

**Zeitschrift:** bulletin.ch / Electrosuisse  
**Herausgeber:** Electrosuisse  
**Band:** 102 (2011)  
**Heft:** 12

**Artikel:** 50-kV-Kabel im San-Bernardino-Tunnel  
**Autor:** Avila, André / Kaufmann, Beda  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-856880>

### **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:** 19.01.2026

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

# 50-kV-Kabel im San-Bernardino-Tunnel

## Bergregion profitiert von höherer Versorgungssicherheit

26 Jahre nach seiner Eröffnung wurde 1993 mit der Sanierung des San-Bernardino-Tunnels begonnen. Die Umbauarbeiten boten die Gelegenheit, eine Hochspannungs-Kabelverbindung in den Tunnel zu integrieren, um die Versorgungssicherheit der nahen Bergregion und des Tunnels zu erhöhen. Einblicke in das Kabelprojekt, die verwendeten Kabel und die mit dem Projekt verbundenen Herausforderungen.

**André Avila, Beda Kaufmann**

1967 wurde der 6,6 km lange San-Bernardino-Tunnel im Kanton Graubünden zwischen den Dörfern Hinterrhein und San Bernardino eröffnet. Der Tunnel verband erstmals ganzjährig die Bündner Südtäler Misox und Calancatal mit Chur. Als Teil der Nationalstrasse N 13 – heute A 13 – verbindet er ausserdem die Ostschweiz mit der Alpensüdseite und dem Tessin und dient als Ausweichroute für den Gotthard-Tunnel. Bedingt durch das Alter des San-Bernardino-Tunnels sowie das stark gestiegene Verkehrsaufkommen wurde 1993 mit der Sanierung des Tunnels begonnen.

Bis zum Abschluss der Arbeiten im Jahr 2006 wurde die Sohle des Mittelkanals wegen des Umbaus des Lüftungssystems zum Flucht- und Rettungstollen

abgesenkt und das Entwässerungssystem, die Leitungskanäle, die elektromechanischen Einrichtungen sowie die Wandverkleidungsplatten erneuert. Die Fahrbahnkonstruktion wurde neu gebaut. Aus sicherheitstechnischen Gründen erfolgte die Erstellung eines Flucht- und Rettungstollens inklusive Fluchtabgängen vom Fahrbahnbereich und die Anpassung der Betriebs- und Brandlüftung an die heutigen Anforderungen. Bei diesen Arbeiten wurde der Verkehr weitgehend aufrecht erhalten. [1]

### Umstellungen ermöglichen Kabeltrasse

Beim Sanieren der Lüftung bot es sich aus energetischen Gründen an, das Lüftungssystem von «quer» auf «halbquer»

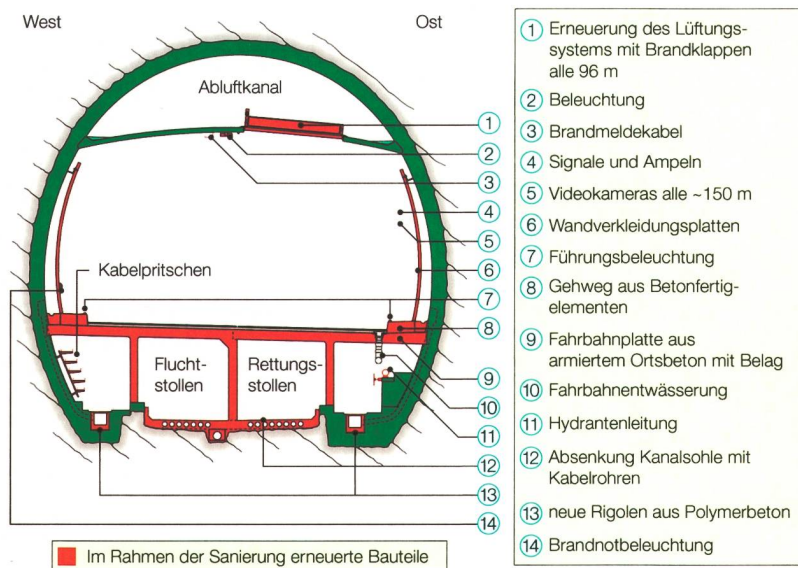
umzustellen, wobei Frischluft punktuell bei den unterirdischen Lüftungszentralen Aria und Sasso eingeblasen wird. Dadurch wurde der bisherige Zuluftstollen unter der Fahrbahn nicht mehr für die Lüftung des Tunnels benötigt und konnte mit einem moderaten Ausbaufwand umgebaut werden: Durch den Einbau einer Längstrennwand entstanden zwei separat nutzbare Stollen – ein Fluchtstollen für Personen des Individualverkehrs mit Zugängen über Schleusen ab der Fahrbahn und ein Rettungstollen für die Einsatzkräfte. Für diese neuen Funktionen wurde die bestehende Betonsohle im Kanal unter der Fahrbahnplatte um rund 20 cm abgesenkt.

Gleichzeitig wurde auch ein neues, sicheres Kabeltrasse in der Sohle der neuen Sicherheitsstollen realisiert. **Bild 1** zeigt den Tunnelquerschnitt nach dem Umbau der Tunnelsohle [2]. Das Kabeltrasse wurde als Rohrblock mit PE-Rohren (Nennweite 120 mm) ausgeführt. Dabei wurden an fünf Stellen Öffnungen vorgesehen, um Kabelmuffen an der Wand des Rettungstollens montieren zu können. Zusammen mit den Kabelzuführungen an den Tunnelenden ergibt sich eine totale Trasseelänge von 6,9 km. **Bild 2** vermittelt einen Eindruck vom Bau des Kabeltrasses als Rohrblock im Boden des Rettungs- und Fluchtstollens.

### Hochspannungskabel im Tunnel

Das neue Kabeltrasse wurde für eine 50-kV-Hochspannungskabelverbindung durch den Tunnel vorgesehen. Der Nutzen einer solchen Verbindung liegt weniger in der Bereitstellung grosser Transitströme, sondern in der Erhöhung der Versorgungssicherheit in der Bergregion sowie des Tunnels.

Bislang wurden die Dörfer in der San-Bernardino-Region jeweils im Stich versorgt: Im Norden von den EWZ und im Süden von der Axpo. Im Notfall konnte mit einer beschränkten Leistung Energie in 16 kV durch den San-Bernardino-Tunnel transferiert werden. Mit dem 50-kV-Lückenschluss als sichere Kabelverbindung durch den San-Bernardino-Tunnel wird die Versorgungssicherheit der betroffenen Regionen auf «n-1» erhöht. Damit profitieren der San-Bernardino-Tunnel und die zehn kleineren Tunnels



**Bild 1** Tunnelquerschnitt nach dem Umbau.



auf der Nord- und Südrampe mit ihren zahlreichen Beleuchtungs-, Ventilations-, Steuer- und Kommunikationseinrichtungen von der erhöhten Ausfallsicherheit der elektrischen Versorgung.

Das Hauptlos umfasste gemäss der Ausschreibung die Lieferung und Montage von rund 21 000 m 60-kV-XLPE-Kabel mit einem Kupferquerschnitt von 300 mm<sup>2</sup> in passenden Teillängen sowie 6 GIS-Endverschlüsse und 15 Crossbonding-Verbindungsmuffen inklusive Zubehör.

Ergänzt wurde das Hauptlos durch ein zweites Los, welches die Trafo- und Mastableitungen im Norden und Süden mit den zugehörigen Endverschlüssen sowie der Montage beinhaltet. Dieses zweite Los enthielt weitere 1370 m Kabel des gleichen Typs [3].

### Design und Installation der Kabelverbindung

Der Kunde konnte aus verschiedenen, den Vorgaben entsprechenden Kabeltypen wählen: Neben einem Standard-Aluminium-Schichtenmantelkabel waren dies auch ein Kupferschichtenmantelkabel mit Flachdrähten sowie ein Kupferwellmantelkabel. Alle Varianten wurden sowohl mit einem Kupferleiter (300 mm<sup>2</sup>) als auch mit einem Aluminiumleiter (500 mm<sup>2</sup>) angeboten. Die Entscheidung fiel für das Kupferschichtenmantelkabel mit Flachdrahtschirm und Kupferleiter, dessen Aufbau in Bild 3 dargestellt ist.

Die von der Firma Brugg Kabel AG zusammen mit der Firma Kümmler & Matter durchgeführten Berechnungen zum Kabeleinzug in die bestehende Rohranlage ergaben, dass auch Kabellängen von ca. 2500 m eingezogen werden können. Dabei besteht der grosse Vorteil darin, dass anstelle von fünf Muffengruppen für zwei serielle Crossbonding-Systeme nur noch zwei Muffengruppen be-



**Bild 2** Kabelschutzrohre nach dem Betonieren.

nötigt werden, womit ein einfaches Crossbonding-System nach Bild 4 realisierbar ist. Da sich die Muffen oberhalb des Bodens im Rettungstollen befinden, ist eine Abdeckung zum Schutz der Muffen nötig. Wird die Zahl der Muffen reduziert, verringert sich analog auch die Anzahl der benötigten Abdeckungen.

Der Vorteil eines Crossbonding-Systems liegt in der weitgehenden Unterdrückung von verlustbehafteten Schirmströmen bei gleichzeitig durchgehender Erdungsverbinding über die Kabelschirme. Es wird speziell bei längeren Hochspannungskabelverbindungen eingesetzt.

### Grosse Kräfte treten auf

Vor dem Beginn des Kabelzugs musste mittels einer Berechnung nachgewiesen werden, dass die beim Kabelzug auftretenden Kräfte trotz der grossen Kabellängen stets innerhalb der zulässigen Grenzen bleiben. Die folgenden Berechnungs-

ergebnisse gelten für die Südseite des Tunnels, da hier auf der Strecke vom Unterwerk bis in den Tunnel verschiedene Trassearten vorliegen.

Eine weitere grosse Herausforderung liegt in den diversen Richtungsänderungen auf diesem Teilstück, denn dies ergibt generell höhere Zugkräfte am Kabel. Für die Berechnung wurde zunächst ein Reibungskoeffizient von 0,15 zwischen dem Kabelmantel und den Kunststoffrohren unter Verwendung von Kabelfett angenommen. Mit dieser Annahme ergab sich rechnerisch eine Zugkraft von 22,24 kN – dies würde den für das Kabel zulässigen Grenzwert von 18 kN überschreiten. Mit einem Schubgerät am Anfang sowie einem weiteren Schubgerät in der Mitte der Kabelstrecke ist es jedoch möglich, die Zugkraft auf das zulässige Mass zu beschränken. Während des Kabeleinzugs wurde an der Zugmaschine eine maximale Zugkraft von ca. 15,5 kN gemessen, und der Einsatz des Schubgeräts in der Mitte der Kabelstrecke war nicht nötig. Mit einer Zugkraftanzeige konnte sichergestellt werden, dass die zulässige Zugkraft von 18 kN nicht überschritten wurde. Die Messergebnisse ermöglichten anschliessend die Ermittlung des tatsächlichen Reibungskoeffizienten zwischen den Kabeln und den Kabelschutzrohren. Dieser liegt dank des eingesetzten Gleitfetts bei rund 0,11.

### Betriebsdaten

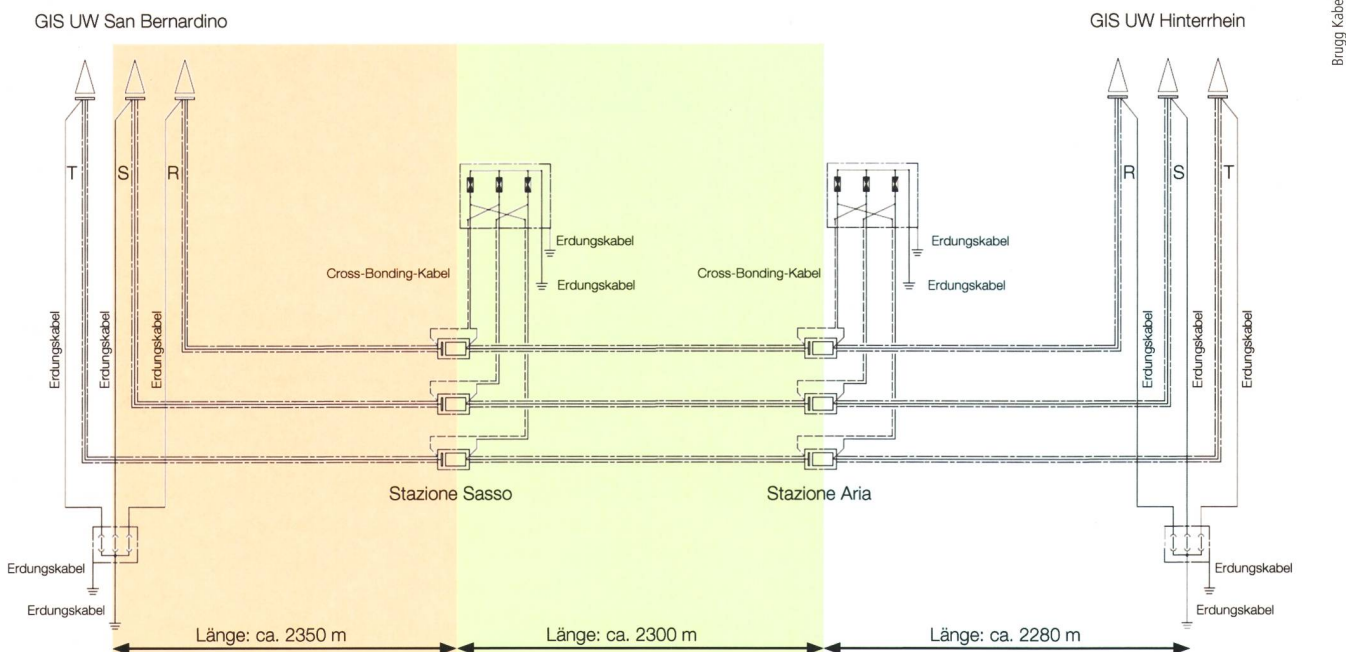
Die Belastbarkeit von Hochspannungskabeln ist nicht nur vom Aufbau der Kabel, sondern auch in erheblichem Masse von den Umgebungs- und Installationsbedingungen der Kabel abhängig. Im Fall der



Brugg Kabel

**Bild 3** Aufbau des eingesetzten Kupferschichtenmantelkabels.





**Bild 4** Schaltbild der Kabelanlage.

Kabelverbindung durch den San-Bernardino-Tunnel ist nach der Belastbarkeitsberechnung ein maximaler Dauerstrom von bis zu 700 A zulässig, was einer übertragbaren Leistung von etwa 61 MVA bei einer Netzspannung von 50 kV entspricht.

Bei diesem maximalen Strom entstehen Gesamtverluste von 117 kW/km, wobei die Verluste im Kabelschirm sowie in der Kabelisolation vernachlässigbar gering sind. In der Praxis wird das Kabel wegen der Vorliegernetze jedoch mit tieferen Strömen betrieben, was die Verluste aufgrund der quadratischen Abhängigkeit vom Strom massiv reduziert.

Die Kapazität der Kabelisolation erfordert das Bereitstellen einer belas-

tungsunabhängigen Ladeleistung von etwa 161 kvar/km vom Netz. Auf die gesamte Kabelsystemlänge bezogen ergibt dies eine Ladeleistung von 1,11 Mvar.

### Fazit und Ausblick

Durch die Realisierung des etwa 7 km langen Hochspannungs-Kabelsystems im Fluchtstollen des San-Bernardino-Tunnels mit nur zwei Muffengruppen und Kabel-längen von bis zu 2500 m konnten die Investitions- und Installationskosten deutlich gesenkt werden. Dies geht einher mit einem geringeren Aufwand für den mechanischen Schutz der Muffen, der aufgrund der Sensibilität des Installationsumfeldes im Rettungsstollen notwendig ist.

Der Kabelzug über weite Strecken (>2 km) in Rohren konnte problemlos durchgeführt werden und hat sich bewährt.

Die erhöhte Versorgungssicherheit durch den Lückenschluss im elektrischen Netz kommt nicht nur den Bewohnern der Bergregion zugute, sondern im Ernstfall auch den Benutzern der Nationalstrasse A 13 mit dem San-Bernardino-Tunnel.

### Links

- [www.ewz.ch](http://www.ewz.ch)
- [www.tiefbauamt.gr.ch](http://www.tiefbauamt.gr.ch)
- [www.bruggcables.com](http://www.bruggcables.com)

### Referenzen

- [1] Wikipedia.org, «San-Bernardino-Tunnel», 16.05.11.
- [2] Tiefbauamt Graubünden 2003; Sanierung des Tunnels San Bernardino; [http://tools.tiefbauamt.gr.ch/projekte/pdf\\_sanbernardino.htm](http://tools.tiefbauamt.gr.ch/projekte/pdf_sanbernardino.htm).
- [3] Ausschreibung EWZ «Neubau 60-kV-Kabelverbindung, UW San Bernardino – UW Hinterrhein» vom 27.7.09.

### Angaben zum Autor

**André Avila**, dipl. Ing., Leiter Produktmanagement Hochspannungskabelanlagen.

Brugg Kabel AG, 5201 Brugg, [avila.andre@brugg.com](mailto:avila.andre@brugg.com)

**Beda Kaufmann**, Leiter Verteilnetz Mittelbünden  
EWZ, 7411 Sils im Domleschg, [beda.kaufmann@ewz.ch](mailto:beda.kaufmann@ewz.ch)

### Résumé

#### Des câbles de 50 kV posés dans le tunnel du San Bernardino

La région montagneuse bénéficie d'une plus grande sécurité d'approvisionnement

C'est en 1993, soit 26 ans après son inauguration, que la réhabilitation du tunnel du San Bernardino a débuté. Les travaux de réfection ont offert la possibilité d'intégrer des câbles à haute tension dans le tunnel afin d'accroître sa propre sécurité d'approvisionnement ainsi que celle de la région montagneuse voisine. Aperçu du projet de câblage qui comprend la pose d'un câble d'une section de 300 mm<sup>2</sup> dont la gaine comporte notamment une couche de fils plats de cuivre. No

## Beleuchtungs-lösungen mit LED

Grundlagen, Hinweise für Planer und Installateure, Praxisberichte, Ausstellung

Fachtagung: 27. Januar 2012, Kongresshaus Zürich

Info: [www.electrosuisse.ch/itg](http://www.electrosuisse.ch/itg)

Werden Sie Aussteller!

