für 400 kV mit Druckluftantrieb**  
 von 25 atü

Oben: ein Teilstück der Sammelschiene  $2 \times 550$  mm<sup>2</sup> Aldrey  
 (Ausbaubar auf  $4 \times 550$  mm<sup>2</sup> Ad)

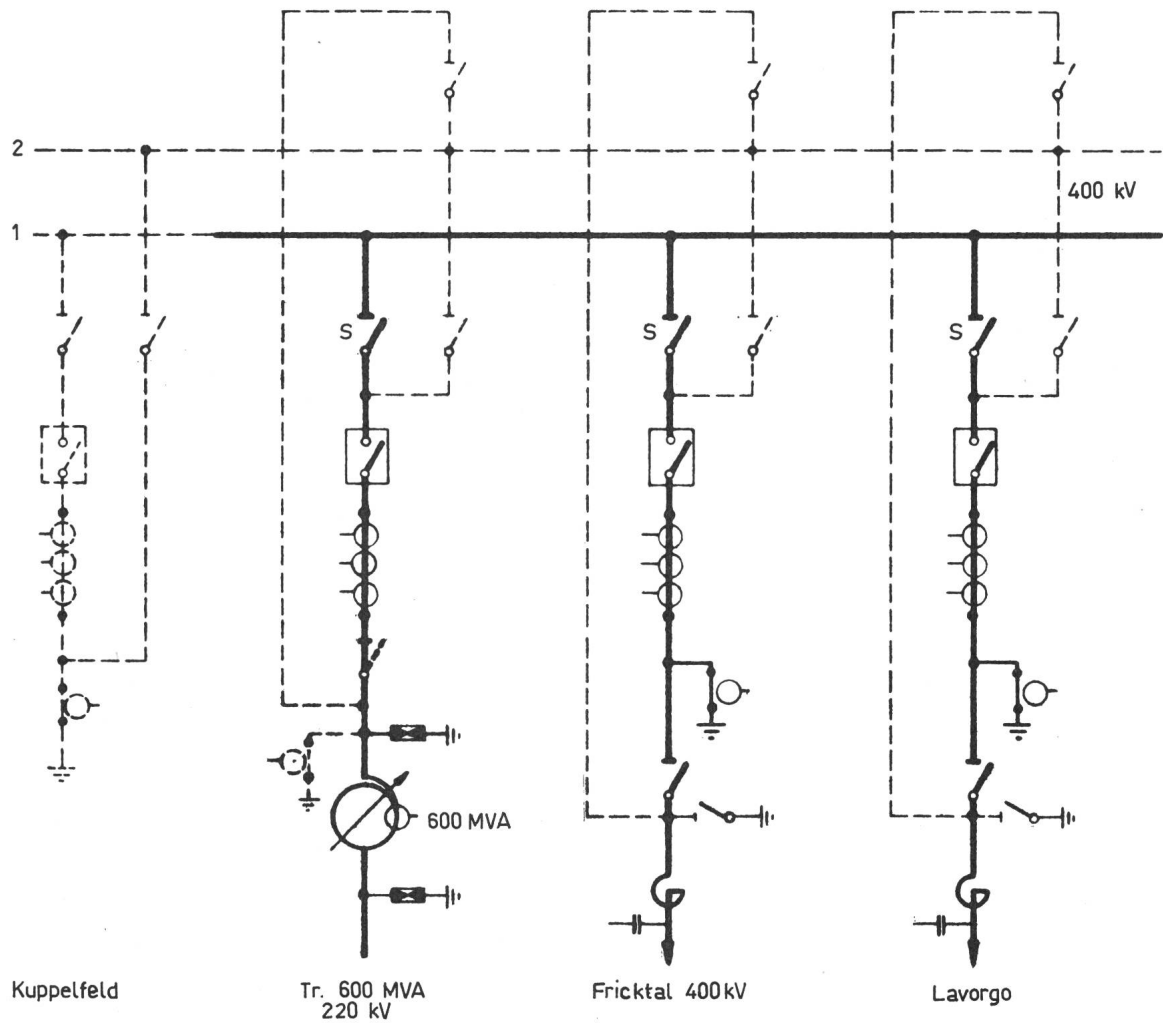


Fig. 6  
Prinzipschema der 400-kV-Schaltanlage Gösgen  
 ————— Erstausbau  
 - - - - - Weiterausbau  
 S Scherentrenner

- a) Fremdspannungen bei 50 Hz während 1 min:  
 460 kV (220-kV-Seite)  
 50 kV (16-kV-Seite)  
 b) Stosshaltspannungen (Scheitelwerte):  
 1050 kV (220-kV-Seite)  
 125 kV (16-kV-Seite)

Diese Angaben zeigen, dass das Isolationsniveau für diese Gross-Transformatoren relativ hoch gewählt worden ist. Es handelt sich dabei aber um so betriebswichtige Objekte und grosse Anlagewerte, dass der Festlegung ihrer technischen Daten grösste Bedeutung zukommt. Es soll hier daran erinnert werden, dass ausserordentlich hohe Stossbeanspruchungen der Wicklungsisolierungen bei atmosphärischen Störungen, d. h. bei stromstärksten Blitzeinschlägen an exponierten Punkten des Netzes, tatsächlich auftreten könnten; auch die möglichen hohen Schalt-Überspannungen sind zu beachten. Verständlicherweise werden daher diese wertvollsten Objekte mit geeigneten Überspannungs-Ableitern, die wesentlich tiefer liegende Ansprechwerte aufweisen, geschützt. Zudem wird die örtliche Disposition der Ableiter so getroffen, dass sie auch die übrigen Teile der Schaltanlage in einem gewissen Umfange zu schützen vermögen.

Im Verlaufe der ersten Jahreshälfte 1969 ist in den Werkstätten der Lieferfirma eine komplette Transformatorengruppe (Lavorgo) bereits den ordentlichen Abnahmeprüfungen

unterstellt worden. Die Ergebnisse dieser Versuche, welche von der Materialprüfanstalt des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) ausgeführt wurden, bestätigen, dass im speziellen die obigen Garantiewerte gewährleistet sind.

Eine zweite wichtige Auswahl betraf die 400-kV-Leistungsschalter. Nach den langjährigen Betriebserfahrungen mit Druckluftschaltern und vor allem aufgrund von physikalischen Überlegungen gab die Atel für den Bau der 400-kV-Anlagen Gösgen und Lavorgo der neuesten Druckluftschalter-Konstruktion (getrennte Lösch- und Trennkammern) den Vorzug. Die dreipolige Druckluftschaltergruppe arbeitet mit einem Betriebsdruck von 150/26 atü; sie ist gebaut für 2000 A Nennstrom und 30 000 MVA symmetrische Ausschaltleistung bei einer Netzspannung von 420 kV (Fig. 4). Pro Phase besitzt der Schalter sechs Lösch- und vier Trennkammern. Auch die erforderlichen 400-kV-Trennschalter (Fig. 5) sowie die 400-kV-Stromwandler (Ringwickel-Typ) sind für 2000 A Nennstrom dimensioniert. Das Schaltermaterial und die Stromwandler, isoliert für eine dauernd zulässige Betriebsspannung von 420 kV, weisen das genormte, reduzierte Isolationsniveau [Prüfspannung 630 kV, 50 Hz, 1 min, Stoss 1,2|50, 1425 kV (Scheitelwert)] auf.

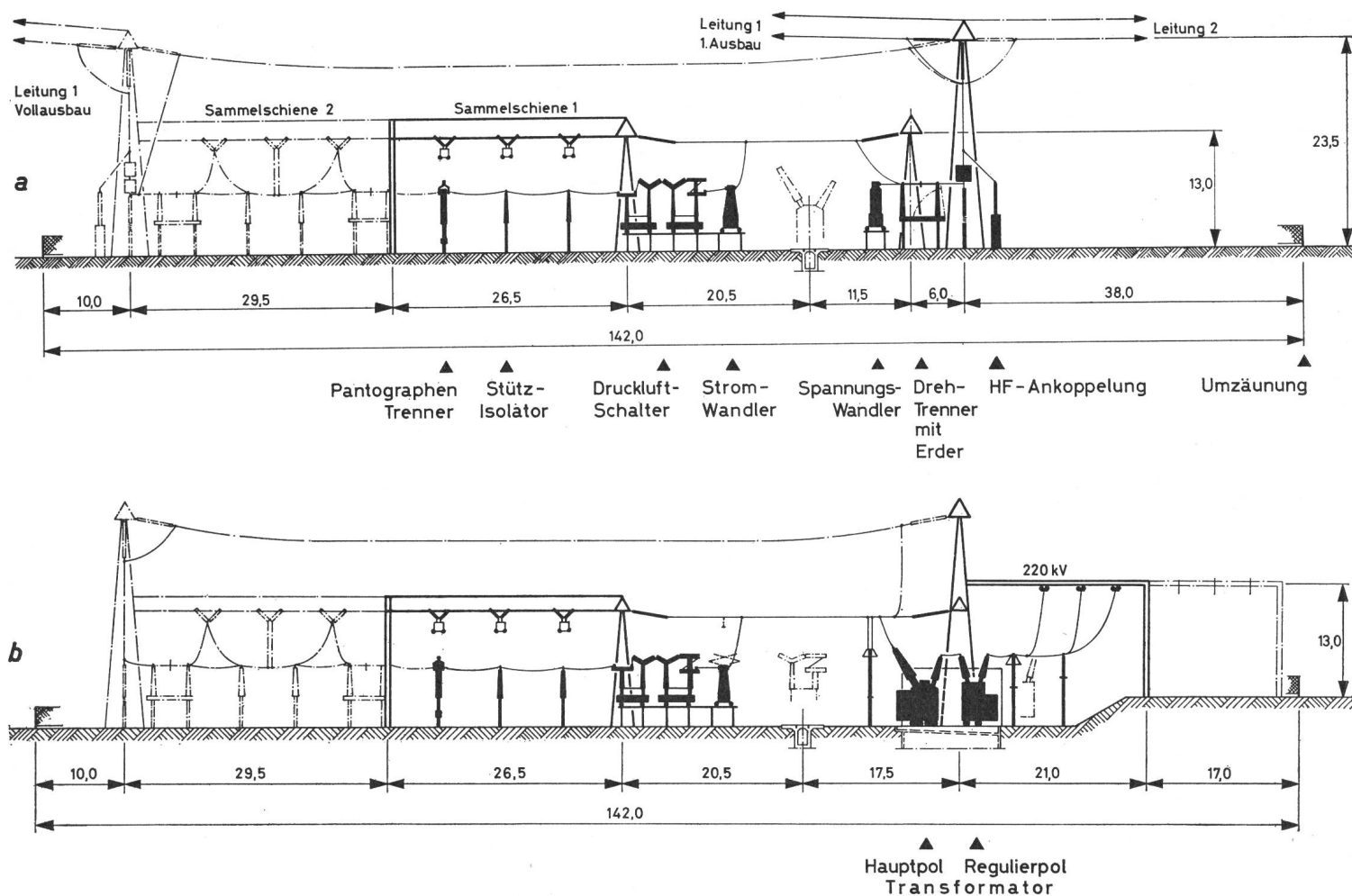


Fig. 7  
Disposition der 400-kV-Schaltfelder  
a Schnitt eines Leitungsfeldes 400 kV; b Schnitt eines Transformatorfeldes 400/220 kV

Hingegen wurden für die 400-kV-Spannungswandler (Stabkern-Typ), die zunächst dem Leitungseingang aufgestellt werden, die gleichen Prüfspannungswerte wie für die Transformatoren, also volle Isolation [680 kV, 50 Hz, 1 min, Stoss 1,2|50, 1550 kV (Scheitelwert)], verlangt. Die dauernd zulässige Betriebsspannung beträgt für diese Spannungswandler 450 kV.

Für den Überlast- und Kurzschlusschutz der beiden neuen 400-kV-Anlagen Lavorgo und Gösgen kommen selbstverständlich nur die derzeit besten elektrischen Schutzeinrichtungen zum Einbau, so neben dem modernen Sammelschienschutz ein hochempfindlicher Differentialschutz für die Transformatorgruppen und der Einperiodenschutz für die Freileitungen. In beiden Anlagen erfolgt die Speisung des Eigenbedarfs, d. h. aller Hilfsdienste, von je zwei, von einander unabhängigen Stromquellen (Gösgen: KW-Gösgen 8 kV und Atel-Netz 16 kV; Lavorgo: KW-Piottino und Fremdstromanschluss KW-Ticinetto).

Das prinzipielle Schaltungsschema, welches sowohl in Gösgen als auch in Lavorgo Anwendung findet, zeigt Fig. 6. Als bemerkenswert zu dieser Schemakonzeption darf er-

wähnt werden, dass bei Ausbau einer zweiten Sammelschiene auf einfachste Weise eine Durchschaltung der Freileitungen möglich wird und dadurch die zugehörigen Schalt- und Messfelder für Revisionszwecke oder bei Störungen weitgehend zugänglich sind.

Die grundsätzliche Anlagendisposition, wie in Fig. 7 dargestellt, entspricht dem Schema in Fig. 6. Auch hier ist bemerkenswert die bisherige, bewährte Aufstellung der Hochspannungsapparate, sowie die Anordnung der Hochgerüste, die einen beliebigen Leitungsabgang nach der einen oder anderen Anlagenseite erlaubt.

Zum Schluss sei noch erwähnt, dass alle Arbeiten, die sich aus dem Ausbau bzw. Neubau der Anlagen Lavorgo und Gösgen ergeben gut vorankommen, so dass die Fertigstellungs-Termine, Herbst 1969 für Lavorgo und Frühjahr 1970 für Gösgen und die ganze Leitungskombination, eingehalten werden können.

Adresse des Autors:

A. Affolter, Aare-Tessin AG für Elektrizität, 4600 Olten.