

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 47 (1956)
Heft: 26

Artikel: 50-kV-Kabelleitung der EKZ durch den Zürichsee
Autor: Schilling, Ed. / Wüger, H.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1060126>

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: 15.01.2026

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)

50-kV-Kabelleitung der EKZ durch den Zürichsee

Von Ed. Schilling, Biel, und H. Wüger, Zürich

621.315.28(494.34)

Die Ergebnisse der ausführlichen Vorstudien für die nicht alltägliche Kabelverlegung durch den Zürichsee werden mitgeteilt und die Verlegungseinrichtungen beschrieben. Besondere Abschnitte befassen sich mit dem Aufbau des Kabels und seinen Abmessungen, sowie mit dem Verlegungsvorgang, den Übergangsstationen und den Schutzeinrichtungen.

Résultats des études préliminaires détaillées en vue de la pose peu ordinaire de deux câbles à travers le lac de Zurich et description des dispositifs de pose. Les auteurs donnent également des indications sur la construction et les dimensions des câbles, le procédé de pose, les postes de couplage et les dispositifs de protection.

1. Vorgeschichte und Veranlassung zur Kabellegung

Der über 40 km lange Zürichsee bildete für den Ausbau der Verteilnetze von jeher ein grosses Hindernis, obwohl er in seinem untern Teil nur etwa 2 km breit ist. Erstmals im Jahre 1928 wurde zwischen den Gemeinden Thalwil und Erlenbach eine aus 2 für 15 kV bemessenen Kabeln bestehende Verbindung erstellt¹⁾. Die beiden 1,9 km langen Dreileitermasssekabel, die eine Leistung von je 4400 kVA übertragen können, standen während 25 Jahren mit 8 kV, seit 1953 ununterbrochen mit 16 kV im Betrieb. Während der nun 28jährigen Betriebszeit sind an den eigentlichen Seekabeln keine Störungen aufgetreten.

Eine zweite, ähnliche Kabelverbindung wurde 1940 zwischen Wädenswil und Männedorf, mit einer einfachen Länge von 3,4 km, verwirklicht. Auch diese Anlage versieht ihren Dienst störungsfrei²⁾.

Die rasche Entwicklung der Vororte Zürichs hat selbstverständlich auch eine starke Zunahme des Bedarfes an elektrischer Energie nach sich gezogen. Allein schon dadurch waren die EKZ und ihre Wiederverkäufer zu einem intensiven Ausbau der Verteilnetze gezwungen. Dazu kommt, dass die Betriebsleiter von Fabriken, die Gewerbetreibenden und nicht zuletzt auch unsere Hausfrauen heute viel empfindlicher auf Unterbrüche in der Energiezufuhr reagieren als dies noch vor wenigen Jahren der Fall war. Es sind daher Anstrengungen zu machen, um eine dauernde, möglichst unterbrochlose Versorgung zu gewährleisten.

Das im Jahre 1945 als Provisorium und 1954 definitiv in Betrieb genommene Unterwerk Herrliberg war während dieser Zeit nur über eine 11 km lange 50-kV-Freileitung mit einem Strang betrieben worden. Schon vor mehreren Jahren ist daher eine

Verbindung zwischen den 50-kV-Stützpunkten Herrliberg und Thalwil ins Auge gefasst worden.

2. Vorabklärungen

a) Trassewahl

Die ersten Projekte sahen vor, vom Unterwerk Herrliberg ausgehend eine 50-kV-Freileitung bis in die Gegend der Kittenmühle und erst von dort aus ein Kabel zu verlegen. Diese Lösung hätte aber zusammen mit den bestehenden und noch hinzukommenden 16-kV-Leitungen eine solche Massierung von Freileitungen ergeben, dass man darauf verzichten musste. Wegen der immer dichtern Bebauung musste auch auf der Thalwilerseite der Gedanke einer Freileitung aufgegeben werden. Dadurch, dass ein Trasse gefunden werden konnte, das sich sehr eng an die Luftlinie anschmiegt, konnte eine Verkürzung um 0,8 km erzielt werden. Die Kosten dieser kürzesten Kabelverbindung waren nur noch etwa 18 000 Franken oder 1% höher veranschlagt, als diejenigen einer kombinierten Lösung mit Freileitung und Kabel auf einem notwendigerweise längeren Trasse. Dieser Umstand hat den Entschluss, die ganze Verbindung zu verkabeln, ganz wesentlich erleichtert. Die Figuren 1 und 2 zeigen das Kabeltrasse sowie das Längenprofil, aus welchem die Kabellängen, die horizontalen Entfernungen und die zu überwindenden Höhendifferenzen ersichtlich sind.

b) Art des Kabels

Da die 50-kV-Leitungen, welche das Netz der EKZ speisen, bisher von den NOK erstellt und betrieben worden waren, besorgte diese Gesellschaft auch die ersten Studien für die Verbindung Thalwil-Herrliberg. Bestärkt durch ein Gutachten von Prof. Dr. J. van Stavernen der KEMA in Arnheim (Niederlande) kam jene zum Schluss, dass sich für die Seetraversierung ein Dreileiter-Ölkabel am besten eigne. Der inzwischen an die Hand genommene intensivere Ausbau der 150-kV-Netze der NOK

¹⁾ s. Bull. SEV Bd. 19(1928), Nr. 23, S. 756...761.

²⁾ s. Bull. SEV Bd. 31(1940), Nr. 9, S. 214 und Bd. 32(1941), Nr. 12, S. 267...271.

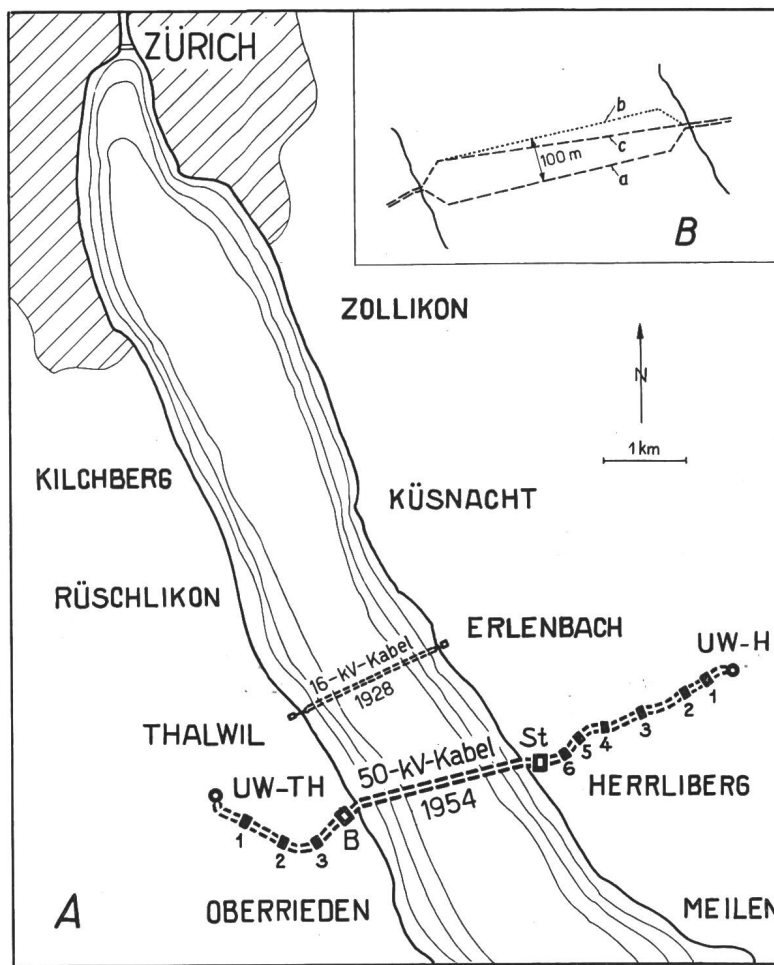
zeigte dann, dass die Bedeutung der 50-kV-Leitungen für die Fernübertragung sinkt und dass die Leitungen dieser Spannung künftig nur noch regionalen Zwecken dienen können. Anfang 1954 einigten sich NOK und EKZ dann, dass die 50-kV-Leitung Herrliberg–Thalwil von den EKZ erstellt und von Anfang an von ihnen betrieben werden soll.

Im Interesse der Sicherheit der Kabelverbindung nahm man sich vor, die eigentliche Seekabelstrecke ohne Muffe, das heisst aus einem einzigen Stück anzufertigen. Das dadurch bedingte grosse Gewicht zwang die schweizerischen Kabelfabriken, auf eine Offertstellung zu verzichten. Da die englischen, holländischen und italienischen Fabriken wegen Überbeschäftigung auf Angebote verzich-

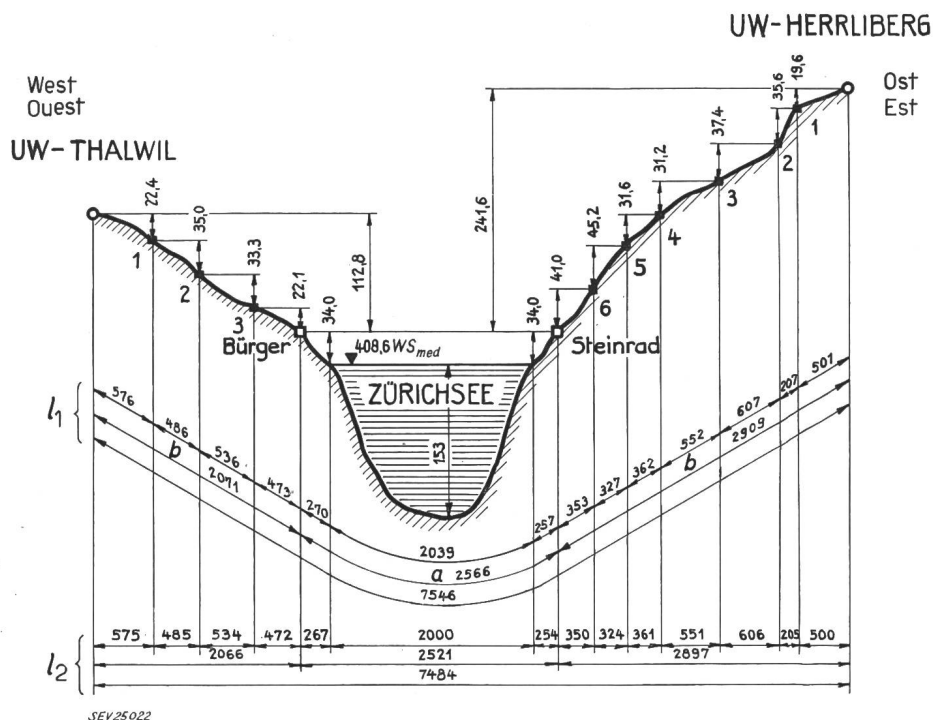
Fig. 1

Trasse der 50-kV-Kabelverbindung

- A Situationsplan
 UW-TH Unterwerk Thalwil; UW-H Unterwerk Herrliberg; B Übergangsstation «Bürger»; St Übergangsstation «Steinrad»; 1...6 Sperrmuffenschächte
- B Trasseverlauf der Kabel im See
 a Trasse des Kabels «Süd»; b vorgesehene Trasse des Kabels «Nord»; c geändertes Trasse des Kabels «Nord»



SEV25021



SEV25022

d'exploitation des câbles électriques System Borel à Cortaillood war.

Detaillierte Untersuchungen für die Landkabelstrecken ergaben, dass von den zur Wahl stehenden Kabelarten, nämlich Massekabel, Ölkabel und Druckgaskabel, dem Ölkabel der Vorzug zu geben war. Die Preisvergleiche zeigten überdies, dass wenigstens zurzeit Öl-Hochdruckkabel ausser Betracht

Fig. 2

Längenprofil der Kabelverbindung
 Überhöhung ca. 10fach, Masse in m
 1...6 Sperrmuffenschächte; a Seekabel; b Landkabel; l_1 Kabellängen; l_2 Horizontallängen; WS_{med} mittlerer Wasserstand

teten, kamen nur deutsche und französische Lieferanten in Betracht. Der Auftrag für die Seekabelstrecke erfolgte an die Firma Câbles de Lyon, die ursprünglich eine Tochtergesellschaft der Société

fallen. Dieser Entscheid bedingte die Unterteilung der Landkabelstrecke, damit der statische Öldruck in keinem Abschnitt 5 kg/cm^2 übersteige. Entsprechend den zu überwindenden Höhenunterschieden

waren 4 bzw. 7 Abschnitte nötig, von denen jeder durch eine Sperrmuffe gegen den nächsten abgeschlossen ist.

Im Hinblick auf die Wichtigkeit der Verbindung entschloss man sich zur Verlegung zweier paralleler Kabelleitungen, damit im Falle einer Störung immer noch die halbe Übertragungsfähigkeit, d. h. 25 000 kVA, zur Verfügung steht.

In den Übergangsstationen Bürger (Seite Thalwil) und Steinrad (Seite Herrliberg) besteht zudem die Möglichkeit, Kreuzverbindungen zwischen den Teilstrecken beider Leitungen herzustellen.

3. Die Kabeldaten

Die wichtigsten Daten der Kabel sind in der Tabelle I zusammengestellt. Überdies zeigen die Fig. 3 und 4 die Querschnitte.

Die drei Kupferleiter sind mit speziell behandeltem Wickelpapier isoliert. Um eine gute Zirkulation

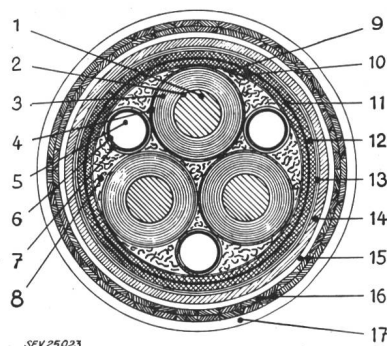


Fig. 3

Querschnitt der Seekabel
Durchmesser 84 mm (Lyon)

1 Kupferleiter; 2 Halbleiterbelag; 3 Aderisolation (Papier); 4 Höchstädterschutz; 5 Ölkanal; 6 Stützspirale des Ölkanals; 7 Papier; 8 Beilauf; 9 metallisiertes Baumwollband; 10 1. Bleimantel; 11 Compound; 12 2. Bleimantel; 13 metallisiertes Baumwollband; 14 Korrosionsschutz; 15 Jute; 16 Flachdrahtarmierung; 17 äussere Jute

des Imprägnieröles zu gewährleisten, sind in den Zwickeln zwischen den isolierten Leitern durch Stahlspiralen 3 Ölkanäle ausgespart (Fig. 3). Die Seekabel besitzen 2 Bleimäntel, wogegen die Landkabel mit einem einzigen, aber dickeren ausgeführt sind. Zum Schutze gegen Korrosion weisen die Seekabel einen nahtlosen Polythenschlauch auf, wäh-

rend die Landkabel zum gleichen Zweck von einer Schicht sich überlappenden Kautschukbänder umgeben sind. Die Längsarmierung aus Flachstahl, die zum Aufbau aller Kabelstrecken gehört (Fig. 3 und 4), nimmt die Zugkräfte bei der Verlegung auf und dient gleichzeitig als Schutz gegen mechanische Beschädigungen.

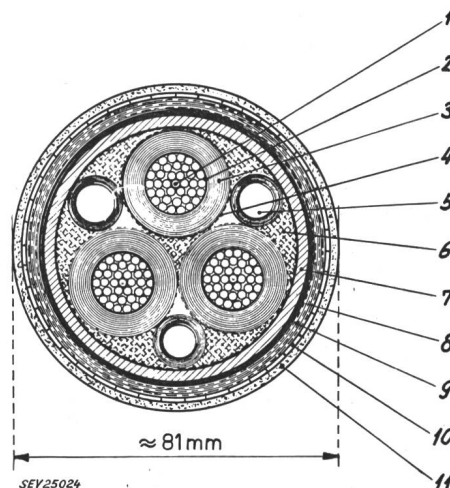


Fig. 4

Querschnitt der Landkabel
(Brugg und Cortaillod)

1 Kupferleiter; 2 Halbleiterbelag; 3 Aderisolation (Papier); 4 Strahlungsschutz (Höchstädter); 5 Ölkanal; 6 Füllmaterial (Papierschnüre); 7 Bleimantel; 8 Druckarmierung (Stahlband); 9 Korrosionsschutz (Rubber-Sandwich); 10 Zugarmierung (Flachdraht); 11 Jute, bitumiert

4. Vorbereitung und Ausführung der Seekabellegung

a) Querprofilaufnahmen im See

Zur exakten Bestimmung der zu verlegenden Seekabellängen wurde das Seequerprofil durch Lotungen ausgemessen. An den steilen Uferpartien lagen die Messpunkte ca. 10 m, sonst im Mittel etwa 20 m auseinander. Um ein Übereinanderliegen der beiden parallelen Kabel mit Sicherheit zu vermeiden, wurde vorgesehen, sie in einem Abstand von 100 m durch den See zu legen. An den Ufern laufen sie zusammen, und zwar so, dass sie von einer Seetiefe von etwa 10 m an unmittelbar nebenein-

Leitungstrasse und Kabeldaten

Tabelle I

| | Mass bzw. Art | Seekabel (pro Strang) | Landkabel (pro Strang) | |
|--------------------------------------------|---------------------|-----------------------|------------------------|------------------|
| | | | Seite Thalwil | Seite Herrliberg |
| Länge, bestellt | m | 2700 | 2140 | 2920 |
| Mittlere Trasselänge | m | 2572 | 2065 | 2910 |
| Mittlere Horizontal-Entfernung | m | 2526 | 2060 | 2900 |
| Höhenunterschied | m | 0 | 112,8 | 241,6 |
| Anzahl Sperrmuffen | | 0 | 3 | 6 |
| Kupferquerschnitt | mm ² | 3 × 102,6 | 3 × 120 | 3 × 120 |
| Dicke der Aderisolation | mm | 6,0 | 6,5 | 6,5 |
| Bleimanteldicke | mm | 2 × 1,6 | 3,0 | 3,0 |
| Druckarmierung | mm | 20 × 0,5 | 2 (15 × 0,5) | 2 (15 × 0,5) |
| Korrosionsschutz | Art | Polythen, nahtlos | Kautschukband | Kautschukband |
| Dicke | mm | 2,5 | 2,3 | 2,3 |
| Zugarmierung | mm | 40 (6 × 1,7) | 42 (5 × 1,7) | 40 (5 × 1,7) |
| Durchmesser über der Jutenumhüllung | mm | 84 | 81 | 81 |
| Kabelgewicht | kg/m | 19,9 | 18 | 18 |
| Fabrikat | | Lyon | Brugg | Cortaillod |

ander in einen gemeinsamen Graben zu liegen kommen. Die Seetraversierung mit zwei Leitungen auf getrennten Trassen bedingte die Aufnahme zweier Querprofile. Die ermittelten Trasselängen fielen indessen für beide Stränge praktisch gleich gross aus, nämlich 2064 und 2067 m.

Die Profilaufnahmen erfolgten mit einer Lotbarke, deren Entfernung vom Ufer durch Seitenbeobachtungen mit einem Theodoliten ermittelt wurden. Diese Arbeit wurde ganz wesentlich erleichtert durch eine HF-Telephonverbindung zwischen den Theodolitstationen an den Ufern und der Lotbarke. Zur Berücksichtigung der Messfehler und allfälliger Ungenauigkeiten bei der Kabellegung wurde ein Zuschlag von 3% auf die unter Wasser zu liegende Kabellänge gemacht.

b) Wahl des Verlegevorganges

Dank einer uneigennütigen Haltung der beteiligten schweizerischen Kabelfirmen und unter Ausnutzung der von diesen bei früheren Kabellegungen in andern schweizerischen Seen gesammelten Erfahrungen wurde zusammen mit der die Verlegung verantwortlich leitenden Firma, der Câbles de Lyon, der nachfolgend beschriebene Verlegevorgang vereinbart und alsdann ausgeführt.

Das Kabel, das per Bahn von Lyon anlangte, musste auf das Verlegeschiff verladen werden. Da bei den für die Verlegung zweckmässigen geringen Geschwindigkeiten für die Seetraversierung die Steuerung sehr schwierig ist, und da erfahrungsgemäss mit wechselnden Wasserströmungen und Winden zu rechnen ist, wählte man für die Fortbewegung ein Zugseil von 14 mm Dicke und 2300 m Länge. Dieses Stahlseil, auf der Thalwiler Seite an einer Pfahlbatterie verankert, wurde durch den See bis zum am Herrliberger Ufer stehenden Verlegeschiff ausgelegt. Mit Hilfe einer Winde, die dieses Seil auf dem Verlegeschiff aufwickelt, zog sich dieses über den See, während hinten das Kabel ausgelegt wurde.

c) Die Verlegeflottille

Die Fig. 5 zeigt die Ausrüstung des Verlegeschiffes, als welches der Motor-Lastkahn KIBAG Nr. 6 diente. Das 34,2 m lange und 6,25 m breite Schiff vermag eine Nutzlast von 300 t zu tragen. Schon für die beiden früheren Seekabellegungen der EKZ in den Jahren 1928 und 1940 war interessanterweise das gleiche Schiff benützt worden, das damals allerdings noch aus einer kürzeren und hölzernen Schale bestanden hatte.

Im Bug des Schiffes war die von einem 25-PS-Benzinmotor angetriebene Seilwinde aufgestellt. In Schiffsmitte lag, mit ihrer Achse quer zum Schiff, die grosse, ca. 11 t schwere Kabeltrommel. Sie konnte mit Hilfe eines Elektromotors angetrieben und mit einer von Hand zu betätigenden Backenbremse gebremst werden. Weiter nach rückwärts war die von der Firma Câbles de Lyon zur Verfügung gestellte Verlegemaschine aufgebaut. Dieser elektrisch angetriebene «Transporteur», bei dem das Kabel zwischen 2 Raupenbändern mitgenommen wird, erlaubte, die Ablaufgeschwindigkeit des

Kabels zu regeln, und zwar sowohl beim Abrollen als auch schon beim Aufrollen (Fig. 6). Im Heck befand sich das grosse Verlegerad, über das das Kabel in den See abrollte. Dort war, zur Kontrolle der auf das Kabel ausgeübten Zugkraft, ein Indikator angebracht. Die für den Betrieb der Motoren

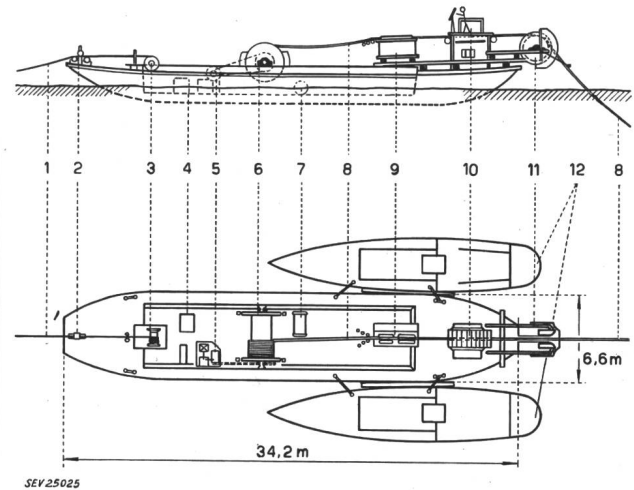


Fig. 5

Ausrüstung des Verlegeschiffes

1 Zugseil; 2 Durchlauf-Dynamometer; 3 Motorseilwinde; 4 75-PS-Dieselmotor; 5 Trommelantrieb; 6 Kabeltrommel mit Backenbremsen; 7 Öl-Hochdruckbehälter; 8 Ölkabel; 9 Raupenantrieb, reversibel; 10 Kommandoposten mit HF-Funkgerät und Telemeter; 11 Kabelablauf-Vorrichtung (Rad-Durchmesser = 2 m); 12 Begleitmotorboote

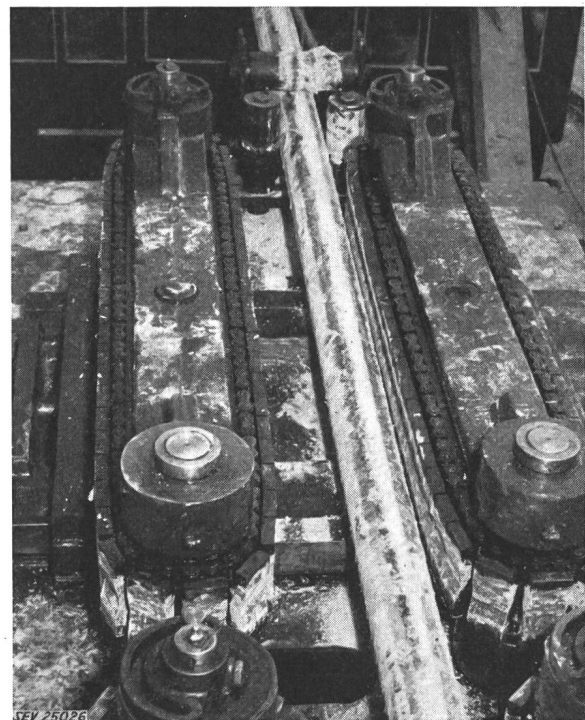


Fig. 6

Die Verlegemaschine geöffnet

(Kabelrolle, Verlegemaschine) und der Beleuchtung nötige elektrische Energie wurde mit Hilfe eines auf dem Schiff aufgestellten dieselgetriebenen Generators von 55 kW (75 PS) Leistung erzeugt.

Für die Verständigung mit den beiden Ufern waren wie bei den Profilaufnahmen tragbare Funkgeräte eingesetzt.

Für die Fortbewegung stand, neben dem bereits erwähnten Seilzug, der Schiffsmotor von 40 PS zur Verfügung. Da bei kleiner Fahrgeschwindigkeit die Wirkung des Steuerruders unsicher wird, waren zum Korrigieren der Abtrift beidseits des Verlegeschiffes Dieselmotorboote mit je 40 PS Leistung starr angekuppelt (Fig. 5 und 7).

Zum Einexerzieren der Schiffsmanöver wurde das Zugseil schon einige Tage vor der Kabelverlegung durch den See ausgelegt. Das Verlegeschiff wurde dabei über eine mit einem Dynamometer versehene Verankerung am Herrliberger Ufer festgebunden. Auf diese Weise konnten sowohl die von den Schiffsmotoren als auch von der Winde erzeugten Zugkräfte gemessen werden. Bei maximaler Leistung des Schiffsmotors zeigte das Dynamometer eine Zugkraft von 2,5 t an. Diese Kraft hätte genügt, um einen Ausfall der Seilwinde während des Verlegevorganges ohne Störung zu überstehen. Die Motorseilwinde brachte bei der gewählten Übersetzung eine Zugkraft von 5 t auf, so dass insgesamt 7,5 t verfügbar waren. Für den Fall von Störungen war überdies eine Reserve in Form eines Vorspannschiffes auf

gab die Verankerung in Thalwil infolge zu grosser Pressung auf das Erdreich nach. Obwohl keine grösseren Kräfte als 4 t vorgesehen waren, wurde die Seilverankerung verstärkt.

Der Einbau der Verlegeeinrichtung auf dem Lastschiff benötigte samt Probefahrt 9 Tage.

d) Antransport der Seekabel

Die eigentlichen Seekabel kamen von Lyon per Bahn nach Horgen, der einzigen Stelle am See, wo der rund 106 t wiegende Tiefgangswagen nahe ans Wasser gefahren werden konnte. Da jedoch kein Kran von genügender Tragfähigkeit zur Verfügung stand, musste der Umlad durch Umrollen auf eine vorher ins Schiff eingebaute leere Trommel erfolgen (Fig. 8). Bei diesem Vorgang wurden sowohl die Trommel auf dem Tiefgangswagen, als auch die

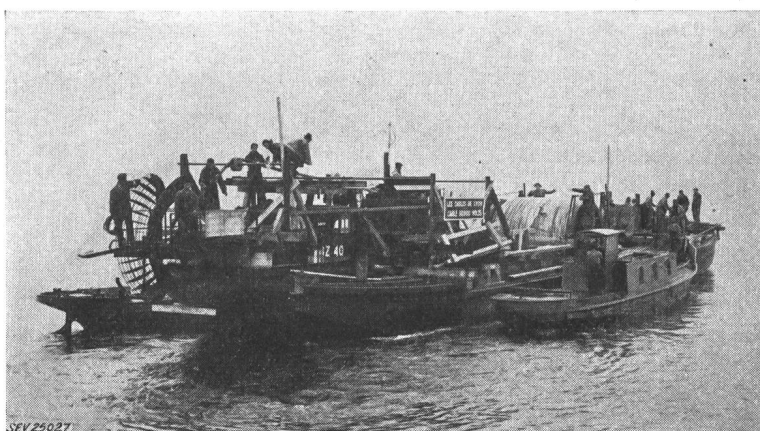


Fig. 7
Das Verlegeschiff mit den beiden
Begleitbooten

Pikett gestellt, das mit einem Motor von 250 PS ausgerüstet ist und das innerhalb einer halben Stunde auf den Platz hätte beordert werden können.

Bei der maximalen Seetiefe von rund 150 m beträgt das um den Auftrieb verringerte Gewicht des hängenden, abrollenden Teiles des Kabels etwa 2 t. Für die Fortbewegung der ganzen Flottille und das

jenige auf dem Schiff durch Elektromotoren gedreht. So konnte das Kabel ganz wesentlich geschont werden. Das sorgfältige Umwickeln benötigte 3 bis 4 Stunden. Nach dem Umwickeln des Kabels fuhr das Verlegeschiff mit eigener Kraft nach Herrliberg, wo das erste Kabel am 2. November 1954 anlangte.

e) Die Seekabellegungen

Die Windverhältnisse und die Ufergestaltung (steiles Ufer in Herrliberg) bedingten die Verlegung von Osten (Herrliberg) nach Westen (Thalwil). Die Verlegung des ersten Stranges erfolgte am 3. und 4. November, diejenige des zweiten Stranges am 8. November 1954.

Ölkabel sind ständig, also auch während der Verlegung unter Überdruck zu halten, damit die im Hochvakuum imprägnierte Aderisolation

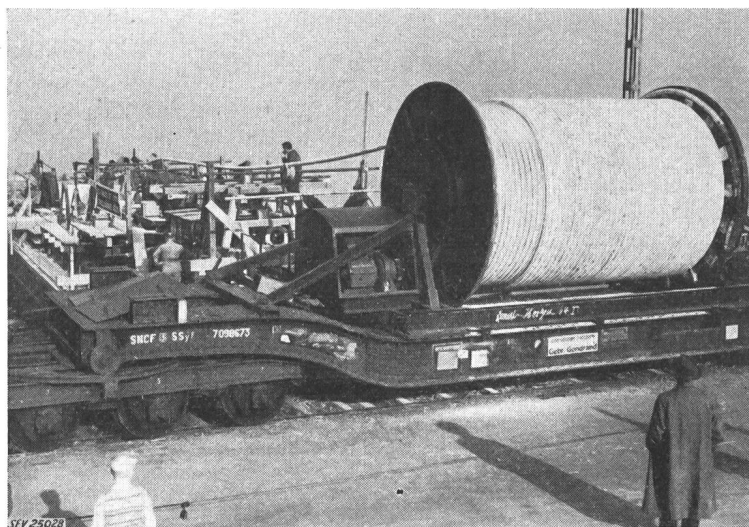


Fig. 8
Umwickeln des Seekabels in Horgen vom
Tiefgangswagen auf das Verlegeschiff
Links der Trommel deren Motorantrieb

Nachziehen des Kabels wurde mit einer Zugkraft von maximal 4 t gerechnet. Bei der grössten probe-weise erzeugten Zugkraft von 5 t auf das Zugseil

nicht Schaden leidet. Zu diesem Zweck stehen Ölreservoirs mit dem aktiven Teil des Kabels in Verbindung. Die Ölreservoirs ihrerseits werden durch gas-

gefüllte, aber geschlossene Dosen (Aneroid-Prinzip), welche als elastische «Lungen» wirken, stets unter Druck gehalten. So hat man die Gewähr, dass das Kabel dauernd mit Öl gefüllt bleibt, keine Hohlräume sich bilden und dass das Öl doch nicht mit Gas direkt in Berührung kommt. Lediglich während des Ausziehens des Kabelanfanges vom Seeufer in Herrliberg zur Übergangsstation Steinrad, für das ca. 50 Mann benötigt wurden, musste auf diese Massnahme verzichtet werden. Das Anschliessen dieser Ölreservoirs an das innere Ende auf der Schiffstrommel hätte sehr komplizierte und teure Einrichtungen erfordert. Andererseits war das Mitführen dieses Ölbehälters am wandernden Kabelanfang während der Verlegung der Landstrecke mit dem Fortschreiten nicht möglich wegen der Unterquerung der Seestrasse (durchziehen durch ein Rohr) und einiger Mauerdurchbrüche. Da dieser Teil der Verlegearbeit innert etwa einer Stunde durchgeführt werden konnte, half man sich, indem man vor dem Ab-

beiden Verlegungen eine Überfahrzeit von 2 Stunden, während das Auslegen des Zugseils, auf Hilfsbooten montiert, beidemal in 20 Minuten bewerkstelligt wurde (Fig. 9).

Der Verlauf der durch die Motorseilwinde auf das Verleges Schiff ausgeübten mittleren Zugkraft ist in Fig. 10 wiedergegeben. Die am Durchlauf-Dynamometer gemessene Zugkraft variierte allerdings viel stärker und sprunghafter, als dies aus dem Dia-



Fig. 9
Verlegen des Zugseils

trennen der Behälter einen etwas höheren Druck auf das Kabel gab, wodurch diese Zeitspanne leicht überbrückt wurde.

Von dem Moment an, wo der Kabelanfang in die Übergangsstation Steinrad eingeführt war, das heisst während der ganzen Seetraversierung, war das Kabel an alle 10 parallel geschaltete Ölbehälter von je

gramm ersichtlich ist; die Grenzwerte lagen bei 0 und 2600 kg. Die Massenträgheit der ganzen Schiffsbatterie wirkte sich ausgleichend auf den Kabelzug aus.

Die Verlegungen zeigten, dass mehrfache Sicherheitsvorrichtungen für den Ablauf der Kabel unbedingt nötig sind, wenn Schäden oder gar schwerwiegende Verluste vermieden werden sollen. Mechanische Störungen am Raupenantrieb und ein Durchziehen des Kabels zwischen den durch Talg und Jute stark verschmierten Raupenbacken des «Transporteurs» erforderten einige Male den Einsatz der mechanischen Backenbremse an der Kabeltrommel. Bei gleichbleibender Seetiefe war der Winkel zwischen der Vertikalen und dem vom Schiff ablaufenden Kabel ein direktes Mass für die Zugbeanspruchung des Kabels. Die Fahrgeschwindigkeit wurde weitgehend auf Grund der Beobachtungen dieses Winkels reguliert.

Der genaue Standort des Schiffes wurde während der Überfahrt vom Ufer aus laufend durch Triangulation ermittelt und dem Verlegeleiter auf dem Schiff durch HF-Funkgeräte gemeldet. Im weiteren standen für die Standortbestimmung Telemetermessungen und Kontrollmarken am Zugseil zur Verfügung. Überdies erlaubten Ablaufrollen mit Zählwerken laufende Längemessungen sowohl des Zugseils als des Kabels. Dank der sorgfältigen Vorbereitungen, dank aber auch der günstigen Witterung während der Verlegung, fielen die Längenabweichungen der im See verlegten Kabel gegenüber den vorausgerechneten Längen sehr gering aus.

Beim Kabel «Nord» musste auf der Herrliberger Seite wegen der Steilheit des Ufers auf die Ausknickung des Trasses verzichtet werden (Fig. 1b).

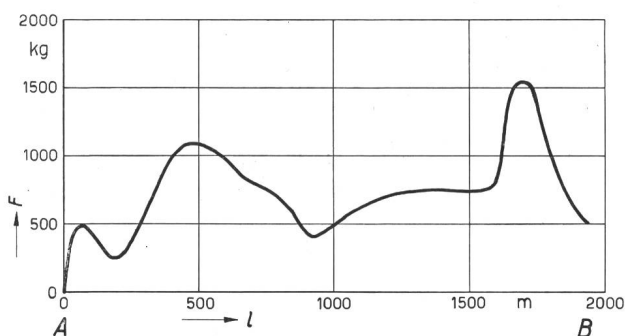


Fig. 10
Verlauf der Zugkraft im Seil während der Verlegung
F Zugkraft; l Entfernung von Herrliberg;
A Herrliberg; B Thalwil

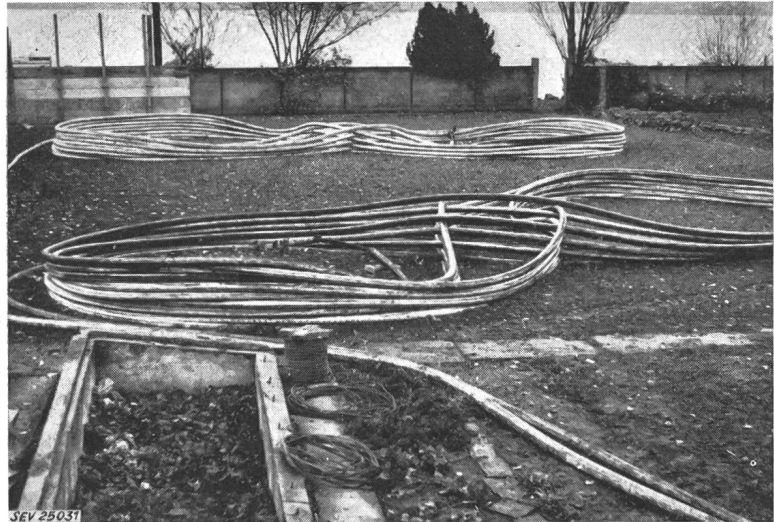
etwa 45 l aktivem Inhalt angeschlossen, die dort provisorisch installiert wurden. Im definitiven Zustand befinden sich in jeder Übergangsstation je 5 solcher Ölbehälter (Fig. 16).

Die Traktion des Verleges Schiffes mit Seilzug funktionierte einwandfrei. Insgesamt war bei jeder Verlegung ein Gewicht von etwa 200 t über den See zu befördern, woran die Schiffsschrauben nur in ganz untergeordnetem Masse beteiligt waren. Bei einer Uferdistanz von 1972 m benötigte man bei

Selbstverständlich bewirkten auch die Abrundungen an den Trasseknicken eine kleine Verkürzung. Die Ausmessung des Seeprofiles hatte wie erwähnt eine Trasselänge von 2064 bzw. 2067 m ergeben. Mit dem wiederholt ausgelegten Zugseil war eine Länge von 2059 m ermittelt worden. Die wirklich verlegten Kabellängen betragen, wie in Fig. 2 ersichtlich, 2039 m (Kabel Nord) und 2052 m (Kabel Süd).

Ziemlich zeitraubend waren je-
weilen die Manöver am Thalwiler
Ufer, wo der Rest des Kabels von
etwa 270 m Länge zunächst abgerollt
und aus dem Schiff ans Land gezogen
werden musste. Dieser Rest wurde
zunächst in einer Achterschlaufe auf-
gestapelt (Fig. 11) und dann an dem,
dem Verlegetag folgenden Tag, teils
von Hand, teils mit dem Spill in die
Übergangsstation Bürger eingezogen.
Für diese Arbeiten waren etwa 100
Mann nötig.

Fig. 11
Die in Thalwil in Achterschlaufen ausgelegten
Kabelenden



Die auf dem Seegrund liegenden Kabel sind durch ihre Hüllen gegen mechanische Verletzungen von aussen genügend geschützt. In den Uferpartien erachtete man dagegen als Schutz gegen Anker und Sticher eine zusätzliche Massnahme als unbedingt erforderlich. Die im ausgebagerten Graben genau parallel gelegten und von einem Taucher kontrollierten Kabel wurden daher vor dem Zuschütten des Grabens mit vollen Zementsäcken überdeckt. Zur Sicherung gegen stärkeres Abrutschen sind die Kabel an beiden Ufern unmittelbar über dem Wasserspiegel über schwere Betonblöcke geführt, auf denen sie angebridet sind. Die Briden wurden nach der Verlegung periodisch gelöst. Zum Ausgleich der durch das allmähliche Einsinken der Kabel im schlammigen Seegrund verursachten Vergrösserung der Länge zwischen den Befestigungspunkten mussten im Verlauf der ersten drei Wochen an jedem Ufer je total etwa 50 cm Kabellänge aus der Reserveschleife nachgelassen werden.

5. Die Landkabelstrecken

Bezüglich Trasse und Kabelart kann auf die Ausführungen in früheren Abschnitten verwiesen werden. Es war vorgesehen, auch die Landkabelstrecke sofort zu erstellen. In der Folge benötigte man aber für die Erwerbung der Durchleitungsrechte wesentlich mehr Zeit, so dass die Aufträge für die Landkabel erst im Juli 1954 erteilt werden konnten.

Damit bei allfälligen Störungen elektrische Messungen rasch vorgenommen werden können, entschloss man sich, die Sperrmuffen so unterzubringen, dass sie jederzeit zugänglich sind. Um in der noch offenen Landschaft nicht zu viele Gebäude erstellen zu müssen, aber auch, um bezüglich der Grenzabstände freier zu sein, entschied man sich für

unterirdische Schächte. Die Innenabmessungen derselben betragen 5 m (Länge) \times 2 m (Breite) \times 2,5 m (Höhe) und ihre Decke liegt etwa 60 cm unter der Geländeoberfläche. Der Zugang erfolgt durch einen mit Deckel verschlossenen Schacht von 60 cm Durchmesser.

Während die Seekabel und die sogenannten Übergangsstationen anfangs Dezember 1954 fertig

erstellt waren, ergaben sich bei den Muffenschächten, namentlich weil die Bauunternehmer mit Arbeit überhäuft waren, grosse Verzögerungen. In Thalwil konnte im Mai, in Herrliberg im Juni 1955 mit der Verlegung der ersten Teillängen begonnen werden. Ende September 1955 waren sämtliche Kabel verlegt und die Montagearbeiten in den Schächten beendet.



Fig. 12
Durch Ziehen mit einem Kabelstrumpf deformierter Kabelkopf

Auf der obren Teilstrecke in Thalwil sind im gleichen Kabelgraben ein weiteres 50-kV-Ölkabel für die Verbindung Thalwil-Wädenswil sowie drei 16-kV-Massekabel für das Zwischenspannungs-Verteilnetz eingelegt.

Die grössten Teillängen, zum Beispiel das in Herrliberg vorhandene Teilstück von 607 m, wurden in mehreren Etappen verlegt. Dabei zeigte sich aber, dass sich bei einem komplizierten Trasse mit vielen Kurven ein gleichzeitiges Ziehen von Hand und mit der Motorwinde nicht einwandfrei durchführen lässt. Als vorteilhaft erwies sich eine Verlegung in 2 Etappen. Dabei wurde zuerst von Hand gezogen, und das Stück für den zweiten Abschnitt auf einer Reserveschleife angelegt. Von dort wurde alsdann mit Motorwinde und Seilzug gearbeitet.

Einige Verlegeschwierigkeiten entstanden auch, weil die Zugarmierung nur einlagig ausgeführt ist und weil sie anfänglich nicht als Zugschlaufe über den Kabelabschlusskopf herausgeführt war. Kabel-

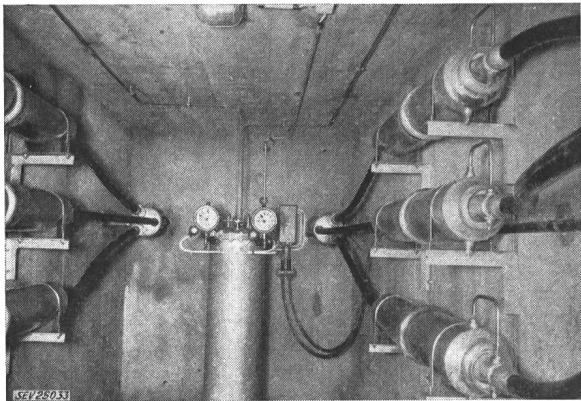


Fig. 13

Inneres eines Sperrmuffenschachtes

Hinten zwei Aufteilmuffen, links und rechts sechs Sperrmuffen, Ölbehälter mit Kontaktmanometern; Signalkabelkasten in der Mitte

strümpfe mit Zugschlaufen, über dem Kabelkopf angesetzt, haben sich für die Verlegung der Ölkabel nicht bewährt. Deren Anwendung führte wiederholt zur Streckung des Bleimantels am Kabelkopf

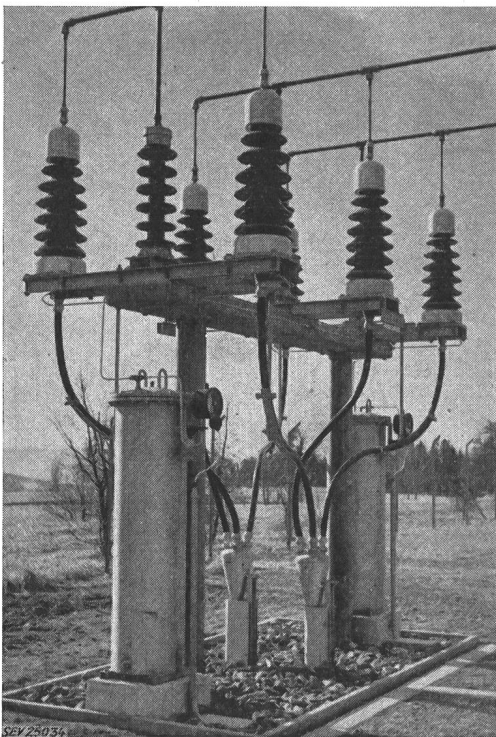


Fig. 14

Die Endverschlüsse der 50-kV-Kabel in der Freiluftanlage Herliberg

(Fig. 12) und zu kleineren Ölverlusten. Vorteilhaft erscheint die Doppelarmierung, wie sie bei den Seekabeln (Fig. 3) angewendet wurde.

Die Fig. 13 zeigt das Innere eines Muffenschachtes. An den beiden Wänden erkennt man je drei Sperrmuffen. Auf der Seite Thalwil musste der Raum indessen für 9 Sperrmuffen der 50-kV-Kabel

und für 6 Aufteilmuffen von 16-kV-Kabeln dienen. An der im Bild sichtbaren Schmalseite befinden sich 2 Öldruckbehälter, sowie der Verbindungskasten für das Signalkabel. Während der Anfertigung der Lötstellen war eine künstliche Belüftung der Schächte nicht zu umgehen. Sie erfolgte mit Hilfe eines Ventilators und eines Schlauches von 25 cm Weite, durch den Frischluft eingeblasen wurde.

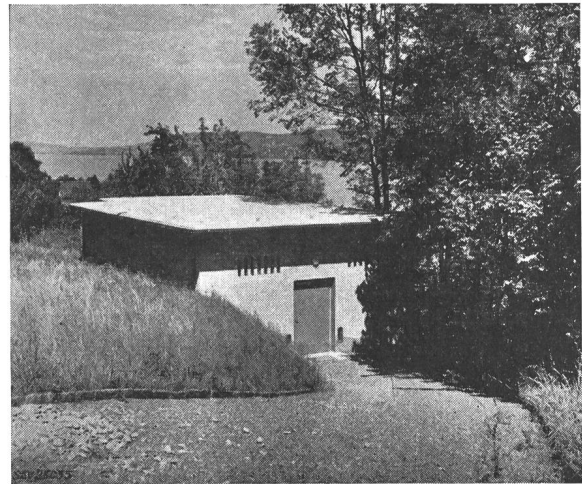


Fig. 15

Die Kabelübergangsstation «Bürger» in Thalwil

Im Unterwerk Thalwil laufen die 50-kV-Kabel in die dortige Innenraumanlage, während sie in Herliberg in einer Freiluftanlage endigen. Die Fig. 14 zeigt die Ausführung der Endverschlüsse in Herliberg.

6. Die Übergangsstationen

Die beiden Übergangsstationen sind auf gleicher Höhe angeordnet und liegen etwa 34 m über dem mittleren Seespiegel. Die grösste Seetiefe misst 153 m. Diese Anordnung wurde gewählt, damit bei einem allfälligen Schaden am Kabel der Öldruck im Innern des Kabels immer noch etwas grösser ist als der Wasserdruck.

Für die Übergangsstation in Thalwil (Fig. 15) musste ein grösseres Stück Land erworben werden. Später soll auf diesem eine Transformatorenstation

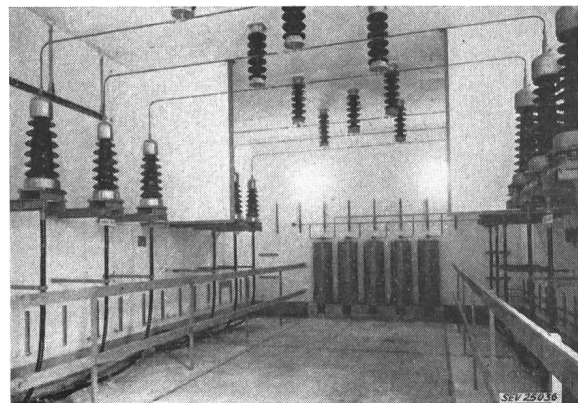


Fig. 16

Inneres der Übergangsstation «Steinrad»
Rechts die Seekabel, links die Landkabel
Im Hintergrund die Druckbehälter

für das Ortsnetz errichtet werden. Die Anordnung wurde im übrigen so getroffen, dass das Areal durch einen Wohnhausbau rationell ausgenützt werden kann. In Herrliberg konnte die Station in eine Böschung eingebaut werden. Das Innere einer solchen Übergangsstation, die prinzipiell gleich gestaltet sind, zeigt Fig. 16.

7. Schutz- und Signaleinrichtungen

Die 50-kV-Kabel sind durch distanzschutzüberwachte Ölstrahlschalter geschützt.

Zwischen dem Unterwerk Thalwil und der Übergangsstation Bürger einerseits und dem Unterwerk Herrliberg und der Übergangsstation Steinrad andererseits wurden Signalkabel verlegt und in die Muffenschächte eingeführt. Auf der Seite Thalwil sind 26 Adern vorhanden; davon dienen 12 \times 2,5 mm² normalen Betriebszwecken, während 14 Adern mit 1 mm² Querschnitt der Öldruck-Überwachung der eigentlichen Seekabel und der einzelnen Abschnitte der Landkabel dienen. Auf der Herrliberger Seite, wo für den Netzbetrieb keine Signalkabel benötigt werden (Wiederverkäufersgebiet) ist ein Kabel 16 \times 1 mm² + 2 \times 2,5 mm² verlegt. Die dickeren Adern dienen hier als 220-kV-Zuleitung zu den Muffenschächten, wo Beleuchtung und Steckdosen für kleine Werkzeuge angeschlossen sind. Fig. 17 zeigt das Schema der Signalanlage.

8. Kosten

Der Kostenvoranschlag konnte nicht ganz eingehalten werden, da die Verlegungsarbeiten der Landkabelstrecken bei sehr schlechter Witterung vorgenommen werden mussten, die Kabelgräben und Muffenschächte trotz ihrer Lage am Hang umfangreiche Entwässerungsanlagen nötig machten, und weil die Gemeinden das Einfüllen der Gräben mit Kies forderten. Einschliesslich der etwa 10prozentigen Überschreitung, in welcher auch die Kosten der rund 300 m Reservekabel sowie der Reserve-materialien enthalten sind, belaufen sich die Kosten der etwa 7,5 km langen zweisträngigen Kabelanlage und des etwa 1 km langen 50-kV-Kabelstückes für die Leitung Thalwil-Wädenswil auf rund 2,5 Millionen Franken.

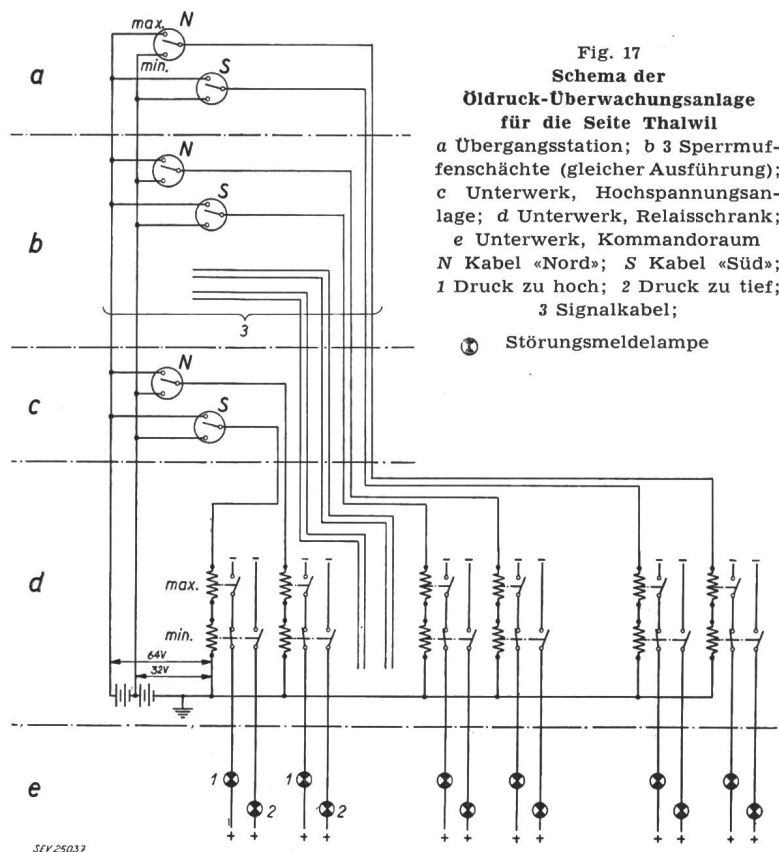
9. Messungen, Inbetriebnahme und Erfahrungen

Die an den fertigen Kabeln vor und nach der Verlegung sowie an Probeabschnitten durchgeführten Abnahmeprüfungen zeitigten durchwegs günstige Ergebnisse. Nachdem durch oszillographische Messungen auch noch festgestellt worden war, dass die vorgeschalteten 50-kV-Schalter bei allen Belastungszuständen, insbesondere auch beim Leer-schalten richtig arbeiten, erfolgte die Inbetriebnahme der Kabel am 5. Dezember 1955.

Wie die bisherigen Erfahrungen zeigen, kann sich die Wartung der Kabelanlage auf wenige Kontrollgänge im Jahr beschränken. Störungen sind bis jetzt nicht aufgetreten.

10. Dank

Die ganze Kabelanlage konnte ohne wesentliche Abweichungen vom Programm oder Unfälle fertig-



gestellt werden. Dies ist um so bemerkenswerter, als insbesondere bei den Verlegearbeiten eine enge Zusammenarbeit zwischen Arbeitsgruppen verschiedener Branchen, wie Kabelmonteure, Schiffsleute, Bauarbeiter usw., die zudem nicht alle die gleiche Sprache redeten, nötig war. Dank dem grossen und freudigen Einsatz aller Beteiligten ist das Werk restlos gelungen. Dafür danken die EKZ allen Beteiligten.

Literatur

- [1] Leuch, H.: Die 50-kV-Kabelleitungen des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich. Bull. SEV Bd. 18(1927), Nr. 9, S. 551...563.
- [2] Elektrizitätswerk des Kantons Zürich: Hochspannungskabel im Zürichsee. Bull. SEV Bd. 19(1928), Nr. 23, S. 756...761.
- [3] Schneeberger, P. E.: Die Hochspannungsanlage der Kraftwerke Oberhasli A.-G. Bull. SEV Bd. 20(1929), Nr. 22, S. 753...767.
- [4] Grob, E.: Die 50-kV-Kabelleitung Manegg-Selnau des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich. Bull. SEV Bd. 21(1930), Nr. 6, S. 193...197.
- [5] Grob, E.: Das 50-kV-Drehstromölkabel Drahtzug—Selnau des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich. Bull. SEV Bd. 23(1932), Nr. 9, S. 197...206; Nr. 16, S. 425.
- [6] Ein zweites Seekabel im Zürichsee. Bull. SEV Bd. 31(1940), Nr. 9, S. 214.
- [7] Leimgruber, W.: Hochspannungskabel durch den Zürichsee. Bull. SEV Bd. 32(1941), Nr. 12, S. 267...271.
- [8] Neue 50-kV-Kabel in Zürich. Bull. SEV Bd. 34(1943), Nr. 21, S. 656.
- [9] Hochspannungskabel durch den Thunersee. Bull. SEV Bd. 38(1947), Nr. 21, S. 668.
- [10] Verlegung eines Öldruckkabels in Atlanta (USA). Bull. SEV Bd. 39(1948), Nr. 7, S. 245...246.

Adresse der Autoren:

E. Schilling, Dipl. Ing., Direktor des Elektrizitätswerkes der Stadt Biel, Biel (BE); H. Wüger, Dipl. Ing., Direktor der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich, Postfach Zürich 1.