**Zeitschrift:** Wasser- und Energiewirtschaft = Cours d'eau et énergie
**Herausgeber:** Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
**Band:** 52 (1960)
**Heft:** 5-6

**Artikel:** Die Entwicklung von grossen Schaltanlagen
**Autor:** Casti, R.
**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-921744

**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:** 15.10.2025

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

# Die Entwicklung von großen Schaltanlagen

*R. Casti*, dipl. Ing., Baden

DK 621.316

Die Entwicklung der Schaltanlagen ist eng verbunden mit der allgemeinen Verbreitung der elektrischen Energie. Schon in den allerersten Elektrizitätswerken waren Schaltanlagen oder Schaltbretter, wie man sie damals nannte, vorhanden. Wie ihr Name zum Ausdruck bringt, waren dies meist Holzwände und später Marmorplatten, auf denen die Stromschienen und Schalter aufgesetzt waren. Sie dienten schon damals der Verteilung des Stromes an verschiedene Verbraucher, und einzelne Erzeuger konnten auf eine Sammelleitung «geschaltet» werden.

Mit der Zunahme der Leistung der Generatoren und dem Übergang zu höheren Spannungen entstanden aus den einfachen Schaltbrettern Anlagen mit getrennten, abgeschlossenen Zellen für die Apparate und berührungssicherer Anordnung der Hochspannungsleiter. Besonders rasch setzte dann die Entwicklung um die Jahrhundertwende ein, um noch vor dem ersten Weltkrieg von den bisherigen Innenraumanlagen zu den Freiluftschaltanlagen zu führen. Ebenso rasch nahm auch die angewendete Spannung zu, um von anfänglich einigen hundert Volt heute auf 420 kV zu gelangen. Die gleiche Steigerung erfuhr auch die installierte Leistung der Anlagen. Waren anfänglich einige Kilowatt zu «schalten», so beträgt heute die Leistung der in einer großen Schaltanlage zusammenfließenden Energie einige Hundert Megawatt.

Unter einer Schaltanlage versteht man ganz allgemein ein elektrisches Hochspannungs-Sammel- oder Verteilsystem, in welchem die einzelnen Energiezweige (Generatoren-, Transformatoren- und Leitungsanschlüsse) unter Belastung zu- und abgeschaltet werden können. Das Hauptelement hiezu sind die Leistungsschalter, während Trennschalter als Sicherheitsstrecken und Wandler für die Messung der Energie und der Speisung der Schutzeinrichtung dienen.

In der Ausführung unterscheidet man hauptsächlich zwischen den Innenraumanlagen und den Freiluftanlagen. Die Anlagen bis zum Jahre 1908 wurden ausschließlich als Innenanlagen erstellt. Man kannte die Anforderungen noch nicht, welche an das Material für Freiluftaufstellung gestellt werden müssen; zudem waren die angewandten Spannungen und Leistungen noch nicht so hoch, daß die mit der Innenanlage verbundenen Nachteile ins Gewicht fielen.

Nach dem Ersten Weltkrieg setzte dann aber die rasche Entwicklung der Freiluftanlagen ein. Betrug die Spannung anfänglich 45 kV, so stieg sie bald auf 110 kV und 150 kV. In der Schweiz blieb dann der weitere Ausbau eine zeitlang auf dieser Stufe stehen, um nach dem Zweiten Weltkrieg beschleunigt zu Anlagen für 220 kV zu gelangen, und heute stehen wir nicht mehr weit von der Inbetriebnahme der ersten schweizerischen 380-kV-Übertragung.

Nachstehend sollen chronologisch einige der wichtigsten Entwicklungsstufen und typische Anlagen kurz beschrieben werden, wobei besonders auf die Entwicklung in der Schweiz Rücksicht genommen wird.

Die Geburtsstunde der Entwicklung elektrischer Schaltanlagen fällt zusammen mit der Erfindung der selbsterregten Dynamomaschine im Jahre 1867 durch W. Siemens, welche zugleich den Anfang der Starkstromtechnik bildete. Das erste Kraftwerk wurde denn auch bereits im Jahre 1882 durch Edison in New York gebaut. In Europa enstand die erste Zentrale zur Speisung eines Teiles der öffentlichen Beleuchtung in Mailand. Anfänglich wurden Gleichstromgeneratoren verwendet, später gelang auch die Herstellung von Wechselstromgeneratoren, und schon vor der Jahrhundertwende entstanden im In- und Ausland eine größere Anzahl Elektrizitätswerke mit Wechselstromanlagen. Die Entwicklung ging bald dahin, Generatoren mit möglichst hoher Spannung zu bauen und die Abtransformierung beim Verbraucher vorzunehmen. Vorerst wurde Einphasen-Wechselstrom erzeugt, dessen Verwendbarkeit aber für motorische Zwecke beschränkt war. Erst mit der Einführung des Drehstromes wurde eine weitere Entwicklungsstufe eingeleitet. Als besonderer Markstein gilt die erste Energieübertragung auf einer Strecke von 175 km mit 15 000 V zwischen Lauffen am Neckar nach Frankfurt a. M. im Jahre 1891.

Die Schaltanlagen der Kraftwerke dieser Zeit waren einfach gebaut. Man verwendete zunächst, wie bei den Gleichstromanlagen, auch für Wechselstromanlagen, sogenannte «Schaltbretter», auf welche die stromleitenden Kupferschienen entweder direkt oder später mittels Isolatoren geschraubt waren. Ebenso waren die Schalter und Instrumente unmittelbar auf die Schalttafel montiert. In der Folge ging man dann aber dazu über, die spannungsführenden Teile berührungssicher auf der Rückseite der Tafel in einem besonderen Hochspannungsraum anzuordnen, und auf der Vorderseite waren noch die Instrumente und Hebel der Schalter sichtbar.

Das erste Kraftwerk, das nach diesen Grundsätzen in der Schweiz erstellt wurde, war dasjenige von Waldhalde im Kanton Zürich im Jahre 1895. Hier wurde hinter der Schalttafel, deren Front gegen den Maschinensaal gerichtet war, ein eigentlicher Hochspannungsraum angebaut. Darin waren außer den Sammelschienen auch die Schalter, Sicherungen und Blitzschutzapparate zu beiden Seiten eines Bedienungsganges angeordnet. Die Spannung betrug 5000 V. Der Boden war zum Schutze des Personals aus Isolationsmaterial hergestellt und einheitlich wurde anstelle von Holz nunmehr Marmor, Eisen und Porzellan als Konstruktionsmittel verwendet. Bereits wurde für jeden Generator und für jede Leitung ein Schalter pro Phase vorgesehen. Verwendung fanden Trockenschalter mit Messerkontakten zwischen federnden Zungen. Die Schaltgeschwindigkeit hing von der Raschheit der Betätigung der Handantriebe durch den Bedienenden ab. Der Überstromschutz wurde durch Schmelzsicherungen mit Schmelzdraht aus Zinn-Bleilegierung oder Kupfer gewährleistet. Ein besonders «wirksamer» Erdschluß-Schutz entstand dadurch, daß beim Herannahen eines Gewitters die einzelnen Freileitungen von Hand über Widerstände jeweils an Erde gelegt wurden.

In die gleiche Zeit fällt in verschiedenen Ländern der Zusammenschluß der Vertreter der Betriebe und

der Industrie, um in Fachvereinen Normen und Vorschriften über elektrische Anlagen aufzustellen. So wurde im Jahre 1889 der Schweizerische Elektrotechnische Verein (SEV) und im Jahre 1893 der Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) gegründet. Deren Wirken war für die Weiterentwicklung der elektrischen Schaltanlagen bedeutend.

Besonders der Zeitabschnitt zwischen der Jahrhundertwende und dem Ersten Weltkrieg war gekennzeichnet durch die Entwicklung der noch verhältnismäßig primitiven Installationen der neunziger Jahre zu modernen Anlagen. Die Auftransformierung der Spannung in den Kraftwerken leitete eine weitere Stufe ein. Mit zunehmender Leistung der Generatoren war es nicht mehr wirtschaftlich, die Energie mit der Maschinenspannung über eine Anzahl von Leitungen zu den Verbrauchern zu transportieren. Man ging vielmehr dazu über, die Generatoren auf eine Generatorschiene zu schalten und die Energie mit nur einigen wenigen Auftransformatoren auf die Übertragungsleitung zu übertragen. Bald genügte eine Sammelschiene für den Betrieb nicht mehr. Um zwei und mehr nach Spannungen oder gar Frequenzen getrennte Betriebe führen zu können, wurden sowohl auf der Generatorseite wie hochspannungsseitig mehrere Sammelschienen angeordnet.

Durch die Einführung von Sammelschienensystemen in Ringanordnung einerseits und durch die Blockschaltung zwischen Generator und Transformator anderseits suchte man den Betrieb entweder so zu unterteilen, daß bei Störungen nicht die ganze Anlage außer Spannung gesetzt wurde, oder daß durch Vereinfachung die Betriebssicherheit der zum Teil schon recht umfangreichen Installationen sich erhöhte.

Bild 1 Kraftwerk Gösgen, 50/70-kV-Sammelschienenraum; Projekt Motor-Columbus AG

Parallel mit der Entwicklung der Hochspannungsanlagen ging die Entwicklung für die Bedienung der Hochspannungsgeräte. Die Trockenschalter wurden durch Ölschalter mit ferngesteuerten Motorantrieben ersetzt, und auch die Trennschalter erhielten zum Teil recht komplizierte Antriebe und Signaleinrichtungen. Für die Steuerung und Rückmeldung wurde Gleichstrom von Akkumulatorenbatterien verwendet, was heute noch üblich ist. Man wurde unabhängig vom Wechselstromsystem und dessen Störungen.

Der Einbau von Meßwandlern, welche gestatteten, die Betriebswerte auf einer zentralen Meßtafel abzulesen, bedeutete einen weiteren großen Fortschritt. Einerseits gewann dadurch die Übersichtlichkeit der Anlagen, und zugleich verminderte sich die Gefährdung des Personals. Er erlaubte ferner erst die richtige Gestaltung der Kommandoräume als zentrale Bedienungs- und Überwachungsstelle.

Als Beispiel einer solchen Anlage, welche als Abschluß der bisherigen Entwicklung von Schaltanlagen für Innenräume bis zur Spannung von 110 kV wenigstens in der Schweiz zu betrachten ist, sei nachstehend diejenige des Kraftwerkes Gösgen der Aare-Tessin AG, Olten, etwas näher beschrieben.

Die in den Jahren 1913 bis 1917 erstellte Anlage nützt das Gefälle der Aare unterhalb Olten bis Niedergösgen aus. Es wurden sechs vertikalachsige Maschinengruppen von je 7000 kVA aufgestellt. Zwei Gruppen konnten mit zwei verschiedenen Drehzahlen betrieben werden, um den Parallellauf mit dem Kraftwerk Ruppoldingen mit 40 Hz und dem allgemeinen Versorgungsnetz mit 50 Hz gewährleisten zu können. Die übrigen vier Gruppen gestatteten nur, Energie mit 50 Hz abzugeben. Drei Transformatoren konnten mit 50 kV und drei weitere mit 70 kV betrieben werden. Außerdem bestand die Möglichkeit, diese letzteren für eine Betriebsspannung von 110 kV umzuschalten. Die Anlage ist jedoch hiefür nicht ausgebaut worden, weil inzwischen für höhere Spannungen die Entwicklung der Freiluftschaltanlagen einsetzte. Auch für das Kraftwerk Gösgen wurde eine Studie für eine Freiluftschaltanlage ausgearbeitet, leider stand aber das notwendige Material hiezu noch nicht zur Verfügung.

Die 8-kV-Generatoranlage war mit zwei Sammelschienen für den Anschluß der Hilfsbetriebe und der Regionalversorgung über einen Induktionsregler ausgerüstet. Es entspricht dies der damaligen Tendenz, sich möglichst viele Betriebsarten offenzuhalten; die gegenläufige Entwicklung zur Vereinfachung und zum Zusammenschalten der Netze setzte erst später ein. Als weiteres Merkmal ist aus Sicherheitsgründen der Schalterraum im Parterre vom Sammelschienenraum im ersten Stock getrennt, und ebenso waren für den Brandfall die einzelnen Transformatorräume durch Eisentüren abgeschlossen. Besonders zu erwähnen sind ferner die Verwendung von Ölschaltern mit Explosionsklappen, Drosselspulen zur Begrenzung des Abschaltstromes sowie eine Petersen-Löschspule im Erdschlußfall. Zum Erreichen eines gleichmäßigen Wasserdurchflusses auch bei Störungen bzw. Abschaltung der Generatoren erlaubten zwei Wasserwiderstände von je 12 000 kW die rasche Übernahme der Leistung. Ein neues mechanisch-elektrisches Rückmeldesystem der Trennschalterstellungen ermöglichte den Aufbau eines eigentlichen Blindschaltschemas im Kommandoraum mit

Fernbetätigung der Leistungsschalter mit Motorantrieben. Bild 1 zeigt eine Ansicht des 50/70-kV-Sammelschienen-Schaltraumes mit den Sammelschienen-Trennschaltern.

In die gleiche Zeit, in welcher die Innenraumanlagen bis zu Spannungen von etwa 100 kV erstellt und auf einen beachtlichen technischen Stand fortgeschritten waren, fällt der Beginn der Entwicklung der Freiluftschaltanlagen. Die erste Anlage entstand im Jahre 1908 in den Vereinigten Staaten. Der Aufbau lehnte sich noch stark an die Innenraumanlagen an. Die schweren Apparate, wie Schalter und Transformatoren, wurden am Boden aufgestellt, während sich die Sammelschienen und Trennschalter an schweren Gitterfachwerken übereinander anordneten. Anfänglich entstanden die Freiluftschaltanlagen für Spannungen von 20 kV bis 110 kV. Bald aber zeigte es sich, daß bis zu 50 kV Innenraumanlagen wirtschaftlicher sind und erst bei höheren Spannungen der Vorteil der Freiluftaufstellung zur Geltung kommt. Diese Grenze gilt auch heute noch, wobei allerdings die örtlichen Verhältnisse von Fall zu Fall mit zu berücksichtigen sind. Die weitere Entwicklung konzentrierte sich in der Folge denn auch hauptsächlich auf die Verwendung von höheren Betriebsspannungen. Entscheidend war dabei der jeweilige Stand des Apparatebaues, vornehmlich der Schalter, Trennschalter und Wandlerkonstruktionen. In der Folge zeichneten sich auch spezielle Ausführungstypen von Anlagen aus, wobei die Entwicklung in Amerika und Europa verschieden verlief. In den Vereinigten Staaten wurden noch bis kurz vor dem Zweiten Weltkrieg Anlagen bis 287 kV mit Gitterfachwerkkonstruktion ausgerüstet. Entsprechend der übereinander angeordneten Lage von Schalter, Trennschalter und Sammelschienen bezeichnete man diesen Baustil als Hochbauform. So sind z. B. die Anlagen des Boulderdam-Werkes nach dieser Art erstellt und weisen Gerüsthöhen bis 35 m auf.

Bald erwies es sich jedoch, daß für Spannungen von 220 kV und darüber, die Hochbauform unwirtschaftlich ist. Es mußte versucht werden, die Traversen der großen Spannweiten einfacher und leichter und die Stützen niedriger zu gestalten. In Amerika verfiel man auf das extreme Gegenteil zur Hochbauform und projektierte Anlagen nach der Flachbauart. Die Apparate wurden nebeneinander auf einzelne Gerüste gestellt, und die elektrischen Verbindungen bestanden aus Kupferrohren, die an geeigneten Stellen durch auf den Boden abgestellte Stützen gehalten wurden. Die Sammelschienen waren nicht mehr horizontal an Traversen abgespannt, sondern ebenfalls auf Stützen montiert. Selbstverständlich benötigten diese Anlagen gegenüber den Hochbautypen wesentlich mehr Grundfläche. Spezieller Entwicklung bedurften die verschiedenen Verbindungs- und Dilatationsarmaturen, um die Temperaturausdehnung der Rohrleiter auszugleichen.

Im Anschluß an Studien über die Reduktion des Aufwandes für die Hochgerüstkonstruktion der amerikanischen Hochbauform ging speziell Deutschland nach dem ersten Weltkrieg auch zum Flachbaustil über. Die Apparate standen jedoch nicht mehr auf Gerüsten, sondern wurden auf niedrige Betonsockel gestellt und einzeln mit einer Umzäunung umgeben. Die Sammelschienen sind an besonderen Tragkonstruktionen horizontal abgespannt und alle Verbindungen bestehen aus

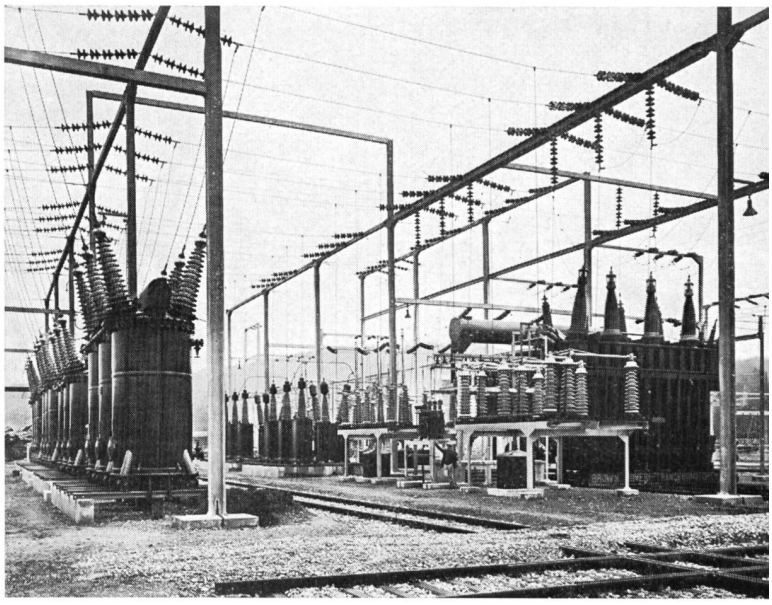


Bild 2 Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt, 110/135-kV-Schaltanlage; Projekt Motor-Columbus AG

Seil. Die Anlagen zeigten einen luftigen und übersichtlichen Aufbau, erforderten aber eine beträchtliche Grundfläche, welche dieser Ausführungsart oft hinderlich ist. Die weitere Entwicklung suchte denn auch nach einem Mittelweg zwischen den beiden beschriebenen Hauptformen. Es entstand in Amerika und Deutschland die sogenannte Halbhochbauform, welche bis heute der meistangewendete Typ ist. Die Apparate werden wieder auf Gerüste gestellt, wobei der Schalter und die Wandler oft gemeinsam auf einem solchen stehen und die Trennschalter auf anderen, separaten Gestellen befestigt sind. Für die Abspannungen der Leiter werden Hochgerüste erstellt, welche durch leichte Querträger miteinander verbunden sind. Ebenso werden die Sammelschienen an horizontalen Trägern abgespannt, wobei das Sammelschienengerüst mit dem sogenannten Mittelmast oft allein steht. Besondere Vorteile erfuhr diese Anlageart durch die Verwendung der ästhetisch schöneren Vollwandprofile anstelle von Gitterfachkonstruktionen.

Neben den bisher beschriebenen Hauptformen sind besonders in Deutschland noch weitere Ausführungen entwickelt worden. Die selbsttragende Bauform aus dem Jahre 1935 lehnte sich wieder an die amerikanischen Rohrleiteranlagen an. Für die Abstützungen wurden aber durchwegs die Apparate selbst verwendet, und die Sammelschienen stützen sich auf die Querverbindungen ab. Der Vorteil lag in der Einfachheit und dem Wegfall aller besonderen Stützer, der Nachteil in der konstruktiven Ausbildung. Im Jahre 1938 wurde von Siemens und zugleich in Italien die Kiellinienbauform herausgebracht. Sie entspricht dem halbhohen Baustil, nur sind die Sammelschienentrennschalter nicht quer zu den Sammelschienen, sondern längs zu diesen angeordnet. Deshalb auch der Name. Der Vorteil liegt einerseits in der Platzersparnis in der Querrichtung und anderseits betrieblich darin, daß einzelne Apparate wie Schalter, Trennschalter leicht außer Betrieb genommen und überbrückt werden können. Ferner wurden als weitere Varianten die T-Form mit an einem T-för-

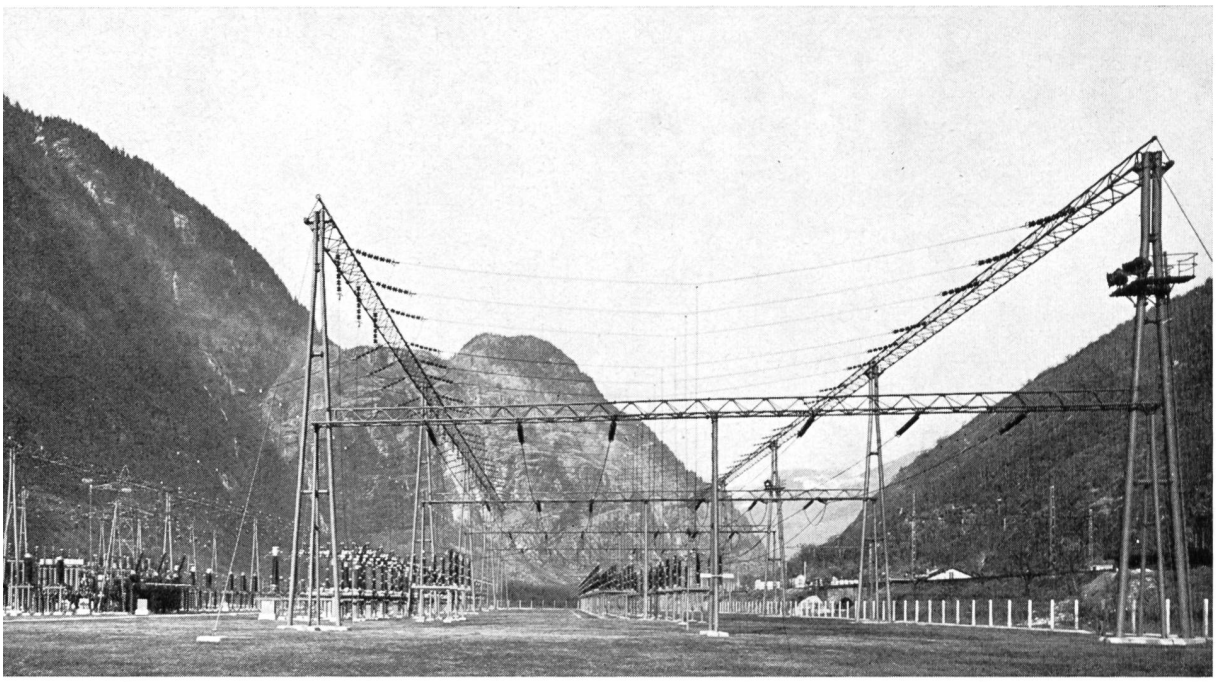


Bild 3 220/380-kV-Schaltanlage Lavorgo; Projekt Motor-Columbus AG (Photo ATEL)

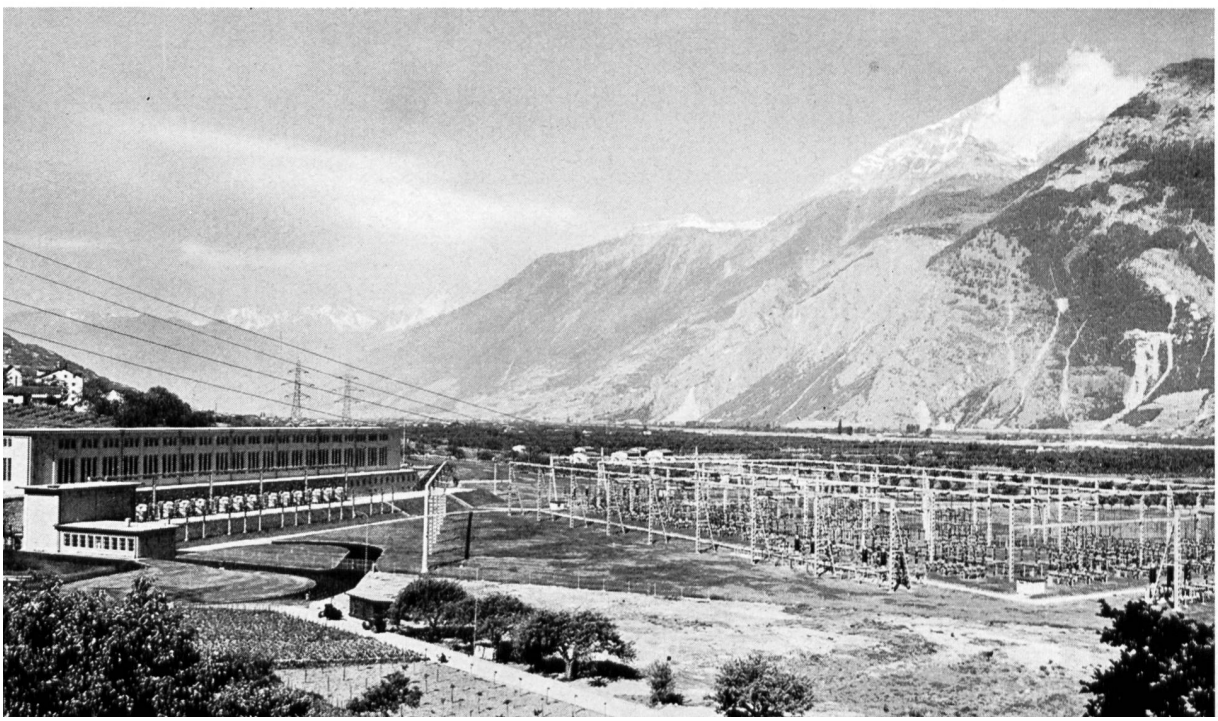
migen Hochgerüst abgespannten Sammelschienen und darüber am gleichen Gerüst montierten Trennschalter und die Tannenbaumform entwickelt. Die letztere entspricht der Kiellinienbauform mit Anordnung der Sammelschienentrenner nicht längs zu den Sammelschienen, sondern quer zu diesen und nach den Phasen gestaffelt.

In der Schweiz wurden die ersten Freiluftschaltanlagen in den Jahren 1922 und 1923 projektiert und erstellt. So sahen die SBB für das Unterwerk Sihlbrugg, das im Jahre 1923 in Betrieb genommen wurde, bereits die Freiluftaufstellung der Transformatoren und Apparate vor. Es diente der Speisung der neu elektrifizierten Strecke Zürich - Zug und transformierte die Energie von 66 kV auf die Fahrdrahtspannung von 15 kV herab. Zu gleicher Zeit wurden Projekte für Freiluftschaltanlagen der Allgemeinversorgung ausgearbeitet. Besonders die Bernischen Kraftwerke waren hier führend und untersuchten die Möglichkeiten zum Bau solcher Anlagen für unsere Verhältnisse. In der Ausführungsart lehnten sie sich noch stark an die amerikanischen Vorbilder der Hochbauform mit relativ schweren Gitterfachwerkkonstruktionen an. Als erste Anlage dieser Art kam diejenige von Mühleberg im Jahre 1922 in Betrieb.

Als eigentlicher Schaltanlagentypus entwickelte sich jedoch auch bei uns bald die aus Deutschland bekannte halbhohe Bauform heraus, die bis heute als die eigentliche Standardausführung gelten kann. Sie vereinigte in sich einerseits die Einfachheit und Übersichtlichkeit der Hochgerüstkonstruktionen und der Aufstellung der Apparate, und anderseits nahm sie doch Rücksicht auf die oft beschränkten Platzverhältnisse gegenüber der reinen Flachbauform. Besonders vorteilhaft konnte der Eindruck einer leichten und aufgelösten Anlage erreicht werden durch die Verwendung von Vollwandkonstruktionen aus zusammengeschweißten Profileisen für die Hochgerüste und der gleichen Profilarten mit kleineren Abmessungen für die Apparategerüste. Die Stützen der Hochgerüste wurden oftmals zur Gewichtseinsparung gespreizt.

Eine der größten Anlagen, die in den Jahren 1927 bis 1931 nach diesem System für maximale Betriebsspannungen von 125 kV und 150 kV in der Schweiz ge-

Bild 4 Kraftwerke Mauvoisin, Zentrale Riddes mit Freiluftschaltanlage; Projekt Elektro-Watt AG



baut wurde, war die Freiluftschaltanlage des Kraftwerkes Ryburg-Schwörstadt. Auf die allgemeine Beschreibung soll hier verzichtet werden. Hingegen sind einige Hinweise auf die spezielle Ausführung der Schaltanlage gegeben.

Das Kraftwerk Ryburg-Schwörstadt war eine der ersten größeren Partner-Anlagen der Schweiz. Dementsprechend hatten die Partner auch verschiedene Bezugsrechte für die Energie, und die Schaltanlage mußte so gestaltet werden, daß jeder seinen Anteil zu den ihm zusagenden Bedingungen übernehmen konnte. Jeder der vier Maschinengruppen von 32 500 kVA ist ein Vierwicklungstransformator zugeordnet, der die Leistung auf 45 kV, 110 kV und 135 kV transformiert. Für jede dieser Spannungen wurde ein eigener Schaltanlageteil erstellt, und von Anfang an sind Doppelsammelschienen zur Anpassung an die verschiedenen Betriebsverhältnisse vorgesehen worden. Die Sammelschienen sind zudem noch mit Trennschaltern unterteilt, um weitere Schaltmöglichkeiten zu wahren. Außerdem wurden auf der 110-kV- und 135-kV-Seite separate Regulier-sammelschienen installiert, an welche die Partner über Reguliertransformator angeschlossen werden können. Die vier Haupttransformatoren gestatteten zudem den Energieaustausch der drei Anlageteile. Wie aus dieser kurzen Beschreibung ersichtlich ist, vergrößerten die vielen Betriebsmöglichkeiten das Ausmaß der Anlage beträchtlich.

Die Freiluftschaltung allein nahm eine Grundfläche von rund 4 ha ein. Die Hochgerüste sind als geschweißte Vollwandkonstruktionen hergestellt und nach dem Metallspritzverfahren verzinkt. Später ging man in andern Anlagen auf die Feuerverzinkung über, welche einen dauerhafteren Rostschutz gewährleistet. Die Traversen, Stützen und Träger sind als Rahmenkonstruktionen angefertigt, was eine wesentliche Einsparung an Gewicht und die Verwendung von Normalprofilen erlaubt. Bild 2 zeigt eine Ansicht der 110/135-kV-Anlage mit den Ölkesselschaltern links des Bedienungsganges und den Sammelschienentrennern rechts davon angeordnet.

Schon zu Ende der zwanziger Jahre zeigte es sich, daß mit der Zunahme des Energieverbrauches und der bisher höchsten Spannung von 150 kV die Grenze der Übertragungsmöglichkeit erreicht war. Es entstanden verschiedene Projekte für 220-kV- und sogar 380-kV-Leitungen und Schaltanlagen, die allerdings noch mit 220 kV betrieben werden sollten. Die erste 220-kV-Übertragung in Europa ist bereits im Jahre 1929 in Deutschland zwischen den Kraftwerken des Vorarlbergs und dem Ruhrgebiet dem Betrieb übergeben worden. Ihr folgten 1932 die 220-kV-Übertragung in Frankreich vom Zentralmassiv nach Paris, und 1936 die erste 220-kV-Übertragung in Schweden. In den USA wurden 1923 die ersten Anlagen in Kalifornien für 220 kV und 1937 das Boulderdam-Werk für 287 kV erstellt.

Die erste 380-kV-Übertragung kam 1952 wiederum in Schweden zur Ausführung, gefolgt von der 400-kV-Leitung Kujbyschew - Moskau im Jahre 1953 in Rußland, den 380-kV-Übertragungen Hoheneck - Rommerskirchen 1957 in Deutschland und Génissiat - Paris 1958 in Frankreich.

Die Inbetriebnahme der ersten 220-kV-Übertragung in der Schweiz erfolgte im Jahre 1952. Sie stellte die

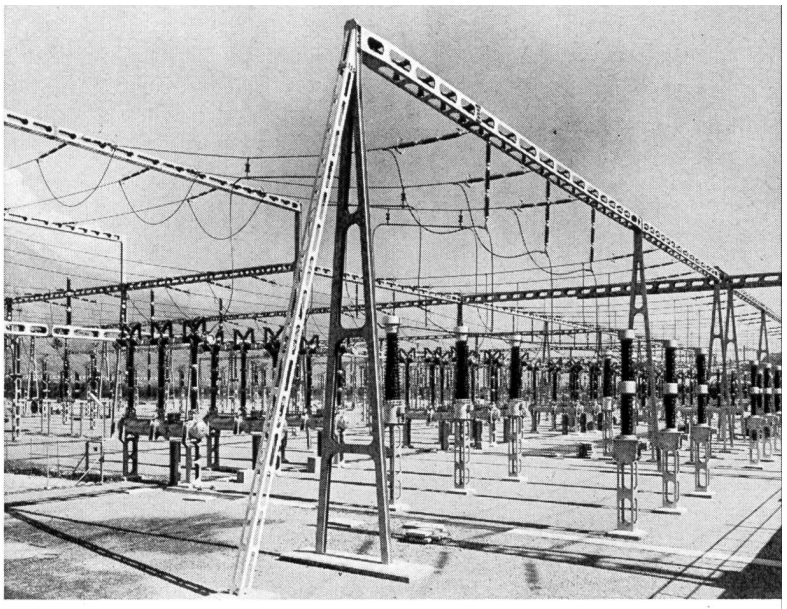


Bild 5 Freiluftschaltanlage Chamoson; Projekt S. A. l'Energie de l'Ouest-Suisse/EOS

Verbindung zwischen der Schaltanlage Mettlen der Gesellschaft für den gemeinsamen Bau und Betrieb der Station Mettlen und der Schaltanlage Lavorgo der Aare-Tessin AG, Olten, über die Lukmanierleitung her. Die Tragkonstruktionen dieser Leitung wurden wie diejenigen der 1932 gebauten Gotthardleitung bereits für 380 kV ausgelegt. Während der 220-kV-Teil der Anlage Mettlen in Anlehnung an die bereits bestehende 150-kV-Anlage mit Profileisenkonstruktion erstellt wurde, kam für die Anlage Lavorgo erstmals eine Rohrkonstruktion zur Ausführung, welche für Maste von Übertragungsleitungen mit Vorteil verschiedentlich Verwendung fand. Bild 3 zeigt eine Ansicht der Anlage. Der Aufbau entspricht der halbhohen Bauform mit Überspannung der Sammelschienen. Die Streben und Traversen bestehen aus zusammengeschweißten Rohren, die zur Erhöhung der Knickfestigkeit zum Teil ausbetoniert sind. Die Hochgerüste sind so dimensioniert, daß in einem Doppelfeld von 32 m Breite zwei 220-kV-Felder Platz finden. Später kann an deren Stelle ein 380-kV-Feld eingebaut werden. Die Rohrkonstruktionen erlauben, eine auffallend leichte Konstruktion zu erstellen und auch die Abmessungen für die Spannweiten und Höhen für 380 kV in mäßigen Grenzen zu halten.

In den Anlagen Lavorgo und Mettlen wurden ferner erstmalig allen Transformatoren Überspannungsableiter zugeordnet; in Mettlen war dies allerdings auf der Unterspannungsseite der langen 150-kV-Kabel wegen nicht notwendig. Für die Abspannungen, Abzweigungen und Verbindungen der Seile sind erstmals neue Klemmen unter besonderer Berücksichtigung der Glimmfreiheit entwickelt und besondere Schutzringe für die Abschirmung der Klemmen und Isolatoren verwendet worden.

Als zwei weitere Beispiele für neue 220-kV-Schaltanlagen in der Schweiz können diejenigen von Riddes der Kraftwerke Mauvoisin und Chamoson der SA l'Energie de l'Ouest Suisse erwähnt werden. In beiden wurden für die Hochgerüste neuartige, geschweißte Kastenträger verwendet. Bild 4 zeigt eine Gesamtansicht des Kraftwerkes und der Schaltanlage Riddes und Bild 5 eine Detailansicht der Schaltanlage Chamoson.

Wie schon seit geraumer Zeit für die 150-kV-Netze, ist für die erste 220-kV-Übertragung von Anfang an die starre Nullpunkterdung angewendet worden. Jeder Erdschluß bedeutet in diesem Fall einen einphasigen Kurzschluß, und dies erforderte die Einführung der

phasenweisen Schnellwiedereinschaltung mit Übertragung des Auslösebefehls über leitungsgerichtete Hochfrequenz.

Im Zuge des Ausbaues der Höchstspannungsübertragungsanlagen kam auch die Frage der Fernsteuerung von Schaltanlagen von einer zentralen Bedienungsstelle aus zur Diskussion. Kraftwerke mit rotierenden Maschinen, sofern es sich nicht um automatische Anlagen handelt, benötigen meist noch Bedienungspersonal, während Schaltanlagen gut fern zu bedienen sind. So wurde denn auch die Schaltanlage Lavorgo anfänglich über eine Direktsteuerung vom ungefähr 300 m entfernten Kraftwerk Piottino aus ferngesteuert.

Mit zunehmendem Energiebedarf zeigte es sich, daß man auch bei 220 kV bald an der oberen Grenze der Übertragungsfähigkeit angelangt war. Dies um so mehr, als der Sprung von 150 kV auf 220 kV nicht sehr groß war. Um jedoch nicht den Schritt zu 380 kV unmittelbar vornehmen zu müssen, wurde die Übertragungsfähigkeit einiger 220-kV-Leitungen und Anlagen durch die Installation von Bündelleitern in Zweierordnung erhöht. Dabei wurden die Dimensionen so gewählt, daß

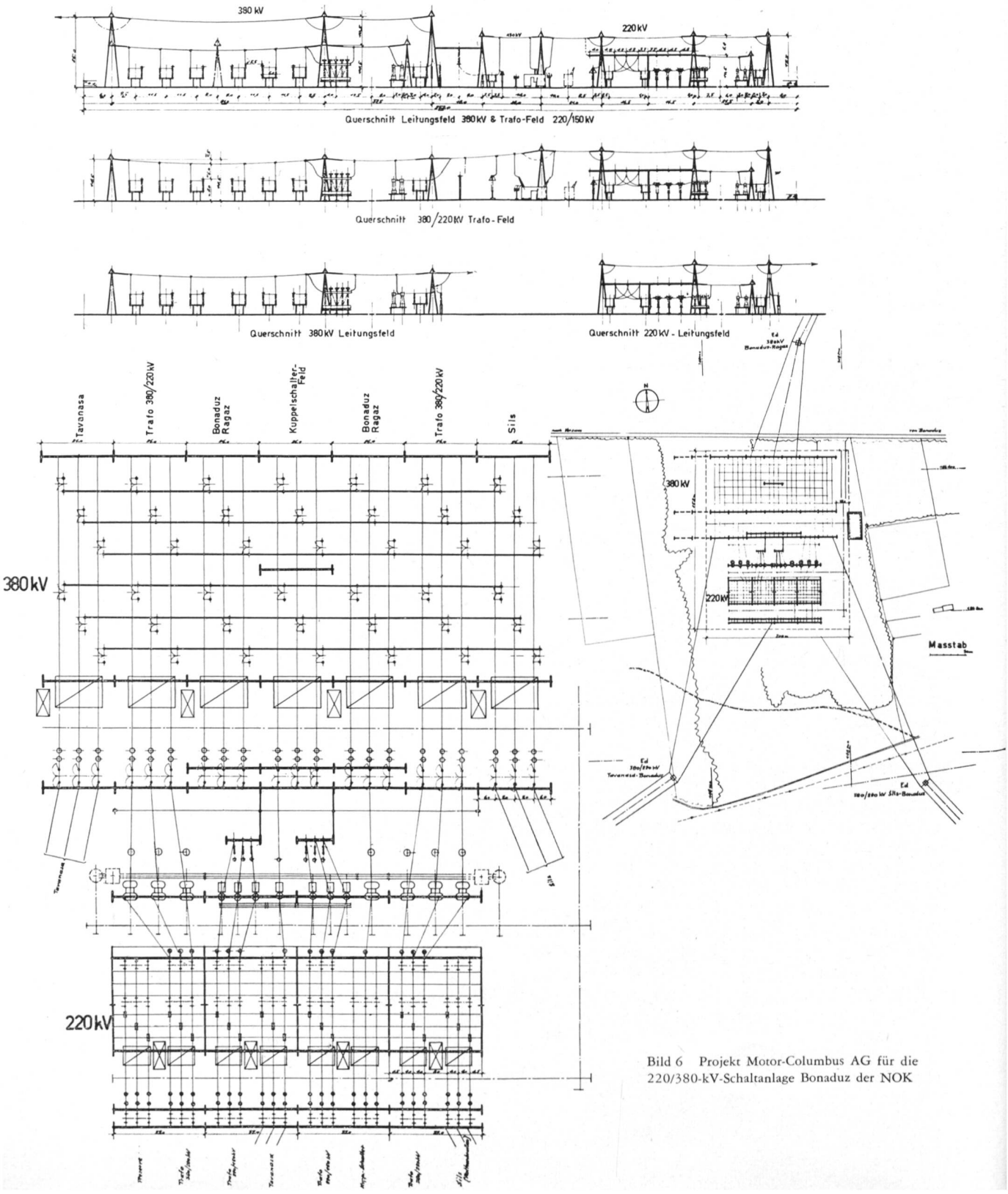



Bild 6 Projekt Motor-Columbus AG für die 220/380-kV-Schaltanlage Bonaduz der NOK

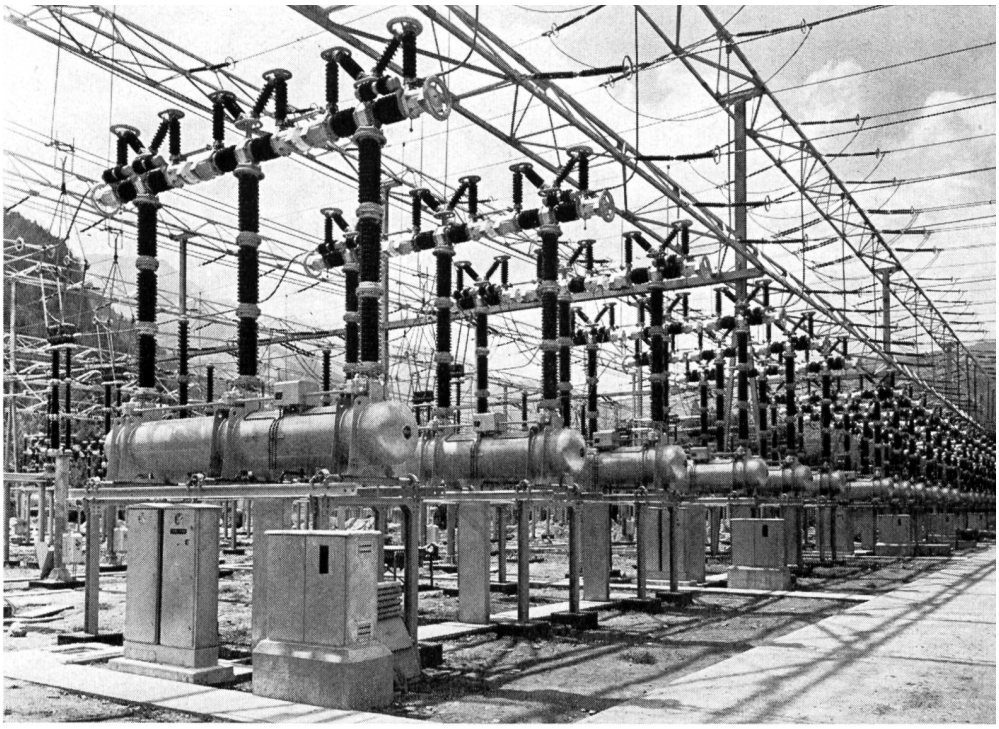


Bild 7 Kraftwerke Hinterrhein, 220-kV-Schaltanlage Sils i. D. (Photo BBC)

die gleichen Seile später mit 380 kV betrieben werden können. In den Schaltanlagen konnte die Auswechslung umso einfacher erfolgen, weil anstelle der Kupferseile mit praktisch gleichen Zugkräften an den Abspann- und Tragkonstruktionen zwei Aldreyseile gespannt werden konnten. Ferner wurde bei dieser Auswechslung sowie auch bei andern, später gebauten Anlagen anstelle der Motor-Isolatoren die leichteren und wirtschaftlicheren Langstab-Isolatoren eingeführt. Bild Nr. 7 zeigt eine Teilansicht der 220-kV-Schaltanlage Sils der Kraftwerke Hinterrhein AG, bei welcher besonders die Ausbildung der Fachwerk-Traversen erwähnenswert ist.

Trotz der fast um einen Drittel erhöhten Übertragungsfähigkeit von 220-kV-Leitungen durch Ausrüstung mit Bündelleitern, kam auch für die Schweiz die Frage der Einführung der 380-kV-Stufe. Besonders der Abtransport der Energie aus den großen Werken im Kanton Graubünden ließ die Erstellung von 380-kV-Leitungen und Anlagen notwendig erscheinen, und gegenwärtig sind verschiedene Projekte der Nordostschweizerischen Kraftwerke AG und der Kraftwerke Hinterrhein AG im Bearbeitungs- und Bauzustand.

Die erste 380-kV-Übertragung wird von den Kraftwerken Tavanasa und Sils über die Schaltanlage Bonaduz nach der neuen Schaltanlage Breite der Nordostschweizerischen Kraftwerke in der Nähe von Winterthur führen. Bild 6 stellt das Projekt für die Anlage Bonaduz dar. Vorläufig werden in dieser je drei Leitungen für 220 kV und 380 kV angeschlossen, letztere jedoch noch mit 220 kV betrieben. Im Vollausbau sollen zwei 220-kV- und vier 380-kV-Leitungen eingeführt werden. Ferner ist vorgesehen, zur Kupplung der 220-kV- mit der 380-kV-Anlage eine, eventuell zwei Transformatorengruppen aufzustellen. Zwei weitere Transformatoren werden, wenn notwendig, die Verbindung mit dem regionalen 150-kV-Netz aufnehmen. Der allgemeine Aufbau der 380-kV-Anlage weicht nicht stark von demjenigen für 220 kV ab. Kennzeichnend sind vor allem die größeren Dimensionen. Die ganze vollausgebaute Anlage bedeckt eine Fläche von ungefähr 250×260 m. Der großen Spannweiten wegen können die Traversen für 380 kV nicht mehr aus einfachen Profilen hergestellt werden, sondern es sind wieder Gitterfachwerke notwendig. Ebenso bestehen teilweise die Stützen zur Aufnahme der Abspannkräfte aus mehreren Pfosten. Ferner geht man der großen Distanz wegen teilweise dazu über, die Steuer- und Meßleitung zwischen den Apparaten und dem Kommandoraum nicht mehr als Starkstromkabel zu verlegen, sondern in einem besonderen Apparatehaus im Hochspannungsfeld zusammenzuführen. Die Meßwerte werden hier umgeformt und als Gleichstrom mit Niederspannung über Schwachstromkabel übertragen. In andern Anlagen hat man zum Überwinden der großen Längen der Meßkabel die Sekundärströme der Stromwandler von normal 5 A auf 2 A und 1 A reduziert und die Spannung von 110 V auf 200 V erhöht.

Besondere Probleme stellen solche großen Anlagen bezüglich Transport und Montage des Großmaterials dar. Es sind hierzu spezielle Krane und Hebezeuge notwendig. Ferner sind auch besondere Maßnahmen zum Schutze der außerhalb der Anlage führenden Fernmeldekabel gegen die Erdschlußspannungen der sehr hohen Kurzschlußströme zu ergreifen.

So wenig wie die Entwicklung der gesamten Elektrotechnik, wird auch diejenige der großen Schaltanlagen mit der Stufe für 380 kV abgeschlossen sein. Die weitere Zunahme des Energieverbrauches und die immer größer werdenden Transportdistanzen rufen bereits heute nach höheren Spannungen, und es sind im Ausland verschiedene Projekte mit Übertragungen für 500 kV und höher in Bearbeitung. Sie werden den Erbauer von Schaltanlagen noch vor viele neuartige Probleme stellen, deren Lösung eine weitere intensive Entwicklung erfordert.

**Literaturverzeichnis:**


Prof. W. Wyssling. Die Entwicklung der schweiz. Elektrizitätswerke und ihrer Bestandteile in den ersten 50 Jahren.

Siemens-Zeitschrift, 23. Jahrgang 1943, Heft 2, S. 33—52

Schweiz. Bauzeitung, Band LXXV, 1920, Die Wasserkraftanlage Gösgen

Elektrotechn. Zeitschrift, Band 79, 1958, Heft 1, S. 1—9

Deutsche Verbundgesellschaft, Der Verbundbetrieb in der deutschen Stromversorgung, 1953

Bulletin SEV, Jahrgang 1932, Heft 18; 1937, Heft 18, S. 431—433; 1947, Heft 8, S. 215—221; 1953, Heft 4.