

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 95 (2004)
Heft: 24-25

Artikel: Felssturz unter Wasser zerreisst Hochspannungskabel
Autor: Burgener, Hans-Peter / Buschauer, Peter / Freudiger, Thomas
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-858026>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 17.05.2025

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

Felssturz unter Wasser zerreisst Hochspannungskabel

Bergung und Neuinstallation einer 50-kV-Seekabelverbindung

Ein Geländeabbriss im Thunersee unterbricht die Hochspannungsleitung, die unter Wasser von Spiez nach Oberhofen führt. Das defekte Ölkabel wird geborgen und mit einem XLPE-isolierten Kabel ersetzt. Ein vorgängig abgesenkter Rohrblock und Kabel mit einem mechanisch stabilen Schirm erlauben die Verlegung von grossen Längen. Dadurch wird die Zahl der Muffen verringert.

Anfang September 2003 wird das 50-kV-Öl-Seekabel, das im Thunersee von Spiez nach Oberhofen führt, durch einen Unterwassergeländeabbriss beschädigt. Das gerissene Öl-Papier-Kabel mit Baujahr 1962 ist vom Typ PoPbT-FF $3 \times 95 \text{ mm}^2$ mit einem Bleischirm und

Hans-Peter Burgener, Peter Buschauer, Thomas Freudiger

einer Armierung. Es war für eine Leistung von 31,5 MVA ausgelegt. Damit die Stromversorgung im Gebiet sichergestellt ist und das Öl den See nicht verschmutzt, entschliesst sich der Energieversorger, das Kabel umgehend zu bergen und ein neues zu verlegen. Bild 1 zeigt den im See unterbrochenen 50-kV-Ring und die 16-kV-Zuleitungen im betroffenen Gebiet. Durch den Ausfall der Seeleitung ist die n+1-Sicherheit nicht mehr gewährleistet.

Zuerst den Fehler finden

Mit Hilfe einer Widerstandsmessung und der Zeitbereichsreflektometrie [1] wird der Fehler gesucht. Dabei werden zuerst die Widerstände der einzelnen Leiter zum Schirm (Erde) und zwischen den Phasen gemessen (siehe Tabelle I). Die Messwerte zeigen einen satten dreiphasigen Erdschluss. Das austretende Öl sowie der Kurzschluss zwischen den Phasen lassen darauf schliessen, dass der Kabelmantel zerstört wurde und die drei Leiter mit Wasser in Kontakt sind. Da der Widerstandswert zwischen den Phasen R und T kleiner als 100Ω ist, kann der Fehler mit der Niederspannungsreflektometrie lokalisiert werden. Die Reflexions-

messungen zeigen, dass der Fehler ca. 900 m vom Kraftwerk Spiez entfernt liegt. An dieser Stelle ist der Thunersee etwa 120 m tief – für Taucher zu tief. Diese tauchen mit Mischgasen maximal 65 m. Die Schadensstelle wird deshalb mit Unterwasserkameras besichtigt. Die Bilder erweisen sich aber, abgesehen von Kratern mit Durchmessern von einigen Metern, als wenig aufschlussreich. Das Kabel ist auf den Aufnahmen nirgends zu sehen.

Der Energieversorger will das Ölkabel aus Umweltschutzgründen bergen. Dazu braucht er Informationen über das tatsächliche Kabeltrasse im See, die Dicke der Sediment-Überdeckung sowie Informationen über andere Kabelverbindungen und Objekte, die die defekte Leitung kreuzen. Das Kabeltrasse wird mit Hilfe der Tieffrequenzlochmetrie bestimmt, die 3...3,5 m in die Sedimente eindringt. Sie lässt auf eine Sedimentschicht zwischen 0,2 und 2,5 m schliessen. Nach Abschätzungen und Vergleichen mit der

Topologie werden stellenweise sogar Überdeckungen von bis zu 4,5 m angenommen. Geologische Untersuchungen der Sedimente ergeben, dass das Kabel schätzungsweise mit 1500 daN im Sediment zurückgehalten wird. Abgesehen von einem 16-kV-Kabel, das im Küstenbereich auf der Spiezer Seite im Abstand von einigen Metern parallel zum defekten Kabel verläuft, werden durch Katasterauszüge keine Kreuzungen durch andere Objekte festgestellt.

Bergen, ohne dass Öl ausläuft

Von den an der Bergung beteiligten Firmen wird verlangt, dass das defekte Kabel vollständig entfernt wird, ohne dass Öl aus dem Kabel austritt – weder im Wasser noch an Land. Der See darf ausserdem nicht durch die Sedimente getrübt werden, die am Kabel haften. Da sich die Wetterlagen am Thunersee schnell ändern, darf die Bergung nicht lange dauern. Basierend auf all diesen Anforderungen wird das Kabel in zwei Etappen geborgen. In einer ersten Etappe wird das Kabel im Uferbereich geschnitten, abgedichtet und ausgezogen.

In der zweiten, grösseren Etappe wird die Kabelstrecke im See entfernt. Um das Risiko eines Ölaustritts zu minimieren, sollte eigentlich das Öl vor dem Bergen abgesaugt werden. Durch die tiefe Wassertemperatur von ca. 4°C in 170 m Tiefe ist die Viskosität des Mineralöls hoch, zusätzlich verhindert das Ansaugen von Sedimenten das vorzeitige Entleeren des Kabels.

Da Öl leichter als Wasser ist, kann das gefüllte Kabel trotzdem ohne Risiko geborgen werden. Die spezifische Dichte des Mineralöls beträgt $0,87 \text{ kg/dm}^3$, somit verhindert der Druck der Wassersäule ein Austreten des Öls. Das Kabel muss nicht in einer aufwändigen Operation unter Wasser repariert werden. Das gefüllte Kabel wird auf einem Ponton direkt aufgewickelt, um es in einer möglichst kurzen Zeit zu bergen. Zeitaufwändige Kabelschnitte werden minimiert – und damit auch das Risiko eines Ölaustritts. Für die Bergung wird ein LKW mit Aufrollvorrichtung auf einem Ponton mit 200 t Nutzlast befestigt. Die Aufrollvor-

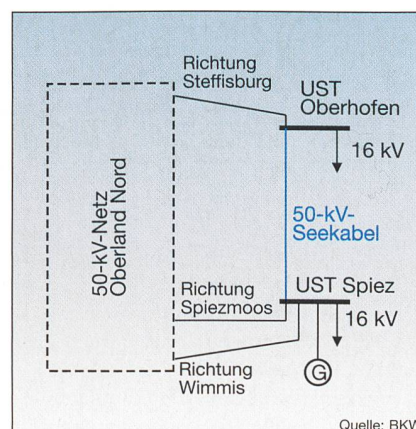


Bild 1 50-kV-Versorgungsring um Thun mit Unterstationen (UST) Oberhofen und Spiez

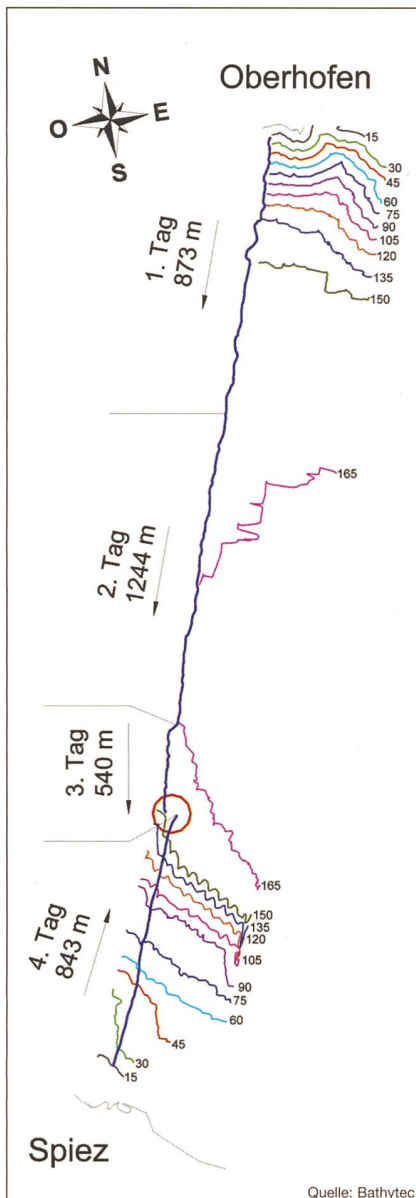


Bild 2 GPS-Aufzeichnung der Fahrt des Pontons während der Bergung

richtung weist eine maximale Zugkraft von 7000 daN auf.

Unter Berücksichtigung der Kabelmasse (16,4 kg/m), des Auftriebs und der entsprechenden Seetiefe ergibt die Aufzeichnung der Zugkräfte, dass das Kabel mit 500 bis 2200 daN im Schlack zurückgehalten wurde. Die Bergung des Seekabels dauert 4 Tage. Das Ponton folgt



Bild 3 Teil der gerissenen Stelle

durch das Aufrollen automatisch dem Kabel. Dabei werden Längen von 873, 1244 und 540 m von Oberhofen her bis zur Fehlstelle gehoben (Bild 2). Die aufgezeichneten Zugkräfte zeigen, dass das Kabel bereits vor dem Bergen an der Schadensstelle gerissen war. Das letzte Teilstück (843 m) wird von Spiez her geborgen. Ein GPS (Global Positioning System) überwacht die Position des Pontons während der ganzen Bergung. Dabei wird die Position ständig mit dem vorab aufgenommenen Trasse verglichen. Zu grosse Abweichungen oder ein Drehen um die Achse mit hohen Kräften am Fusspunkt des Kabels im Sediment können damit verhindert werden.

Das Kabel ist gerissen

Bild 2 zeigt den mittels GPS aufgenommenen Verlauf des Pontons bei der Bergung im Bereich des Fehlers. Gut ersichtlich sind die beiden um ca. 100 m getrennten Positionen, die in etwa den Positionen der beiden Kabelenden auf dem Seegrund entsprechen. Eine solch extreme Trennung der Kabelenden deutet auf einen Unterwassergeländeabriss hin, der zum Bruch des Kabels führte. Der parallele Verlauf zu den Höhenlinien sowie die vom Hang wegweisende Richtung der Kabelenden unterstützen die Hypothese.

Diese wird zusätzlich durch die nachträgliche Untersuchung der gerissenen Stelle (Bild 3) im Labor erhärtet. Bild 4a und b zeigen duktile Brüche sowohl auf den Leiterdrähten als auch auf der Armierung. Diese Bruchform tritt bei überhöhten Zugkräften auf. Die Bruchkraft des Leiters lag bei 5700 daN und diejenige eines Flachdrahts bei 180 daN, so dass bei 63 Flachdrähten und unter Vernachlässigung aller anderen Schichten eine durch den Geländeabriss verursachte Bruchkraft von mindestens 17000 daN auf das Kabel einwirken mussten.

Ein neues Kabel muss her

Um die n+1-Versorgungssicherheit am rechten Thunerseeufer wieder herzustellen, muss der unterbrochene Ring (Bild 1) geschlossen werden. Das neue Kabel soll also möglichst schnell in Betrieb genommen werden. Folgende Kriterien gelten:

- Umweltverträgliche Lösung
- Erhöhte Versorgungssicherheit
- Schnelle Inbetriebnahme
- Lange Lebensdauer
- Ökonomisch vertretbare Lösung

Eine neue Seekabelverbindung kristallisiert sich als beste Lösung heraus. Für diese Variante gibt es grundsätzlich zwei Lösungen:

Phase	R	S	T	R
Phase -Erde	200 Ω	800 Ω	200 Ω	
Phase-Phase	1000 Ω	700 Ω	10 Ω	

Tabelle I Widerstandsmessung

Anforderung	
Nennspannung U/U_0	60/36 kV
Blitzstossspannung	325 kV
Dreiphasen-Kurzschlussstrom	20 kA/s
Max. Aussendruck	17 bar
Max. Prüfaussendruck	32 bar

Tabelle II Technische Anforderungen an das Kabel

1. Kabel direkt absenken
2. Zuerst einen Rohrblock verlegen und anschliessend die Kabel einziehen.

Bei der ersten Variante sind die Investitionskosten kleiner, zum Schutz des Kabels sollte dieses jedoch armiert werden. Dadurch werden der Kabeldurchmesser und das Gewicht erhöht und die maximale Kabellänge, die am Stück transportiert werden kann, wird kleiner. Bei diesem Projekt hätte dies zu einer wesentlich schwereren – und damit teureren – Verlegeinfrastruktur geführt.

Werden die Kabel in Rohren verlegt, sind zwar die Gestehungskosten durch die vorgängige Montage und Absenkung des Rohrblocks höher. Das Kabel selbst hat jedoch einen kleineren Durchmesser, ist damit leichter und kann in längeren Einheiten transportiert werden. Der Rohrblock bietet den gewünschten Schutz und eine erhöhte Redundanz, wenn ein zusätzliches viertes Rohr verlegt wird. In das Zusatzrohr können Kommunikations- oder Mittelspannungsleitungen eingezogen werden oder bei einem Unterbruch ein Ersatzkabel. Auf Grund dieser Überlegungen wird zwischen Spiez und Oberhofen ein Rohrblock abgesenkt, in den ein Kabel ununterbrochen auf der gesamten Strecke zwischen den Unterstationen eingezogen wird.

Rohrblock montieren und verlegen

Der Rohrblock besteht aus vier HDPE-Rohren ($\varnothing$ 160/130,8 mm), in die die Kabel eingezogen werden. Die Wahl der Rohre wird durch die grosse Seetiefe (170 m) und die Verlegungsart bedingt. Eine ausgebildete Equipe schweisst die 20 m langen Stangen an Land zu Rohr-

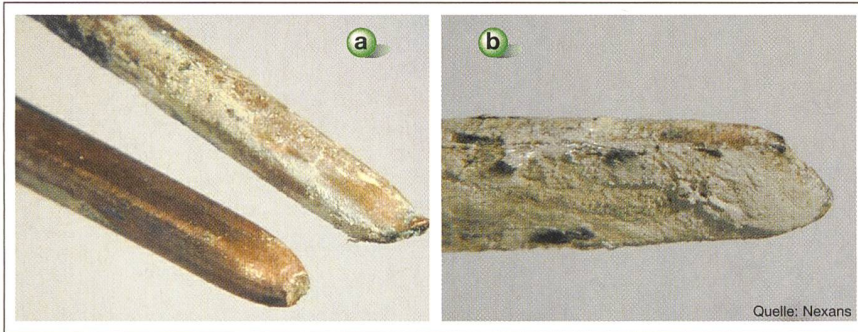


Bild 4 Duktile Brüche der Kupferdrähte (a) und des Stahlflachdrahtes (b)

längen von jeweils 360 m zusammen. Es werden Stangen eingesetzt, da sie besser transportierbar sind und der Rohrblock einfacher ausgerichtet werden kann. Der Montage- und Lagerort beeinflusst hingegen die Rohrlänge von 360 m. Vier von diesen Rohrlängen werden bei der Montage der Gewichte zu einem Modul zusammengestellt (Bild 5).

Die Gewichte (45,5 kg/Gewicht alle 6 m) dienen zur Stabilisierung des Rohrblocks im Wasser während der Verlegung sowie auf dem Seegrund beim nachträglichen Einzug der Kabel. Zehn von diesen Modulen werden zusammengestellt und an einer windgeschützten Stelle zwischengelagert.

Die Schifffahrt fordert eine ständige Befahrung des Thunersees. Deshalb wird der Rohrblock in zwei Etappen abgesenkt. Am ersten Tag werden 5 der 360 m langen Module auf den See geschleppt. Durch die Luft in den Rohren schwimmen sie auf dem Wasser. Eine eigens hergestellte Plattform dient zum Zusammenstellen der einzelnen Module (Bild 6). Ein zum voraus positioniertes Ponton hilft beim Abspannen des Rohrblocks. Nach dem Abspannen wird dieser durch das Einfüllen mit Wasser meteregenau auf das gewünschte Trasse abgesehen. Taucher überwachen den Absenkvorgang im Uferbereich, bei grossen Seetiefen kommt eine Kamera mit Echolot zum Einsatz. Das Trasse wurde vorgängig eingehend studiert – der Rohrblock kann in der Falllinie abgesenkt werden. Eine



Bild 5 Montiertes Gewicht



Bild 6 Der Rohrblock wird auf dem Thunersee zusammengestellt und abgesenkt

genügend grosse Distanz zu den Zuflüssen in den See vermindert die Risiken in den Uferbereichen.

Der 4er-Kabelrohrblock wird an Land von einem Muffenschacht bis in die Unterstationen Spiez und Oberhofen verlängert. Auf Seite Oberhofen gestaltet sich der Bau aufwändig, die Strasse und ein Bach werden mit einem Stahlrohrvortrieb unterquert. Zudem muss der Betonbelag auf der Zufahrtstrasse zur Unterstation aufgebrochen und erneuert werden.

Neue Kabel ohne Öl

Das Kabel vom Typ XAluWET 1x240 mm², 60 kV (Bild 7) mit einer dreifach extrudierten XLPE-Isolation genügt den technischen Anforderung (Tabelle II) des 50-kV-Netzes des Betreibers sowie der IEC-Norm 60840 [2]. Es ist dafür ausgelegt, dass es in einem See verlegt wird. Der nahtlos extrudierte Aluminiumwellmantel kann einen hohen Kurzschlussstrom tragen und hält dem Wasserdruck auf dem Seegrund mechanisch stand. Die unter dem Wellmantel aufgetragenen Quellbänder dichten das Kabel längs ab, die darüber liegende Bitumenschicht schützt den Aluminiumschirm vor Korrosion. Der äussere Polyethylenmantel

bildet einen weiteren mechanischen Schutz.

Die thermischen Berechnungen (basierend auf [3]) zeigen, dass bei einer einseitigen Schirmerdung (reduzierte Schirmverluste) und bei einem Nennstrom von 480 A ($S_N = 41,6$ MVA) im Landbereich ein Querschnitt von 240 mm² nötig ist. Derselbe Querschnitt wird auch im See verlegt, obwohl 150 mm² im See thermisch genügen würden. So kann die Kapazität der Verbindung später erhöht werden und das 240-mm²-Kabel ist stabil genug, um es über die gesamte Strecke einzuziehen. Vorgängige Berechnungen ergeben maximale Zugkräfte von 2035 daN. Dabei muss gleichzeitig auf dem Leiter wie auf dem Aluminiumwellmantel gezogen werden. Der Aluminiumwellmantel erhöht die zulässige Leiterzugkraft von 1440 daN um 700 daN. Die maximal beim Kabeleinzug gemessene Kraft beträgt 1970 daN, stimmt also gut mit den Berechnungen überein. Durch dieses Vorgehen können Muffen eingespart werden. Trotzdem werden an beiden Seeufern Muffenschächte erstellt, denn der Rohrblock sinkt nachträglich noch tiefer in den Schlick auf dem Seegrund ein und braucht damit die Kabelreserve im Muffenschacht. Zudem können später einmal Kabel mit einem grösseren Querschnitt an Land zwischen der Unterstation und dem Seeufer eingezogen werden, um die Kapazität der Leitung zu erhöhen.

Bild 8 zeigt das Konzept der Kabelanlage zwischen den Unterstationen Spiez und Oberhofen. Eine einseitige Erdung im Seebereich hätte induzierte Spannungen von bis zu 13 kV (0,1813 V/Akm) zur Folge. Aus diesem Grund wird die Seestrecke in den Muffenschächten beid-

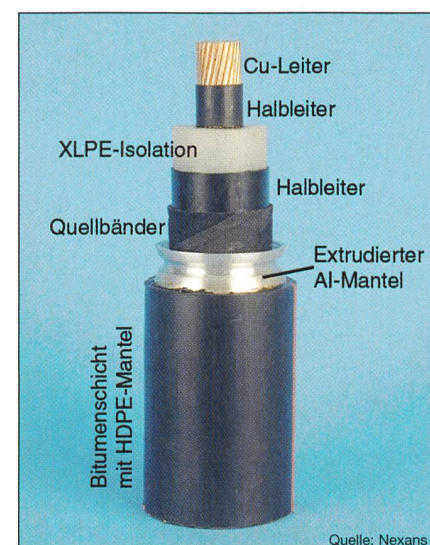


Bild 7 Kabel mit extrudiertem Aluminiumwellmantel (XAluWET 1x240 mm², 60 kV)

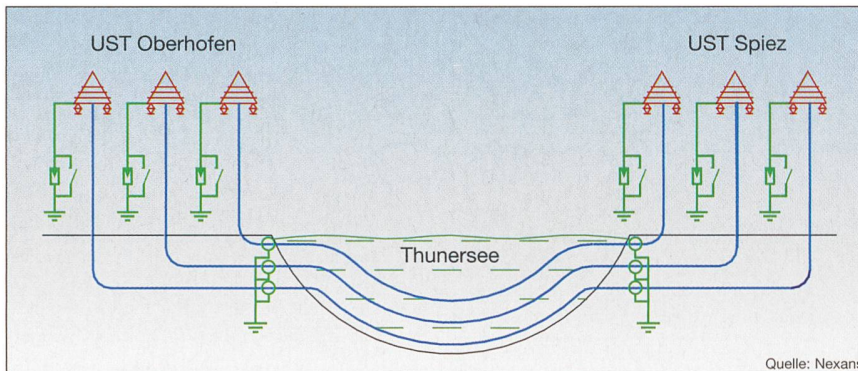


Bild 8 Konzept der Seekabelverbindung mit Zwischenenerdungen

seitig geerdet. Im Landbereich ist der Kabelmantel einseitig über den Mantelüberspannungsableiter geerdet, um die thermische Belastung und damit die Verluste zu reduzieren. Die Kabelendverschlüsse

sind vom Typ FR 1.72-11/0, also Silikonendverschlüsse mit Stützeigenschaften (Glasfaserrohr). Anschliessend an die Montage wurden die drei Phasen des Kabels von einem Prüfinstitut mit Hilfe

einer Resonanzanlage während 30 Minuten mit einer Spannung von 72 kV getestet. Der Kabelmantel wurde einer einminütigen 20-kV-DC-Spannungsprüfung unterworfen. Die gesamte Anlage mit einer Trasseelänge von 3940 m wurde Ende Juli 2004, 11 Monate nach dem Unterwassergeländeabriss, wieder in Betrieb genommen.

Referenzen

- [1] H. Hubin: Recherche de défauts, 2^e édition, Eyrolles, Paris, 1987.
- [2] CEI 60840: Câbles d'énergie à isolation extrudée et leurs accessoires pour des tensions assignées supérieures à 30 kV ($U_m = 36$ kV) et jusqu'à 150 kV ($U_m = 170$ kV) – Méthodes et exigences d'essais, 3^e édition, CEI Genève, 2004.
- [3] CEI 60287: Câbles électriques – Calcul du courant admissible, 1.2^e édition, CEI Genève, 2001.

Angaben zu den Autoren

Dr. sc. **Hans-Peter Burgener** leitet das Engineering Energiekabel bei Nexans Schweiz AG in 2016 Cortaillod.

hans-peter.burgener@nexans.com.

Dipl. Bauing. FH **Peter Buschauer** ist Projektleiter beim Leitungsbau der BKW FMB Energie AG in 3072 Ostermündigen.

peter.buschauer@bkw-fmb.ch

Dipl. Bauing. FH **Thomas Freudiger** leitet den Leitungsbau bei der BKW FMB Energie AG in 3072 Ostermündigen.

thomas.freudiger@bkw-fmb.ch.

Die Autoren möchten sich an dieser Stelle bei allen beteiligten Firmen sowie bei den eidgenössischen, kantonalen und kommunalen Instanzen für die hervorragende Zusammenarbeit bedanken.

Câble haute tension arraché par la chute d'un rocher sous-marin

Récupération et remplacement d'une ligne 50 kV sous le lac

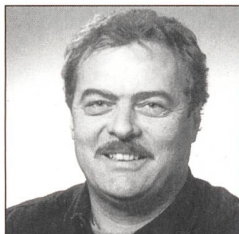
Un glissement de terrain au fond du lac de Thoue a interrompu la ligne haute tension immergée entre Spiez et Oberhofen. Le câble à huile endommagé est récupéré et remplacé par un câble isolé XLPE. Un bloc de tube immergé au préalable et des câbles munis d'un écran mécaniquement stable permettent de poser de grandes longueurs. Cela permet de réduire le nombre de boîtes de jonction.

Anton MARRO

Montagemeister

Nexans

Cortaillod



Projekt : Neues Seekabel [Typ XALuVET 1 x 240 mm² 60 kV] zwischen Spiez und Oberhofen :

„Zum Gelingen von komplexen Projekten, wie Bergung und Verlegung von Seekabelanlagen, beizutragen, spornt mich immer wieder an, mich auch zukünftig anspruchsvollen Herausforderungen zu stellen.“



Nexans

Globale Kompetenz in
Kabeln und Kabelsystemen



Natürlich kompetent – Technische Dienstleistungen

gehen Hand in Hand. Auch die BKW setzt auf das grosse Fachwissen der Mitarbeitenden und ihre langjährige Betriebserfahrung als Netzbetreiberin, Produktions- und Stromversorgerin. Dieses Know-how bildet die Basis für das umfassende Angebot der Technischen Dienstleistungen. Die kundenorientierte Haltung hat die BKW zu einem der bedeutendsten Energieunternehmen der Schweiz gemacht.



BKW FMB Energie AG
Technische Dienstleistungen
Viktoriaplatz 2
3000 Bern 25
Tel. 0844 121 141
Fax 031 330 58 96
www.bkw-fmb.ch
technik.verkauf@bkw-fmb.ch

Vertrauen ins Werkzeug
Des outils fiables



PB ElectroTools

www.pbtools.ch



Gemäss den Normen IEC
und DIN EN 60900
Selon les normes IEC
et DIN EN 60900



Beliebte schlanke Form
Forme élancée appréciée



Schnelle Identifikation
dank PB Farbcodierung
Identification rapide grâce
au code de couleur PB

Vertrieb Schweiz / Distribution Suisse:
e+h Services AG
CH-4658 Däniken
Telefon 062 288 61 11
Fax 062 288 61 06
info@eh-services.ch
www.eh-services.ch



PB BAUMANN 
SWISS QUALITY TOOLS

Anlagen der Stromverteilung:

wir betreuen produkteneutral den gesamten Prozessablauf bei

Neu- und Umbauten

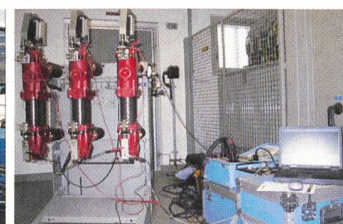
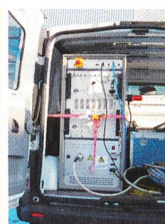
von der Planung, über die Realisierung bis zur Inbetriebnahme und Prüfung:

Planung & Realisierung:

- Netzanalysen
- Netzschutzkonzepte
- Netzausbaukonzepte
- NISV-Optimierung von Anlagen
- Engineering von Schaltanlagen
- Montage von Schaltanlagen
- Inbetriebsetzung von Anlagen

Prüfung:

- Schutzgeräte-Prüfungen
(Primär- und Sekundärschutz)
- Leistungsschalter-Prüfungen
- Mittelspannungskabel-
Zustandsprüfungen
- Thermografische
Schwachstellenermittlung



EcoWATT
EcoWatt Projects AG

EcoWatt Projects AG, Tiergartenstrasse 16, 8852 Altendorf
Tel.: 055 451 20 80; Mail: info@ewpag.ch; Internet: www.ewpag.ch