

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke
Band: 23 (1932)
Heft: 9

Artikel: Das 50-kV-Drehstrom-Oelkabel Drahtzug-Selnau des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich
Autor: Grob, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1059321>

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: 03.04.2026

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

SCHWEIZERISCHER ELEKTROTECHNISCHER VEREIN

BULLETIN

REDAKTION:
Generalsekretariat des Schweiz. Elektrotechn. Vereins und des
Verbandes Schweiz. Elektrizitätswerke, Zürich 8, Seefeldstr. 301

VERLAG UND ADMINISTRATION:
Fachschriften-Verlag & Buchdruckerei A.-G., Zürich 4
Stauffacherquai 36/38

Nachdruck von Text oder Figuren ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit Quellenangabe gestattet

XXIII. Jahrgang

N^o 9

Mittwoch, 27. April 1932

Das 50-kV-Drehstrom-Oelkabel Drahtzug-Selnau des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich.

Von Dipl.-Ing. E. Grob, Oberingenieur des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich.

621.315.2(494)

Unter Hinweis auf das Ausbauprogramm der Energieversorgung der Stadt Zürich beschreibt der Autor die im Herbst 1931 verlegte Drehstrom-Oelkabelleitung, welche die beiden Unterwerke Drahtzug und Selnau miteinander verbindet. Dieses Kabel ist das erste Oelkabel, das in der Schweiz verlegt wurde und die erste Seekabelverlegung eines Oelkabels überhaupt. Es werden Angaben gemacht über die Verlegungs- und Montagearbeiten und die prozentualen Kosten der Anlage.

En se référant au programme prévu pour le développement de l'approvisionnement de la ville de Zurich en énergie électrique, l'auteur décrit le câble triphasé à huile posé l'automne dernier entre les deux sous-stations Drahtzug et Selnau. C'est le premier câble à huile posé en Suisse et la toute première pose d'un câble à huile sous l'eau. Une description des travaux de pose et de montage, ainsi que quelques données sur le coût de l'installation complètent cet article.

Aus Gründen der Betriebssicherheit erwies sich die Speisung und Verbindung der drei Unterwerke Drahtzug, Selnau und Letten des Elektrizitätswerkes der Stadt Zürich (EWZ) durch eine leistungsfähige 50-kV-Kabelanlage mit den Fernleitungen und unter sich als eine Notwendigkeit.

Da die Freileitungen nur bis an die Peripherie der Stadt herangeführt werden können, wurden mit dem Bau des Unterwerkes Drahtzug im Jahre 1926 die ersten 50-kV-Einleitermassekabel ($6 \cdot 150 \text{ mm}^2$) auf der Strecke Eichhalde—Drahtzug zum Anschluss des Unterwerkes Drahtzug an die Fernleitung B des Albulawerkes verlegt (siehe Bull. SEV 1927, Nr. 9).

Im Jahre 1929 erfolgte mit dem Neubau des Unterwerkes Selnau der Anschluss dieses Unterwerkes an die Fernleitung A des Albulawerkes mit 50-kV-Einleitermassekabeln ($6 \cdot 240 \text{ mm}^2$) auf der Strecke Manegg—Selnau (s. Bull. SEV 1930, Nr. 6).

Der Zusammenschluss der beiden Unterwerke Drahtzug und Selnau durch ein 50-kV-Drehstromölkabel ($3 \cdot 150 \text{ mm}^2$) wurde im Jahre 1931 durchgeführt.

Im Jahre 1932 sollen die Verbindungskabel zwischen den Unterwerken Selnau und Letten und von da bis zur Haupttransformatorstation Schlachthof zum Anschluss an die Limmattalleitung des Kraftwerkes Wettingen verlegt werden, und als Schluss des vorläufigen Ausbauprogrammes erfolgt später die Verbindung der Unterwerke Letten und Oerlikon zum Anschluss an die Furttalleitung des Kraftwerkes Wettingen und die Fernleitung B des Albulawerkes (Fig. 1).

I. Projektierung der 50-kV-Kabelleitung Drahtzug—Selnau.

Die 50-kV-Kabelleitung Drahtzug—Selnau führt durch das Zentrum der Stadt Zürich. Um die

Schwierigkeiten der Kabellegung mitten durch die Stadt zu umgehen, war es verlockend, den Zürichsee und den Schanzengraben als Trasse für die Kabelleitung zu benützen. Um jedoch die Wasserstrecken ohne Muffen verlegen zu können, waren Einzellängen von ca. 1200 m nötig.

Die Projektierung im Jahre 1929 ergab als notwendigen Querschnitt $3 \cdot 240 \text{ mm}^2$ für Drehstrommassekabel. Die beiden Wasserlängen von je ca. 1200 m hatten je ein Gewicht von 50 t netto und von 60 t mit Trommel. Die Verlegung eines solchen Kabels wäre sehr schwierig gewesen. Einphasenkabel mit Eisenbandarmierung waren technisch nicht möglich und solche mit unmagnetischer Armierung waren im Preise sehr teuer und boten für die Verlegung grosse Schwierigkeiten.

Die Projektierung im Jahre 1930 benützte die Möglichkeit der Verlegung von Drehstromölkabeln. Im Hinblick auf die Erwärmung hätte ein Drehstromölkabel von $3 \cdot 120 \text{ mm}^2$ genügt; aus wirtschaftlichen Gründen aber ist für die vorliegenden Verhältnisse ein Oelkabel von $3 \cdot 150 \text{ mm}^2$ gewählt worden.

Das Gewicht des Oelkabels beträgt für $3 \cdot 150 \text{ mm}^2$ bei 1200 m Länge 31,7 t netto und 40,4 t mit Trommel.

Die konstruktive Ausbildung der Oelkabel verlangte im Jahre 1930 infolge der Niveaudifferenzen der Unterwerke Drahtzug und Selnau eine sogenannte Sperrmuffe am Anfang der Wasserstrecke, also eine Zweiteilung der Kabelanlage, und bedingte damit in der Mitte der Kabelstrecke eine unterirdische Station mit Ausgleichgefässen und einer ziemlich komplizierten Apparatur. Diese Lösung befriedigte vom betriebstechnischen Standpunkt aus nicht. Die Kabelfabrik legte im Frühjahr 1931 eine Neukonstruktion vor, die eine be-

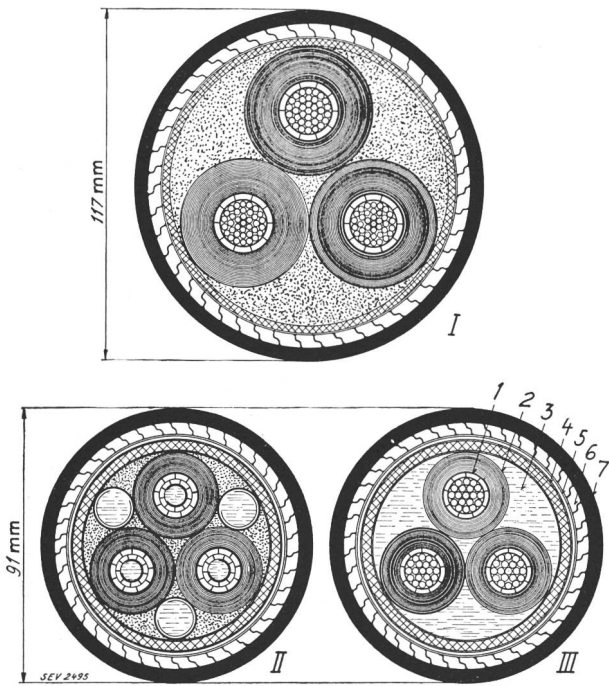


Fig. 2.

- Kabelquerschnitte der Projekte 1929 bis 1931.
 I Projekt 1929. Massekabel $3 \times 240 \text{ mm}^2$.
 II Projekt 1930. Oelkabel mit besonderen Oelkanälen und Jutebeilauf.
 III Projekt 1930, Ausführung. Oelkabel $3 \times 150 \text{ mm}^2$.
 1 Kupferseele.
 2 Papierisolation (darüber durchlochte Aluminiumfolie nach Höchststädter).
 3 Oelweg.
 4 Bleimantel.
 5 Bandeisensarmierung.
 6 Flach- resp. Z-Drahtarmierung (erstere für Land-, letztere für Seestrecken).
 7 Juteumhüllung.

gen durch den Betrieb Veränderungen erfahren kann. Da die Tränkmasse der Kabel sich bei Erwärmung mehr ausdehnt als der Bleimantel, besteht bei rascher Abkühlung des Kabels die Gefahr der Hohlrumbildung, welche die Lebensdauer der Kabelisolation beeinträchtigt. Diesem Nachteil kann nur begegnet werden, indem man grosse Kupferquerschnitte und grosse Isolationsdicke wählt. Für die verlangte Uebertragungsleistung hätte bei Verwendung von Massekabeln ein Querschnitt nach Fig. 2 I gewählt werden müssen, woraus sich für die nötigen Fabrikationslängen von ca. 1200 m Gewichte ergeben hätten, die nur mit Schwierigkeiten zu bewältigen sind. Einphasenkabel kamen, wie bereits erwähnt, nicht in Frage. Die Lösungsmöglichkeit boten Oelkabel.

Beim Oelkabel wird eine zuverlässige und gleichmässige Durchtränkung der Kabelisolation erreicht, die auch im Betrieb erhalten bleibt, da infolge des im Kabel liegenden freien Oeldurchflussquerschnittes stets ein genügender Oelzufluss bei Belastungsschwankungen gewährleistet ist. Bei zunehmender Erwärmung des Kabels kann das Oel in die Expansionsgefässe austreten und bei Abkühlung strömt das dünnflüssige Oel sofort aus den Expansionsgefässen zurück. Deshalb kommt man bei Oelkabeln mit bedeutend geringeren Isolationsdicken und Kupferquerschnitten aus, so dass sich

gemäss Fig. 2 III Querschnitte und Gewichte ergeben, die wesentlich unter denjenigen für Massekabel liegen und mit den vorhandenen Mitteln beherrscht werden können.

Die Vergebung erfolgte an die Siemens EAG in Zürich als Vertreterin der Siemens-Schuckert-Werke, Berlin-Gartenfeld, die neben der Firma Pirelli (Mailand) zur Zeit als einzige Firma in Europa Oelkabel baut.

II. Technische Daten des Kabels.

Verkettete Betriebsspannung . . .	50 kV
Querschnitt	$3 \cdot 150 \text{ mm}^2$
Isolationsdicke	7 mm
Bleimanteldicke	3,5 mm
Offene Bandeisenspirale	1·0,5 mm
Flachdrahtarmierung für Landstrecken	8·7,5·2,0 mm
Höhe der Z-Drahtarmierung für Wasserstrecken	4,2 mm
Gewicht des Landkabels	20 600 kg/km
Gewicht des Seekabels	25 500 kg/km
Durchmesser des Landkabels . . .	82 mm
Durchmesser des Seekabels . . .	91 mm
Dauerstrom	435 A
Induktivität pro Phase	0,365 mH/km
Kapazität pro Phase	0,283 $\mu\text{F}/\text{km}$
Ladestrom bei 50 kV und 20° C pro Phase	2,55 A/km
Maximaler Spannungsgradient bei 50 kV Drehstrom, resp. 28,9 kV gegen Erde	5830 V/mm

Um die Kabel glimm- und strahlungsfrei zu halten, wurde nach Höchststädter jede einzelne isolierte Kabelader vor dem Verseilen mit durchlöchernten Aluminiumfolien umgeben.

III. Disposition der Verlegung.

Da die Landkabel wegen des Oeldruckes infolge der Niveaudifferenzen armiert werden mussten, war die Verlegung in geschlossenen Kabelsteinen,

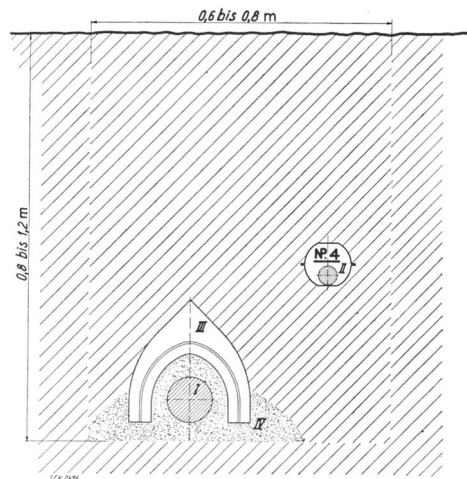


Fig. 3.

- Kabelgraben Drahtzug-Seeefeldquai.
 (Maßstab ca. 1:15).
 I 50-kV-Kabel.
 II Telephon-, Signal- und Fernmesskabel.
 III Formstein Hunziker Mod. No. 11.
 IV Sandbett.

wie sie bei unarmierten Kabeln nötig ist, zu umgehen. Das Kabel wurde in Sand gebettet und mit Zementsteinen abgedeckt (Fig. 3 und 9). Um Luft-räume zu vermeiden, wurden die Abdecksteine im Sandbett eingepresst und die Steine selbst an den sich überlappenden Fugen mit Zementmörtel verstrichen, damit der Sand nicht ausgewaschen werden kann.

Um die Montagekosten zu reduzieren, war die Verlegung von möglichst grossen Längen notwendig. Die Längen waren aber einerseits begrenzt durch den Kabeltransportwagen, der eine maximale Kabellast inklusive Trommel von 20 t zulies, andererseits durch die Bedingung, dass nicht mehr als ein Strassenzug gleichzeitig gesperrt werden durfte.



Fig. 4.
60-t-Spezialeisenbahnwagen für Kabeltransport.

Auf den Wasserstrecken war die Länge vorgeschrieben, da im Wasser keine Muffen verlegt werden sollten. Für den Transport der Kabel von Berlin nach Zürich standen 60-t-Spezialtransportwagen zur Verfügung (Fig. 4).



Fig. 5.
Streckeneinteilung Drahtzug-Selnau.

T ₁	Unterwerk Drahtzug-Zollikerstr.	564 m
T ₂	Zollikerstrasse-Seefeldstrasse.	310 „
T ₃	Seefeldstrasse-Seefeldquai.	755 „
T ₄	Seefeldquai-Bürkliplatz.	1135 „
T ₅	Bürkliplatz-Unterwerk Selnau	1195 „
		<u>3959 m</u>

S_I Schacht Zollikerstrasse.
S_{II} Schacht Seefeldstrasse.
S_{III} Schacht Seefeldquai.
S_{IV} Schacht Bürkliplatz.

Daraus ergab sich folgende Streckeneinteilung (Fig. 5):

	Länge m	Gewicht	
		ohne Trommel t	mit Trommel t
T ₁ Drahtzug—Zollikerstr.	564	11,95	14,6
T ₂ Zollikerstr.—Seefeldstr.	310	6,62	8,8
T ₃ Seefeldstr.—Seefeldquai	755	16,1	19,1
T ₄ Seefeldquai—Bürkliplatz	1135	29,1	37,3
T ₅ Bürkliplatz—Selnau	1195	31,7	40,4
Total	3959	95,47	

IV. Fabrikation und Prüfung der Kabel im Kabelwerk.

Die Fabrikation der Oelkabel erfolgt genau gleich wie bei den Massekabeln, bis auf die Imprägnierung. Statt mit Kabelmasse wird das Kabel mit einem dünnflüssigen entgasten Oel imprägniert. Während das Kabel durch die Bleipresse läuft, wird unter konstantem Druck Oel durch das Kabel gepresst. Das fertig gepresste blanke Kabel wird zur Kontrolle auf Fehler im Bleimantel hernach während sechs Stunden unter 4½ kg/cm² Druck gehalten.

Während der Armierung des Kabels steht dasselbe ständig unter 4½ kg/cm² Oeldruck, so dass jeder Fehler am registrierenden Oeldruckmesser angezeigt wird. Die innere Eisenbandarmierung dient zur Aufnahme der radialen Druckkomponente, die äussere Flachdrahtarmierung (bei den Wasserkabeln Z-Drahtarmierung) dient zur Aufnahme der achsialen Zugkomponente bei der Verlegung, resp. als Schutz gegen mechanische Verletzungen durch Anker usw. auf den Wasserstrecken. Nach der fertigen Armierung des Kabels wird dasselbe auf die definitive Versandtrommel aufgewickelt, mit 10 kg/cm² während 24 Stunden geprüft und hernach mit Expansionsgefässen, die den Druck während des Transportes in bestimmten Grenzen halten, versehen.

An jeder fertigen Länge wurden folgende Versuche vorgenommen:

- Spannungsprüfung mit 75 kV Wechselspannung 50 Per./s in der Schaltung 3 Leiter gegen Erde während 20 Minuten;
- Messung der dielektrischen Verluste bei Raumtemperatur zwischen 20 und 70 kV von 10 zu 10 kV;
- Messung des Isolationswiderstandes;
- Messung der Kapazität;
- Messung des Leiterwiderstandes.

An Prüfstücken, die von jeder fertigen Länge abgeschnitten wurden, erfolgten folgende Spezialversuche:

- Biegeprobe um einen Kern vom 15fachen Kabeldurchmesser;
- Zeitdurchschlagsversuche;
- Abhängigkeit der dielektrischen Verluste von der Temperatur;
- Bestimmung der Erwärmung bei Normallast und der Stromwärmeverluste.

Da das Kabel gegenüber 50-kV-Massekabeln mit 12 mm Isolationsdicke nur 7 mm Isolationsdicke hatte, so war die Garantie für die Zeitdurchschlagskurve auf 100 kV während 100 Stunden festgesetzt worden.

Da nach den Ergebnissen von Vorversuchen bei einer Prüfung mit 120 kV ein Zeitdurchschlag nicht zu erwarten war, so wurde mit 150 kV Prüfspannung begonnen.

Das Versuchsstück wurde während 100 Stunden mit 150 kV (maximale Beanspruchung des Isoliermaterials am Leiter 30,5 kV/mm) geprüft. Das Kabel zeigte hierbei eine unbedeutende und kon-

stante Uebertemperatur von 3 bis 4° C. Hiernach wurde die Spannung auf 175 kV gesteigert (maximale Beanspruchung des Isoliermaterials am Leiter 35,5 kV/mm). Auch diese Spannung hielt das Versuchsstück während 100 Stunden anstandslos aus. Die Uebertemperatur des Kabels stieg auf 5 bis 6° C und blieb konstant. Sodann wurde die Spannung auf 200 kV gesteigert (maximale Beanspruchung des Isoliermaterials am Leiter 40,5 kV/mm) und das gleiche Versuchsstück mit dieser Spannung während 100 Stunden weiter geprüft. Die Uebertemperatur des Kabels stieg auf 7 bis 8° C und blieb konstant. Weiter wurde die Spannung auf 225 kV gesteigert (maximale Beanspruchung des Isoliermaterials am Leiter 45,7 kV/mm). Die Uebertemperatur des Kabels stieg hierbei auf 8 bis 9° C und blieb wieder konstant. Nach 37 Stunden 26 Minuten erfolgte der Uberschlag in einem Endverschluss von der Bandage auf der Keule nach der Leiterspitze in dem von Hand aufgetragenen Endenschutz. Das Kabelstück selbst wurde daraufhin abgeschaltet und untersucht. Die Kabelisolation war mit Ausnahme der Uberschlagsstelle an der Keule absolut intakt.

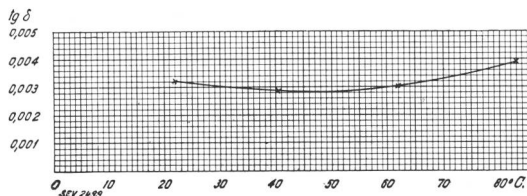


Fig. 6.

$\text{tg } \delta \left(= \frac{\text{Dielektrische Verluste}}{\text{Ladeleistung}} \right)$ bei 30 kV der drei verbundenen Adern gegen Erde in Funktion der Temperatur. (Abnahmeversuche in den SSW, Berlin.)

In Fig. 6 sind die dielektrischen Verluste in Abhängigkeit von der Temperatur dargestellt bei einer Spannung von 30 kV gegen Erde. In Fig. 7 sind die dielektrischen Verluste bei Raumtemperatur (22° C) zwischen 20 und 70 kV gegen Erde, gemessen mit der Scheringbrücke, dargestellt.

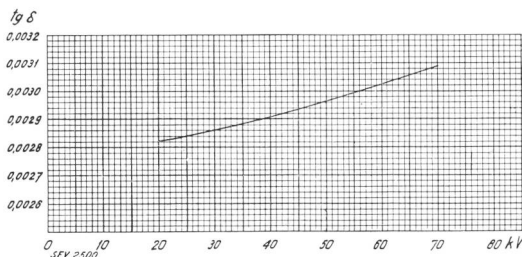


Fig. 7.

$\text{tg } \delta$ bei 22° C in Funktion der Spannung der drei verbundenen Adern gegen Erde. (Abnahmeversuch in den SSW, Berlin.)

Der Erwärmungsversuch an einem 20 m langen Versuchskabel ergab bei dem vorgeschriebenen Dauerstrom von 435 A (wobei das Kabel ohne Abdeckungen auf dem Boden lag) eine Uebertemperatur am Leiter von 64,5° C bei einer Aussen-temperatur von 23,2° C.

Für die Endverschlüsse war eine Prüfspannung von 152 kV und eine Ueberschlagsspannung > 167 kV vorgeschrieben. Die Ueberschlagsspannung der Isolatoren betrug bei den Versuchen 183 kV.

Der Transport der Kabel erfolgte bei einer mittleren Kabeltemperatur von 23° C. Die in den Versandtrommeln eingebauten Expansionsgefäße wurden so eingestellt, dass sich bei einer Temperaturschwankung von $\pm 11^\circ \text{C}$ folgende Oeldrücke im Kabel einstellten:

bei 12° C = 0,5 kg/cm²,
bei 23° C = 1,6 kg/cm²,
bei 34° C = 2,8 kg/cm².

In Fig. 4 sind die auf den Spezialwaggons von je 60 t Tragkraft aufgebockten Versandtrommeln mit dem Kabel beim Verlassen des Kabelwerkes der SSW dargestellt. Es ergaben sich sehr langgestreckte Trommeln, obschon das Bahnprofil maximal ausgenutzt wurde.

V. Verlegung der Kabel.

a) Landkabel.

Zuerst wurden die drei Landkabelnängen verlegt. Hierfür stand ein 20-t-Kabelwagen der SSW zur Verfügung. Die erste Kabellänge von 564 m

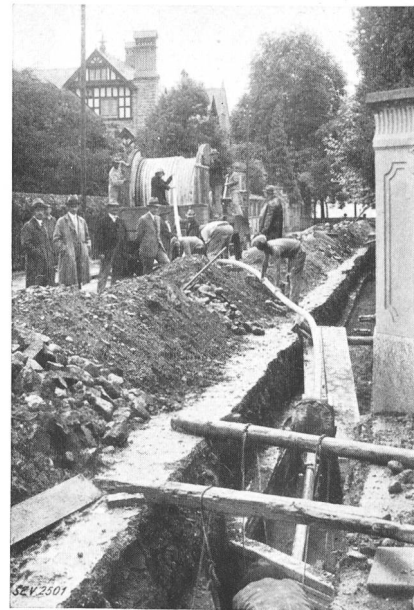


Fig. 8.
Verlegen des Landkabels vom Wagen aus über Rollen.

wurde auf der ganzen Länge über Kabelrollen eingezogen. Da das Kabel wegen seines grossen Durchmessers von Hand nicht gut gefasst werden konnte, wurden streckenweise, wo der Graben ziemlich tief war, spezielle Ziehgurte verwendet. Während der Verlegung war das Expansionsgefäß angeschlossen und das Kabel unter 2 kg/cm² Druck. Nach der Verlegung wurde das Kabelstück bis zur Muffenmontage an ein Montageexpansionsgefäß angeschlossen, das am tiefsten Punkt des Kabels auf 2 kg/cm² eingestellt war. Für die Raschheit, mit der die Kabelverlegung erfolgte, ist bemerkenswert, dass 24 Stunden, nachdem das Kabel auf dem Bo-

densee die Schweizergrenze erreicht hatte, dasselbe schon zugedeckt im Boden lag.

Die zweite Länge von 311 m wurde wie die erste Länge verlegt.



Fig. 9.
Einbetten des Landkabels im Kabelgraben.
(Sand- und Zementsteine.)

Die dritte Länge von 755 m, mit einem totalen Gewicht von 19,1 t inklusive Kabelrolle, wurde auf 355 m eingezogen, der Rest konnte, da keine Hindernisse im Wege waren, vom Wagen aus verlegt werden, wobei je ca. 100 m vom Wagen auf der Strasse abgerollt und dann in den Graben gelegt wurden.

b) Verlegung auf der Seestrecke.
Für die Wasserstrecken stand das grösste Ledischiff des Zürichsees der Firma Genossenschaft Steinfabrik Zürichsee mit einer Ladefähigkeit von

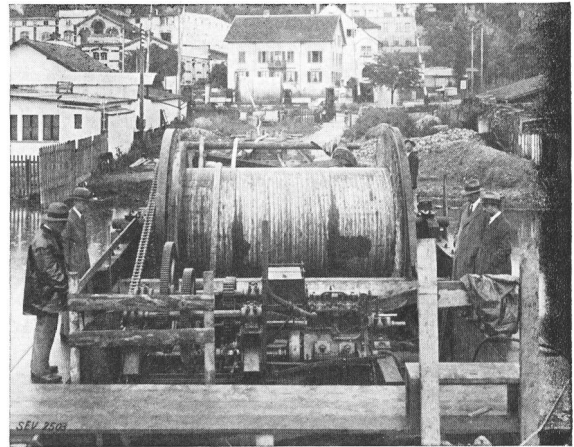


Fig. 10.
Umwickeln der See-Kabellänge vom Eisenbahnwagen auf das Verlegungsschiff.

250 t zur Verfügung. Die Verlegungsmaschinerie und die eiserne Spezialtrommel (7 t) für die Verlegung, die mit dem Drehkran der Kibag in Tiefenbrunnen direkt vom Eisenbahnwagen auf das Ledischiff verladen werden konnte, wurden von den SSW leihweise zur Verfügung gestellt. Die Kabel-

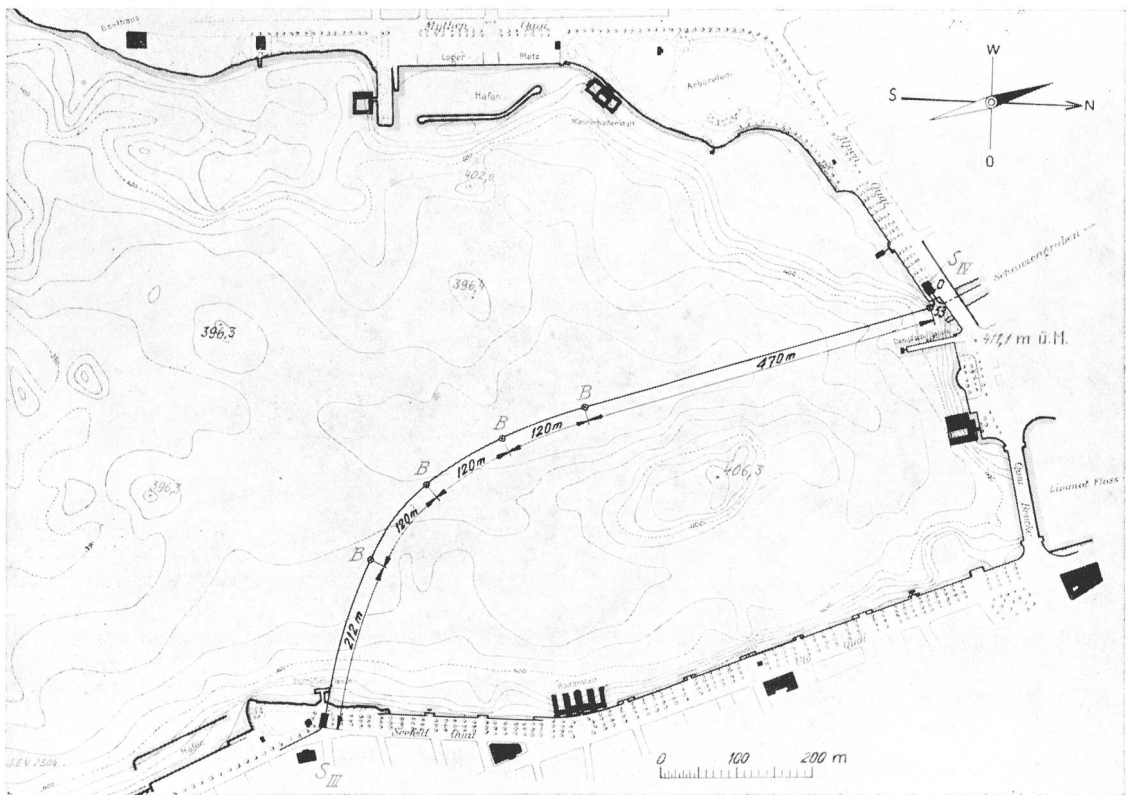


Fig. 11.
Topographie des Seebeckens, mit eingezeichnetem Trasse des 50-kV-Kabels und den für die Verlegung gesetzten Bojen (B).
Maßstab 1:10000. Aequidistanz 2 m. Die mittlere Seespiegelhöhe beträgt 408,6 m ü. M.

länge wurde vom 60-t-Eisenbahnwagen über Kabelrollen direkt auf die eiserne Kabelrolle im Schiff umgewickelt (Fig. 10). Mit einem 50-PS-Benzinmotor konnte das Kabel in vier Stunden umgerollt werden. Gleichzeitig mit dem 50-kV-Oelkabel wurde ein 20adriges Telephon-, Signal- und Fernmesskabel der Kabelwerke Brugg mitverlegt. Dieses Kabel, mit einem Bleimantel von 3 mm Dicke und einer doppelten Armierung aus 1,2 mm dickem verzinktem Flachdraht und 3 mm verzinktem Runddraht, hat einen Aussendurchmesser von 47 mm und ein Gewicht von 7150 kg/km. Das Kabel wurde wie das 50-kV-Kabel auf das Schiff umgewickelt, zur gleichzeitigen Verlegung, im Abstände von ca. 5 m.

Das untere Zürichseebecken hat sehr viele Untiefen von nur einigen Metern (Fig. 11). Mit Rücksicht auf die Schifffahrt wurde das Kabel in die sogenannte «Föhrrinne» des Seebodens gelegt. Das Kabel liegt dabei fast auf der ganzen Länge in 15 bis 19 m Seetiefe. Die Ufer steigen an beiden Verlegungsenden sehr rasch an. Hier wurde mit einem Wasserstrahl eine Rinne ausgebagert, das Kabel nach der Verlegung mit Betonplatten abgedeckt und die Rinne hernach wieder mit Lehm und Schutt ausgefüllt.

Für die Verlegung wurden durch das Vermessungsamt der Stadt Zürich am Tage vor der Verlegung in bestimmten Abständen 5 Bojen, bestehend aus je 2 aneinandergebundenen und mit Betonklötzen verankerte Tonnen ausgelegt, sowie je am Ufer ein Richtungssignal aufgestellt.

Die Verlegung selbst erfolgte vom Bürkliplatz aus, wo das Schiff am Vorabend vor Anker ging und das Kabelende unter der Ufermauer eingezogen wurde.

Für den Kabelzug waren notwendig:

- das Verlegungsschiff mit einem 75-PS-Motor;
- 1 Schlepper links vom Schiff mit einem 50-PS-Motor;
- 1 Schlepper rechts vom Schiff mit einem 50-PS-Motor;
- 1 Vorspannmotorboot zur Richtungshaltung mit einem 50-PS-Motor.

Während der Kabellegung waren sämtliche Motoren unter Vollast, damit das Kabel gut ablaufen konnte; ausserdem musste der 50-PS-Ver-

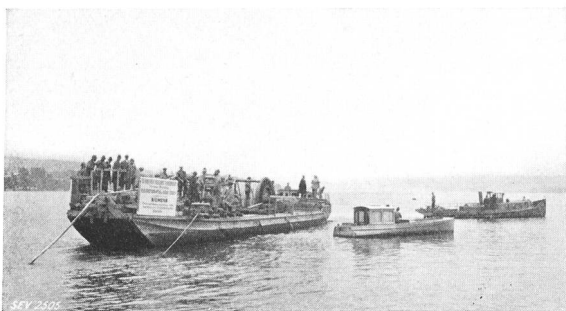


Fig. 12.

Verlegen der Kabel im See. Links das 50-kV-Kabel, rechts das Telephon-, Signal und Fernmesskabel.

legungsmotor auf dem Verlegungsschiff die Kabeltrommel in Gang halten, da der Abzug des Kabels durch das eigene Gewicht des Kabels infolge der geringen Seetiefe nicht genügte. Die ganze Verlegung (Fig. 12) ging, als alle Schiffe richtig manövrierten und eingearbeitet waren, in einem Zuge vor sich und drei Stunden nach der Abfahrt konnte das Kabel im Seefeldquai gelandet werden.

Die Direktion der Zürcher Dampfbootgesellschaft hatte in zuvorkommender Weise während der Verlegungsdauer den Kurs der Dampfboote ausserhalb des Verlegungstrasses gelegt. Die Kontrolle des jeweils ausgegebenen Kabels konnte bei der Vorbeifahrt an jeder Boje nachkontrolliert werden, da bereits im Kabelwerk am Kabel in bestimmten Längen rote Bandagen für die Längenkontrolle angebracht worden waren.

c) Verlegung im Schanzengraben.

Der Schanzengraben führt vom Ausfluss des Zürichsees bis auf 300 m an das Unterwerk Selnau heran. Da das Kabel bei einem Gewicht von 40,4 t

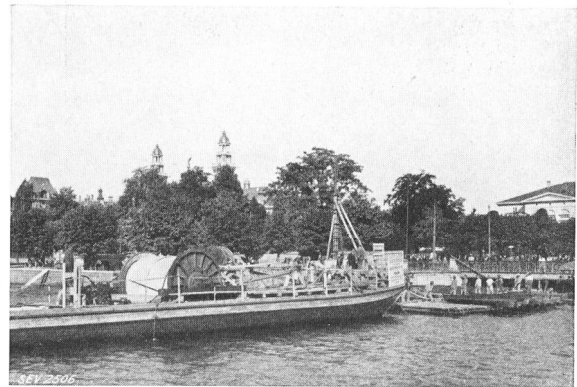


Fig. 13.

Verlegung des 50-kV-Kabels im Schanzengraben vom Bürkliplatz aus. Einrichtung am Bürkliplatz.

nur im Tiefenbrunnen, wie das Seekabel, umgewickelt werden konnte, musste die Verlegung wieder vom Bürkliplatz aus erfolgen. Die ganze Länge wurde, da 5 Brücken über den Schanzengraben

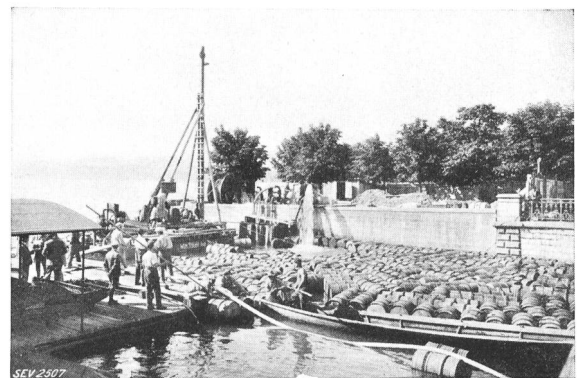


Fig. 14.

Verlegung des 50-kV-Kabels im Schanzengraben vom Bürkliplatz aus. Flosslager am Bürkliplatz.

unterfahren werden mussten, die z. T. nur 90 cm über dem Wasserspiegel liegen, auf Flößen eingeschwemmt und die letzten 300 m noch über Land gezogen.

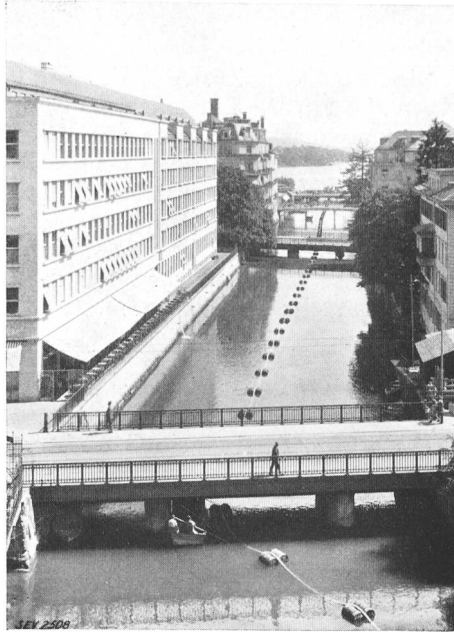


Fig. 15.
Kabelzug im Schanzengraben.

Es waren hiezu 360 leichte Eisenfässer von je 200 l Inhalt notwendig, die, je zu zweien gekuppelt, 180 schwimmende Flöße ergaben, auf die im Abstand von je 6 bis 7 m das Kabel gelegt wurde. Als Zugkraft dienten 2 zusammengekuppelte Motorboote. Unter allen Brücken waren Pontons mit Mannschaft verankert, die das Kabel durch Führungsstangen in der Mitte des Flussbettes hielten (Fig. 13, 14, 15 und 16).

Sämtliche Pontons unter den Brücken, sowie Kabelschiff und Landungsplatz beim Unterwerk Selnau waren mit einer internen Feldtelephonanlage, die tags zuvor verlegt wurde, versehen. Diese Telephonanlage hat sich auf dem unüber-sichtlichen Trasse für Kommandogabe und Ueber-



Fig. 16.
Spitze des Kabelzuges im Schanzengraben.

wachung der ganzen Kabellegung, besonders auch am Schluss bei der Versenkung des Kabels auf den Grund sehr gut bewährt.

Die Verlegung konnte in 12 Stunden durchgeführt werden. Die Versuche für diese Verlegungsart, die für Kabel erstmals in diesem Umfange angewendet wurde, wurden vorerst an einem kurzen Kabelstück im Kabelwerk gemacht. Zwei Tage vor der Verlegung des 50-kV-Drehstromkabels wurde das Telephon-, Signal- und Fernmeldekabel auf die nämliche Art und Weise verlegt.

VI. Montage der Muffen.

Da die Kabel mit einem dünnen Oel gefüllt sind, musste für die Muffenmontage ein besonderes



Fig. 17.
Wickeln der Muffen. Links und rechts am Kabel sind die bleiernen Abschlusskappen zu sehen.

Verfahren angewendet werden. Bevor die beiden zu muffenden Kabelenden angeschnitten werden konnten, mussten die Kabelenden durch flüssige Luft abgekühlt werden, damit das Oel erstarrte und beim Abschneiden nichts herausfloss. Durch eine sinnreiche Vorrichtung der SSW wird eine bleierne Abschlusskappe (Fig. 17) über die drei Adern des Drehstromkabels angebracht und mit dem zurückgeschnittenen Bleimantel verlötet. Diese bleierne Abschlusskappe schliesst die Oelwege nach aussen ab, so dass das Oel, wenn es nach einer Stunde wieder dünnflüssig wird, nur noch in solcher Menge

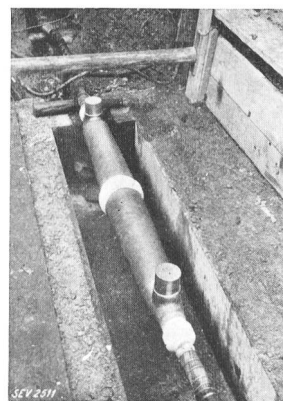


Fig. 18.
Bis auf die Juteumhüllung fertige Kabelmuffe im Betonschacht.

tropfenweise austritt, die für die von Hand zu wickelnde Verbindungsisolierung nötig ist. Nach Beendigung der Muffenmontage wird die Muffe

evakuiert und mit heissem Oel ausgespült. Hernach werden die in der Abschlusskappe eingebauten Ventile geöffnet, worauf von Kabellänge zu Kabellänge durchgehende Oelwege geschaffen sind (Fig. 18).

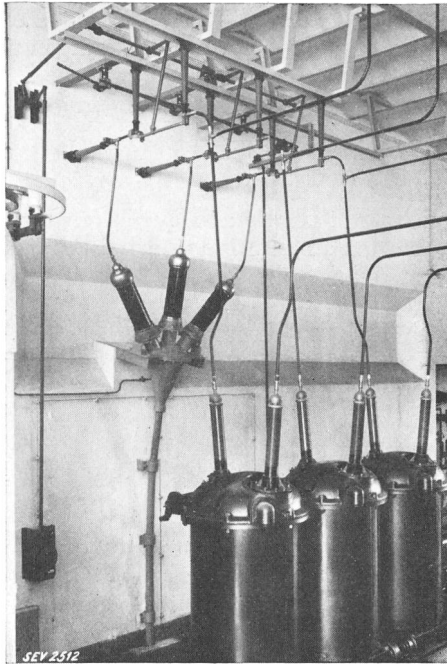


Fig. 19.

Kabelverschluss im Unterwerk Drahtzug.

Kabelverschlüsse. Der Montagevorgang der Kabelverschlüsse beginnt wiederum mit dem Abfrieren des Kabelendes, um den Oelaustritt zu verhindern. Der Kabelverschluss selber wird nach fertiger Montage mit heissem Oel ausgespült und unter Druck gesetzt, damit allfällige Undichtheiten festgestellt werden können. Durch einen besondern Apparat wird das Oel nochmals entgast, um die letzten Luftreste zu entfernen (Fig. 19).

VII. Expansionsgefässe.

Nach beendigter Montage bildet das Kabel ein kommunizierendes Rohrsystem zwischen den um 4 km auseinanderliegenden Endpunkten, da von Endverschluss zu Endverschluss der Oeldurchfluss vollkommen durchgängig ist. Das Kabel hat ca. 7,6 t Oelinhalt.

Da nun das Kabel bei Temperaturänderungen des Wassers und des Bodens einerseits und anderseits durch die Temperaturänderung bei Belastung der Leiteradern atmet, so ist dasselbe an beiden Enden an Expansionsgefässe angeschlossen. Die Höhenlage der beiden Expansionsgefässe ist um 22 m verschieden. Sie müssen daher, um ein Auslaufen des Oeles am tieferliegenden Ende zu vermeiden, unter einem von der Atmosphäre unabhängigen Druck stehen, um die Oelsäule bei allen Belastungszuständen im Gleichgewicht zu halten. Da ein Druckluftkissen sich im Oel, das absolut gasfrei sein muss, aber auflösen würde, so musste

ein indifferentes Gas gefunden werden, das öln unlöslich ist. Versuche mit Stickstoff ergaben, dass das Oel einen gewissen Prozentsatz Stickstoff aufnehmen kann. Als einziges Gas, das sich als öln unlöslich gezeigt hat, wurde Helium gefunden. Die Expansionsgefässe resp. das Oelkabel stehen deshalb unter Heliumdruck. Als Kuriosität mag hier erwähnt werden, dass das verwendete Helium aus den USA stammt. Sein Transport war der erste Heliumtransport von Amerika nach Europa.

Im Unterwerk Drahtzug sind vier parallelgeschaltete Expansionsgefässe zu je 100 l aufgestellt und daneben noch zwei Reservegefässe zu je 100 l,

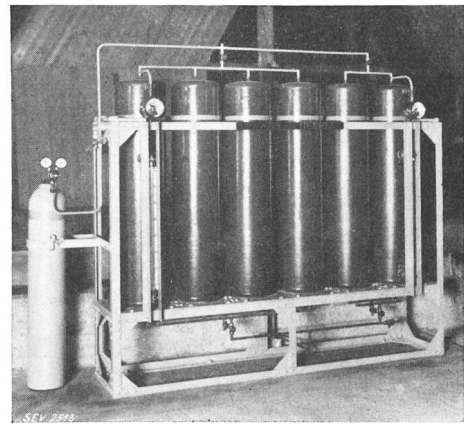


Fig. 20.

Expansionsgefässe im Unterwerk Drahtzug, links die Heliumflasche.

gefüllt mit ausgekochtem und entgastem Oel. Im Unterwerk Selnau, das 22 m tiefer liegt, sind sechs Expansionsgefässe zu je 115 l und ein Reservegefäss zu 115 l aufgestellt. Die Heliumflaschen stehen neben den Expansionsgefässen, die in beiden Werken im Dachstock, je ca. 8 bis 10 m über dem Endverschluss aufgestellt sind, damit der Endverschluss immer unter Oeldruck bleibt.

Die Kupferrohrleitungen von den Endverschlüssen bis zu den Expansionsgefässen, die Verbindungen der Expansionsgefässe untereinander und die Expansionsgefässe wurden nach fertiger Montage abgepresst, um allfällige Undichtheiten feststellen zu können. Die Expansionsgefässe sind mit Kontaktmanometern versehen, die sowohl bei zu hohem Druck (zu starker Belastung) als auch bei zu tiefem Druck (Auslaufen des Oeles infolge eines Defektes) ein Alarmsignal betätigen.

VIII. Abnahmeversuche am fertig verlegten Kabel.

Die Abnahmeversuche wurden durch die Technischen Prüfanstalten des SEV durchgeführt. Die Spannungsprobe wurde mit 120 kV Gleichstrom gegen Erde während einer Stunde vorgenommen. Die gemessenen Werte für Leiterwiderstand, Isolationswiderstand, Kapazität, dielektrische Verluste, stimmten mit den im Prüffeld der SSW ermittelten Werten genau überein.

Daran anschliessend erfolgte der Erwärmungsversuch mit Nennstrom, um die Wirkung der Expansionsgefässe genau beobachten zu können. — Fig. 21 zeigt das Resultat des Erwärmungsversuches.

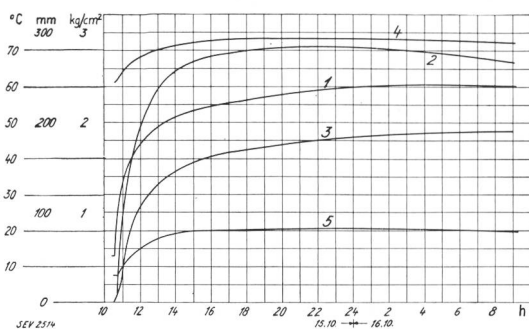


Fig. 21.

Erwärmungsversuch am 50-kV-Oelkabel (Abnahmeversuch der Technischen Prüfanstalten des SEV nach der Verlegung). Belastung: Nennlast (435 A).

- 1 Kupfertemperatur, ermittelt aus der Widerstandszunahme.
- 2 Oelniveau der Expansionsgefässe Selnau.
- 3 Oelniveau der Expansionsgefässe Drahtzug.
- 4 Ueberdruck (kg/cm²) Selnau.
- 5 Ueberdruck (kg/cm²) Drahtzug.

Vernachlässigt man die Volumenänderung des Kabels während des Versuches, so ergibt sich beim betriebsfertig verlegten Kabel bei einer Belastung mit 435 A eine mittlere Uebertemperatur des Oeles von 26° C. Die Uebertemperatur des Kupfers betrug beim Versuch max. 47° C. Am Kabelende im Unterwerk Drahtzug hatte die Armatur eine Temperatur von 33½° C bei 13½° C Umgebungs-

temperatur. Im ganzen traten aus dem Kabel im Drahtzug 76,8 und im Selnau 80,7 l Oel aus; der maximale Druck an den Expansionsgefässen stieg im Drahtzug von 0,3 auf 0,82 kg/cm², im Selnau von 2,44 auf 2,93 kg/cm².

Seit 17. Oktober 1931 ist das Kabel betriebsbereit. Während des Winters 1931/32 diente das Kabel als Sicherheitsreserve bei Störungen und war nur kurzzeitig im Betrieb. Im Frühjahr 1932, mit der Vollendung der Bauarbeiten im Unterwerk Selnau, kommt das Kabel in Normalbetrieb. Ueber Betriebserfahrungen liegen daher noch keine Resultate vor. Das EWZ hat mit der Verbindung der Unterwerke Drahtzug-Selnau durch ein Drehstromölkabel eine leistungsfähige und bei Störungen für kurze Zeit stark überlastbare Kabelverbindung geschaffen.

Das Kabel kann dauernd mit 37 500 kVA bei 50 kV belastet werden und bei Störungen während einer Stunde, nach vorangegangener Dauerlast von ¾ Normallast, mit 46 000 kVA, ohne dass eine schädliche Erwärmung eintritt.

IX. Kosten der Anlage.

Die Gesamtkosten der ca. 4 km langen Kabelanlage betragen annähernd 400 000 Fr., also rund 100 000 Fr. pro km.

Prozentual teilen sich diese Kosten auf in

- 56 % für das 50-kV-Kabel;
- 6 % für das Signalkabel;
- 38 % für Verlegung und Montage.

Technische Mitteilungen. — Communications de nature technique.

Die Wirtschaftlichkeit elektrischer Glühlampen in Abhängigkeit von der Betriebsspannung.

621.326

In der letzten Zeit berichten Pressemeldungen in verschiedenen Ländern von neuen Lichtquellen, deren Lichtausbeute ein Vielfaches des Wertes betragen soll, der heute mit den besten Glühlampen erreicht werden kann. Die Mitteilungen, die auf neuere Patentanmeldungen zurückgehen, sind meist übertrieben optimistisch und geben Erwartungen Ausdruck, die in dem vorausgesagten Umfang in der nächsten Zukunft wohl noch nicht erfüllt werden dürften. Richtig ist, dass in den lichttechnischen Forschungsinstituten der ganzen Welt eifrig an der Weiterentwicklung der bekannten und an der Ausbildung neuer Lichtquellen gearbeitet wird, um dem Ziele, die Lichterzeugung wirtschaftlicher zu gestalten, näher zu kommen. Zurzeit ist bekanntlich ein Wirkungsgrad von etwa 12 % in der Umsetzung elektrischer in Lichtenergie der beste Wert, der mit Glühlampen erreicht werden kann. Die bisherigen Arbeiten an der Entwicklung neuer Lichtquellen sind teilweise recht erfolgversprechend, aber es ist zu bedenken, dass ausser der gewünschten Steigerung der Lichtausbeute noch viele zusätzliche Anforderungen, besonders hinsichtlich Sicherheit und Einfachheit des Betriebes, zu erfüllen sind, bis diese Lampen Einlass in die Praxis finden können. Es ist zwar durchaus möglich, dass auf Sondergebieten die Entwicklung schneller fortschreiten wird; für die normalen Beleuchtungszwecke aber müssen wir uns für die nähere Zukunft noch mit der elektrischen Glühlampe in der heute üblichen Ausführung zufrieden geben.

Gibt es nun eine «ewige» Glühlampe, oder wenigstens eine solche, die unter normalen Verhältnissen, z. B. im Haushalt, zehn oder zwanzig Jahre benutzt werden kann?

Diese Frage ist zu bejahen. Es bereitet dem Lampenfabrikanten nicht die geringsten Schwierigkeiten, eine solche Lampe herzustellen.

Eine andere Frage ist die, ob dem Verbraucher mit einer solchen Lampe gedient ist, und diese Frage muss ebenso unbedingt verneint werden, wie die erste zu bejahen war.

Es ist ein oft begangener Irrtum, anzunehmen, dass die Güte einer Lampe lediglich von ihrer Lebensdauer abhängt. Richtig ist vielmehr, dass eine Glühlampe in ihrer Qualität in gleicher Weise ausser durch ihre Lebensdauer auch durch ihre Lichtausbeute bestimmt ist. Wer eine Lampe, z. B. von 25 Watt, in Betrieb nimmt, erwartet eine bestimmte Lichtleistung, die zu dem gedachten Beleuchtungszweck erforderlich ist; er will weder eine kleinere noch eine grössere Lichtleistung erhalten, denn sonst würde er statt der 25-Wattlampe eine solche von 15 oder 40 Watt eingesetzt haben.

Die gewählte Lampe soll möglichst wenig kosten, soll recht lange halten und ausserdem den gewünschten Lichtstrom mit möglichst geringem Aufwand an elektrischer Energie liefern.

Der Wirkungsgrad der Lampe kommt in ihrer Lichtausbeute (gemessen in Lumen/Watt) zum Ausdruck; eine Lampe, die zur Erzeugung einer bestimmten Lichtleistung möglichst wenig elektrische Energie benötigt, muss also eine hohe Lichtausbeute haben. Diese Forderung steht aber dem allgemein verbreiteten Wunsch nach einer hohen Lebensdauer der Lampen entgegen, denn Lichtausbeute und Lebensdauer stehen in einem unabänderlichen physikalischen Zusammenhang und durch die Festlegung eines dieser Werte ist (bei gleicher Güte der Fabrikation) auch der andere bestimmt. Hieraus ergibt sich für den Verbraucher der Wunsch nach Lampen, deren Lichtausbeute und Lebensdauer