Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 93 (1975)
Heft: 23: SIA-Tag 1975, Montreux, 13. und 14. Juni

Artikel: Zur Frage der Höchstspannungsübertragung
Autor: Grieder, Karl
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-72762

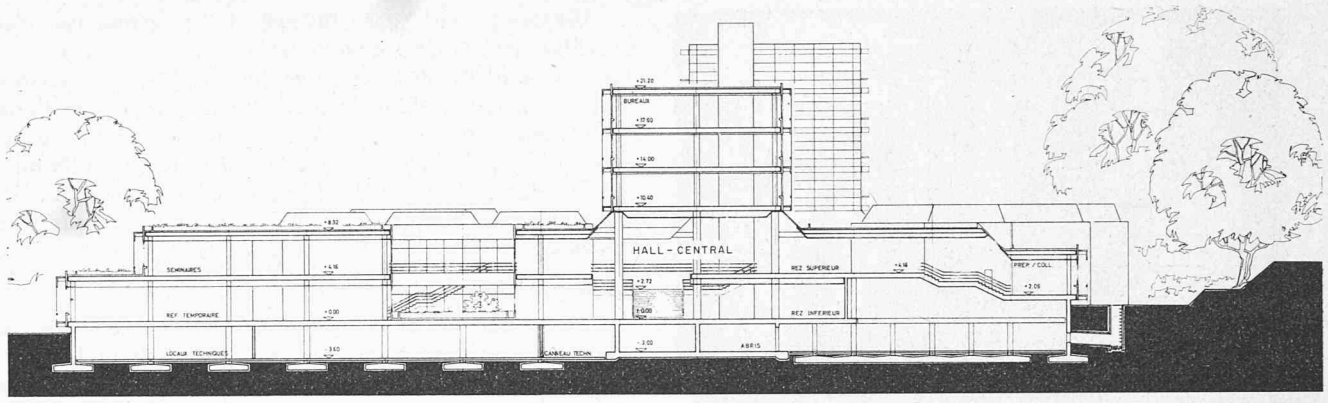
Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. 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: 15.07.2025

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



Schnitt C–C, 1:700

In der Projektierung ist dem Problem des Verkehrs und der Ansammlung von rund 1600 Studierenden besondere Beachtung geschenkt worden. So werden die Zugänge vom natürlichen Geländeniveau ohne besondere Vorkehrungen erfolgen. Die Eingangspartien können den Besucherstrom ohne Gedränge und Hast aufnehmen. Durch die Disposition und die Anordnung von verschiedenen Ebenen wird in der zweistöckigen Haupthalle die Orientierung und die Begegnung erleichtert. Die Halle dient auch zur Verbindung der meistbesuchten Auditorien, Seminarien und Bibliothek. Die grossen Auditorien liegen östlich des Etagentraktes. Den Südflügel bilden die mit der grossen Verteilungshalle verbundenen kleinen Auditorien. Die frei zugängliche Bibliothek bildet ihrerseits das Verbindungsgelenk zwischen dem ersten und (später) dem zweiten Teil der Facultés des sciences humaines. Mit der Bibliothek gut verbunden sind die auf einer Galerie angeordneten Seminarräume. Dieses Ensemble steht ebenfalls mit der zentralen Haupthalle in naher räumlicher Beziehung und belegt den Südflügel.

Die zahlreichen Büros und Arbeitsräume für Lehrkräfte, Doktoranden und Institutspersonal sind in drei- bzw. vierstöckigen Etagentrakt untergebracht.

Dem Fakultätskomplex liegt der einheitliche Raster von 7,20 × 7,20 m zugrunde. Das Projekt könnte in Stahl- oder in Massivbauweise erstellt werden. Gewählt wurde eine Eisenbetonkonstruktion mit Kassettendecken.

Als Bauingenieure wurden die Büros *Matter* und *Chassot*, beide in Lausanne, beigezogen. Die Installationen bearbeitet das technische Institut EPE *(N. Splivallo)*, Lausanne.

In der *architektonischen Gestaltung* wird auf die Verwendung luxuriöser Materialien verzichtet. Trotz dem vorgesehenen repetitiven Konstruktionssystem vermag die aus dem Programm hervorgehende Gliederung sowohl durch Raumgruppen als auch infolge inneren und äusseren räumlichen Durchdringungen dem Fakultätsganzen eine lebendige und vielfältige Ambiance zu verleihen.

In ihrem *Äusseren* werden die Bauten Anpassungsfähigkeit und geschmeidige Struktur der inneren Organisation zum Ausdruck bringen. Zudem vermögen die Sonnenschutzelemente die Fassaden architektonisch zu akzentuieren. Schliesslich wird auch die Gestaltung der Gebäudezugänge in der äusseren Erscheinung der Facultés des Sciences mitsprechen.

G. R.

Zur Frage der Höchstspannungsübertragung

Von **Karl Grieder**, Kloten

DK 621.315

1. Freileitungen

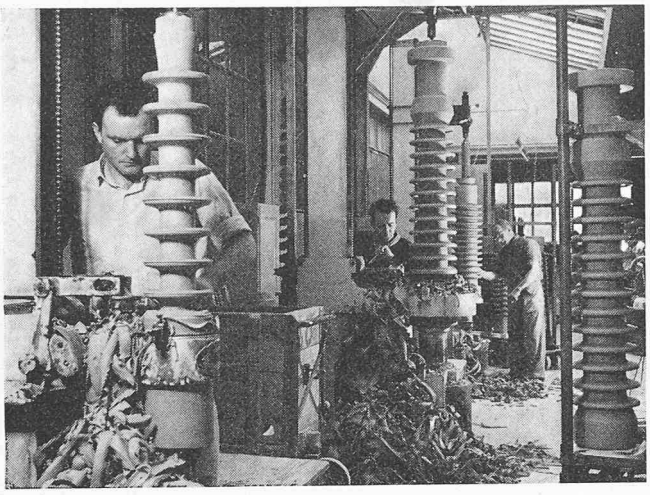
Hoch- und Höchstspannungsleitungen sind weitgehend eine Zwangsfolge der Entfernung zwischen den Produktionsanlagen und den Konsumenten. Erstrebenswert wären Kraftwerke in unmittelbarer Nähe der grossen Verbraucherzentren. Dies würde jedoch in den meisten Fällen die Erstellung thermischer Werke bedingen, denn Wasserkraftwerke sind standortgebunden.

Der Entwurf von Übertragungsleitungen erfordert mancherlei Überlegungen: Unter Annahme einer bestimmten zu übertragenden Leistung sind die Übertragungsspannung, die Anzahl der Stränge sowie die Leiter (Querschnitt und Werkstoff) festzulegen. Die höchste zur Zeit in der Schweiz und in Deutschland angewendete Übertragungsspannung beträgt 380 kV. Nachfolgend soll am Beispiel einer solchen Leitung, die von Bonaduz (Graubünden) nach dem Unterwerk Breite in Zürich führt, etwas über die Problemstellung ausgesagt werden.

In dem Gebiet, wo sich Vorder- und Hinterrhein vereinigen, wurde durch die NOK bereits vor absehbarer Zeit die grosse Schaltstation Bonaduz errichtet. Es galt nun von dort aus mit einer 380-kV-Leitung in den Raum Zürich, wo die grossen Energieverbraucher liegen, vorzustossen. Für den Bau dieser Verbindungsleitung wurden im wesentlichen die normierten Bauteile der NOK-Übertragungssysteme angewendet.

Es wurden fast ausschliesslich Stahlgittermasten in kombinierter Winkeleisen-Rohrkonstruktion aufgestellt. Damit sind verschraubte Masten gemeint, deren Gurtungen jedoch aus Rohren bestehen. Die einzelnen Bauteile sind dabei so gehalten, dass sie nicht über 11 m lang und nicht schwerer als 1 t sind, was aus Transportgründen in Berggegenden sehr wichtig ist. Die Tragmasten wiegen im Mittel 14,5 t, dagegen liegt das mittlere Gewicht bei einem Abspannmast bei 24,8 t. Für die Gebirgsstrecke der Leitung Bonaduz–Breite sind rund 50 % der Tragwerke Abspannwinkelmasten.

Die Mastbemessung beruht auf einer mittleren Spannweite von 400 m. Gegenstand besonderer Untersuchungen bildete der Abschnitt Tannenboden–Oberterzen, denn hier galt es, auf einer horizontalen Länge von 1000 m einen



Isolatorendreherei. Im Vordergrund wird ein Langstabisolator aus einem Hubel gedreht. Die Feuchtigkeit beim Drehen beträgt rd. 15 %. Die Kopierschablone ist bei der zweiten Maschine links sichtbar. Die Abnützung der Drehmeissel ist gross, da die Porzellanmasse zum Teil aus Korund besteht, um die erforderliche hohe mechanische Festigkeit zu gewährleisten

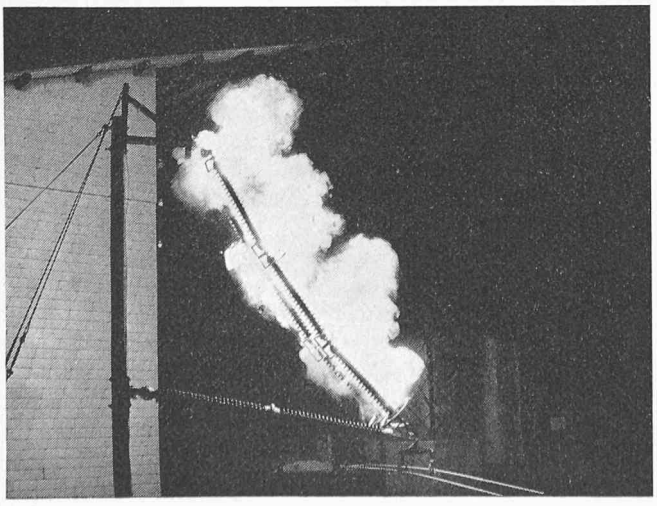
Höhenunterschied von 500 m zu überwinden. Hier mussten die Abspannmaste schräggestellt werden, denn sonst hätte man ausserordentlich hohe Masten setzen müssen. Jeder Mastfuss wurde einzeln fundiert und für die Bemessung eine Zugkraft von 244 Mp in Rechnung gestellt. Dies ergab für den am ungünstigsten gelegenen Mastfuss eine Betonkubatur von 150 m³. Im Vergleich dazu weist ein gesamtes Fundament eines Normalmastes rd. 75 m³ Beton auf.

Die Leiterseile

Nach verschiedenen Prüfungen entschloss man sich, Leiterseile aus Alumoweld-Aldrey-Drähten von 640 mm² Querschnitt zu verwenden. Diese weisen eine maximale Zugfestigkeit von 25600 kp auf. Die Leiterseile bestehen, nebst normalen Aldrey-Drähten, aus einer Anzahl von Alumoweld-Drähten. Letztere sind hochwertige Stahldrähte mit einem maschinell aufgeschweissten Aluminiummantel, der einen einwandfreien Korrosionsschutz darstellt.

Hochstromlichtbogen an eine Isoliertraverse für 380 kV. Die Hörner blasen den Lichtbogen vom Porzellan weg in den freien Luftraum, wo er ohne Schaden zu verursachen weiterbrennt bis die Schutzeinrichtungen die Schalter auslösen und den Strom unterbrechen

(Photos Porzellanfabrik Langenthal AG)



Während man früher für sehr hohe Spannungen fast ausschliesslich Hohlseile verwendete, ist man längst dazu übergegangen, Bündelleiter zu montieren. Darunter versteht man zwei parallel geführte Leiterseile, die z.B. bei der Bonaduz-Leitung, deren Leiter einen Durchmesser von 32 mm aufweisen, durch besondere Abstandhalter in 40 cm Entfernung voneinander geführt werden. Diese Leiteranordnung hat sich hinsichtlich der Verluste und in Bezug auf Radiostörungen bestens bewährt.

Rauhreifbelastung

In unseren Gegenden kann in normalen Wintern bei Rauhreifbildung mit einer Zusatzlast von 2 kp/m Leiterseil gerechnet werden. An exponierten Stellen, beispielsweise in 2700 m Höhe, ist mit einer Zusatzlast bis zu 12 kp/m Seil zu rechnen. Rechnet man mit einer Leiterlänge von 1000 m zwischen zwei Abspannmasten, so ergibt dies allein für einen Leiter ein Zusatzgewicht von 12 t.

Eine auf den Säntis führende 16-kV-Leitung ist ganz extremen Bedingungen unterworfen, wie man sie sonst nirgends in der Schweiz antrifft. Denn hier wurden schon Rauhreifbelastungen von 32 kp/m Leiterseil festgestellt.

Mit einer 380-kV-Übertragungsleitung, wie sie hier beschrieben ist, können je Strang folgende höchstzulässige Leistungen übertragen werden: bei +10 °C Umgebungstemperatur 1670 MVA; bei +40 °C Umgebungstemperatur 1260 MVA. Wie gross diese Leistung ist, zeigt ein Vergleich mit der Spitzenlast der Stadt Zürich, die bei etwa 325 MVA liegt.

Isolatoren für Höchstspannungsleitungen

Nicht allein Maste und Leiterseile müssen bei solchen Leitungen allerhand aushalten. Auch die Isolatoren werden sowohl mechanisch wie auch elektrisch hoch beansprucht.

Während man früher vielfach sogenannte «Klöppelisolatoren» (Kappenisolatoren) montierte, benützt man heute praktisch nur noch die durchschlagsicheren Vollkern-Langstabisolatoren. Diese sind aus hochwertigem Porzellan gefertigt und weisen eine hohe mechanische Zugfestigkeit auf. An beiden Enden sind Kappen aufgegossen, die aus bestem Temperguss, feuerverzinkt mit einer Blei-Antimon-Legierung, bestehen.

Form und Abstand der Porzellanschirme solcher Isolatoren werden so gewählt, dass eine maximale Kriechweglänge und eine natürliche Reinigung durch den Regen gewährleistet werden. An den Zwischenklöppeln und am geerdeten Kettenende können Schutzarmaturen angebracht werden, welche bei einem allfälligen Kurzschluss-Lichtbogen diesen von der Isolatorenkette ablenken.

Jeder Langstabisolator wird in der Fabrik strengen Prüfungen unterzogen, ehe er ausgeliefert und montiert wird: 1. Visuelle Kontrolle auf Glasurfehler und Gradheit; 2. Porositätsprüfung; 3. Mechanische Stückprüfung mit einer garantierten Prüflast; 4. Ultraschallkontrolle zur Feststellung allfälliger Scheibenbrüche. Da Langstabisolatoren als völlig durchschlagsicher gelten, ist eine elektrische Stückprüfung heute nicht mehr notwendig, denn die Überschlagsspannungen bei 50 Hz und bei Stossspannung sind längst in den Höchstspannungslaboratorien der einschlägigen Industrie festgestellt worden.

Die finanzielle Seite einer Übertragungsleitung

Der Aufwand bei der Projektierung und beim Bau einer solchen Leitung ist gross. Für den Bau einer 220-kV-Leitung im Mittelland betragen die Kosten 220000 bis 250000 Fr./km. Auf einer Gebirgsstrecke sind es bereits 400000 bis 500000 Fr./km. Für eine doppelsträngige 380-kV-Leitung muss man im Mittelland mit rund 400000 Fr./km; im Gebirge bis zu 700000 Fr./km und mehr rechnen.

Zukunftsaussichten

Dass mit der stets zunehmenden Leistung auch die Übertragungsspannungen steigen werden, ist sicher. In Kanada gibt es bereits 750-kV-Übertragungsleitungen, und man spricht bereits von einer Betriebsspannung von 1500 kV. Eine entsprechende Transformatoren-Durchführung konnte der Verfasser kürzlich bei einem Besuch bei der Transformatoren-Union in Nürnberg besichtigen.

2. Ölkabel

Infolge des stets zunehmenden Strombedarfes im Limmattal und Furttal wurde die Erstellung einer 220-kV-Leitung für dringlich befunden. Dies erforderte den Bau von zwei neuen Unterwerken in Spreitenbach und in Regensdorf. In den zur Aufstellung kommenden Transformatoren wird die zugeführte Energie von 220 kV auf 50 kV herabtransformiert. Die beiden Unterwerke werden von Niederwil (Reusstal) gespiesen.

Grund jahrelanger Diskussionen war die 220-kV-Freileitung, die bis zum Dorfeingang Spreitenbach führt. Das geschlossene Baugebiet von Spreitenbach selbst sowie die Anlage des SBB-Verschiebebahnhofes Limmattal veranlassten die Direktion der NOK, für dieses Gebiet unter erheblichem Kostenaufwand eine unterirdische 220-kV-Ölkabelverlegung vorzunehmen.

Da die Leitung Niederwil–Spreitenbach–Regensdorf ein Bestandteil des schweizerischen Höchstspannungsnetzes ist und neben der Speisung der beiden genannten Unterwerke für die eingangs erwähnte örtliche Versorgung von Spreitenbach und Regensdorf auch Energietransitaufgaben zu erfüllen hat, ist die Frage der Betriebssicherheit von ausschlaggebender Bedeutung. Aus naheliegenden Gründen mussten deshalb die beiden Ölkabelstränge (insgesamt sechs Einzelleiter) in einem begehbaren Kabelkanal verlegt werden, der eine jederzeitige Kontrolle ermöglicht.

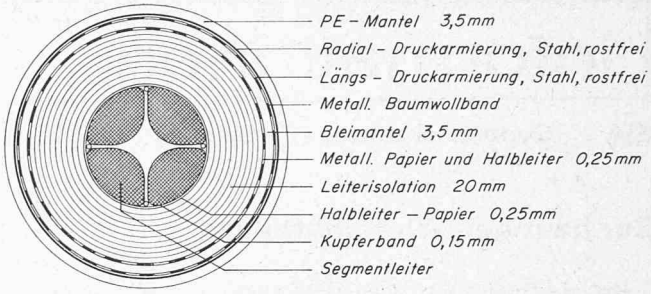
Da eine unterirdisch verlegte Kabelleitung wegen ihrer durch die Isolation bedingten ungünstigen Wärmeableitung weniger stark belastet werden kann als eine Freileitung, musste ein ausserordentlich grosses Kabel gewählt werden, das einen Querschnitt von 1200 mm² aufweist. Der Kabelkanal besitzt ein Lichtraumprofil von 1,2 × 2,1 m. Die maximale Baugrubentiefe liegt bei 9 m, die Anzahl der Muffenschächte bei 5.

220-kV-Ölkabel zur Übertragung einer Leistung bis zu 450 MVA

Bei den verwendeten Ölkabeln von einer gesamten Länge von rd. 2,6 km handelt es sich um Fabrikate der Kabelwerke Cortaillod und Brugg. Erstmals wurden in der Schweiz Ölkabel dieser Grösse erstellt, was auch bei den Herstellerwerken mit erheblichen Investitionskosten verbunden war. Trotz des grossen Querschnittes von 1200 mm² kann bei längerem Vollastbetrieb die Temperatur im Kabelkanal bis auf 40 °C steigen.

Sowohl für die Herstellerfirmen wie auch für die NOK stellen sich daher eine Reihe von Problemen, deren Lösung noch weitere umfangreiche Studien erfordert. Erst die Betriebserfahrungen werden zeigen, ob solche Hochleistungs-Höchstspannungsverkabelungen auch in anderen Fällen in Betracht gezogen werden können. So sind unter anderem bereits Luftschächte erstellt worden, damit im Falle einer zu hohen Erwärmung im Kabelkanal durch Thermostaten gesteuerte Ventilatoren Frischluft zuführen können.

Die vier Kupfersegmentleiter je Kabel sind so angeordnet, dass das Öl in der Mitte zirkulieren kann (siehe Bild). Die rd. 400 m langen einzelnen Kabelstücke wurden mit



Querschnitt durch das 220-kV-Einleiterölkabel

Pressmuffen verbunden und anschliessend mit hochwertigen, dünnen, unter Vakuum in Öl imprägnierten Papierstreifen von 0,04 mm Dicke, umwendelt. Es ist dies eine Arbeit von drei Mann je Muffe, die im Zeitraum von etwa 18 h bewerkstelligt wird. Damit ein möglichst grosser Kriechweg entsteht, erfolgt diese Umwicklung so, dass das Ganze stufenweise abgesetzt ist. Der äussere Durchmesser des Kabels beträgt 104 mm. Das Gewicht liegt bei 31,5 kg/m. Das Gesamtgewicht der sechs 2,6 km langen Einzelleiter beträgt 470 t. Davon entfallen allein auf die Kupferleiter 180 t und auf die Bleimäntel 160 t. Die Ölmenge für die sechs Kabel liegt bei rd. 50 000 l.

Beim vorhandenen Höhenunterschied von 70 m zwischen den Endverschlüssen beidseits der Kabel variiert der Öldruck zwischen 2,5 und 8,5 atü. Die Kabel sind aber auch noch voll betriebsfähig, wenn der Öldruck bis auf 1 atü absinken sollte. Es darf jedoch auf gar keinen Fall ein Unterdruck entstehen, weil dies unweigerlich eine Zerstörung der Kabel zur Folge hätte.

Für den Druckausgleich sorgen sogenannte Aneroid-Zellen, die in den Expansionsgefässen an der oberen der beiden Kabelendstationen montiert sind. Der Öldruck wird vollautomatisch, ohne Pumpen, aufrechterhalten. Die Kabel selbst sind für einen Druck von 20 atü konstruiert. Die VDI-Vorschriften erlauben eine höchstzulässige Temperatur der Leiter von 70 °C. Die maximale Umgebungstemperatur darf 40 °C nicht übersteigen. Dass die Kosten für eine solche Hochleistungs-Höchstspannungs-Ölkabelanlage sehr hoch sind, versteht sich. Ohne die allenfalls nötige Ventilationsvorrichtung ist mit einem Kostenaufwand von rd. 12,5 Mio Fr. zur rechnen.

Adresse des Verfassers: *Karl Grieder*, Reutlenweg 6, 8302 Kloten.

Nekrologe

† **Ernst Hess,** dipl. Masch.-Ing., von Wald ZH, geboren 3. Mai 1897, ETH 1920–24, GEP, SIA, ist am 20. Mai 1975 nach längerer Krankheit entschlafen. Der Verstorbene hat während 40 Jahren bei der Lonza AG, Basel, gearbeitet, von 1946–65 als Mitglied der Geschäftsleitung.

† **Max Jos. Purtschert,** dipl. Ing.-Chem., von Luzern, geboren am 23. Oktober 1898, ETH 1918 bis 1922, GEP, SIA, ist kürzlich gestorben. 1922 bis 1938 war der Verstorbene Fachlehrer für technisches Zeichnen und Physik an der Kantonsschule Luzern. 1924 gründete er eine elektro-physikalische Werkstätte, die 1939 in die AG M. J. Purtschert & Co., Fabrik für elektromedizinische und Röntgenapparate, umgewandelt wurde. 1968 Fachlehrer für Chemie am Lyceum der Kantonsschule Luzern.