

Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 78 (1987)

Heft: 5

Artikel: Übertragungsleitung 66 kV, 16 2/3 Hz Filisur-Bever : Ausbau der Fahrstromversorgung der Rhätischen Bahn

Autor: Frigg, K. / Balzer, U. / Berchtold, M.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-903824>

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: 03.02.2025

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

Übertragungsleitung 66 kV, 16 $\frac{2}{3}$ Hz Filisur–Bever

Ausbau der Fahrstromversorgung der Rhätischen Bahn

K. Frigg, U. Balzer, M. Berchtold, R. Rohrer, K. Zbinden

Die Verkehrsentwicklung der Rhätischen Bahn (RhB) in den siebziger Jahren erforderte einen wesentlichen Ausbau der Bahnstromversorgung. Einen wichtigen Schritt dazu bildete der Bau der 66-kV-Bahnstromleitung Filisur–Bever. Von Filisur bis Preda konnte diese Leitung als Freileitung, kombiniert mit 11-kV-Talversorgungsleitungen, gebaut werden, durch den 6 km langen Albulatunnel nach Bever musste sie verkabelt werden. Probleme der Planung und Ausführung der Anlage werden beschrieben.

Le développement du trafic du Chemin de fer rhétique durant les années septante a nécessité un renforcement notable de l'alimentation en courant, notamment la construction de la ligne de 66 kV de Filisur à Bever. Entre Filisur et Preda il s'agit d'une ligne aérienne, combinée avec les lignes du réseau 11 kV alimentant la vallée. Par le tunnel de l'Albula, de 6 km, vers Bever, la ligne a dû être câblée. Quelques problèmes de planification et d'exécution de cette installation sont décrits.

Adressen der Autoren

Karl Frigg, Ing. HTL, Chef Energieversorgung, Rhätische Bahn, 7302 Landquart.
Ulrich Balzer, Ing. HTL, Chef Fahrleitung RhB, 7302 Landquart.
Max Berchtold, Herzog & Sonderegger AG, Ingenieurbüro, 5034 Suhr.
Kurt Zbinden, Ing. HTL, Abteilungsleiter techn. Kundendienst, Kabelwerke Brugg AG, 5200 Brugg.
Rudolf Rohrer, Chef Niederspannungs- und Fernmeldeanlagen RhB, 7000 Chur.

1. Entwicklung und Ausbaukonzept

Eine leistungsfähige Bahnstromversorgung ist für eine vollelektrifizierte Eisenbahn von erstrangiger Bedeutung. Es muss jederzeit und an jedem Ort im Bahnnetz genügend elektrische Energie (Leistung und Arbeit) für die Traktion, die Zugheizung und für andere Zwecke zur Verfügung stehen, damit der Bahnbetrieb den Erfordernissen der Bahnbenützer und Kunden gerecht werden kann.

Die als letzte gebaute Stammnetzlinie¹ Bever–Scuol/Tarasp wird seit ihrer Betriebseröffnung am 1. Juli 1913 elektrisch betrieben. Diese Strecke ist neben der Berner Alpenbahn (BLS) in der Schweiz die erste, bei der Einphasenwechselstrom 16 $\frac{2}{3}$ Hz für die Bahntraktion betriebsmässig angewendet wurde. Veranlasst durch den Kohlemangel als Folge des Ersten Weltkrieges sind ab 1918 in rascher Folge auch die übrigen Stammnetzli-

¹ Das Stammnetz der RhB umfasst die Linien mit 11 kV, 16 $\frac{2}{3}$ Hz. Zum RhB-Netz gehören auch die Gleichstromlinien Chur–Arosa und St. Moritz–Tirano.

nien elektrifiziert worden. Man blieb beim Stromsystem, das sich im Engadin bewährt hatte (11 kV, 16 $\frac{2}{3}$ Hz). Am 22. Mai 1922 war mit der Strecke Reichenau/Tamins–Disentis die Elektrifikation der RhB abgeschlossen (Fig. 1).

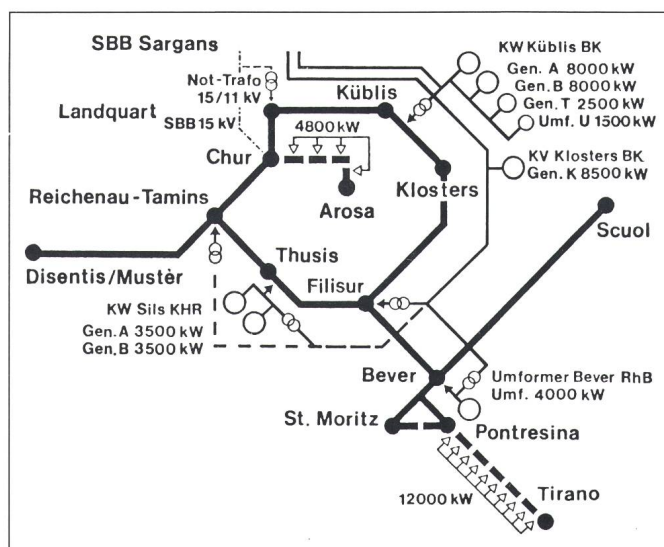
Im Gegensatz zu den meisten Privatbahnen wurde bei der RhB aus zeitlichen Gründen die Einphasen-traktion nicht «einfach von den SBB übernommen» (diese fuhren erst am 11. Mai 1928 elektrisch nach Chur). Zwischen 1913 und 1922 wurde ein selbständiges Versorgungsnetz aufgebaut.

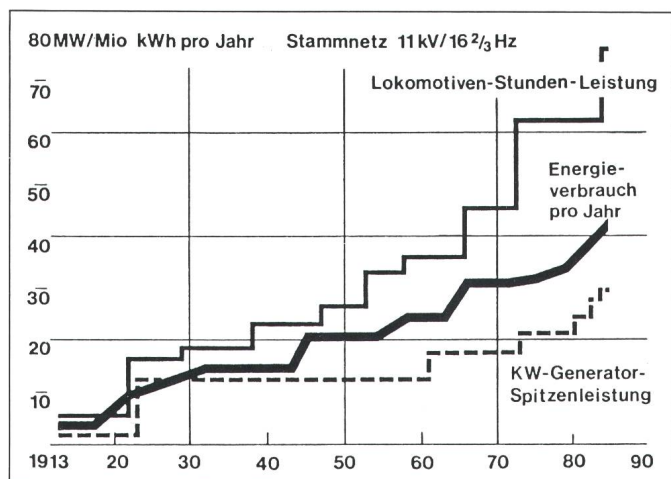
Die Anlagen aus jener Zeit genügten den stetig steigenden Anforderungen des Bahnbetriebes sehr lange. Eine erste Erweiterung bzw. Erneuerung erfolgte erst 1960 durch den Einbau von zwei modernen Bahnstromgeneratoren im Kraftwerk Sils der Kraftwerke Hinterrhein (KHR). Mit dem Bau des bahneigenen Frequenzumformers in Bever wurde 1974 die dortige Umformeranlage aus dem Jahr 1913 ersetzt.

Die von der RhB im Jahr 1985 verbrauchten 52,5 Mio kWh Traktionsenergie (Stammnetz und Gleichstromnetz, Fig. 2) sind etwa 0,7% der in

Figur 1
RhB-Fahrstromversorgung

Netzübersicht, Stand am 4. Dezember 1986
Stammnetz 1 ~ 16 $\frac{2}{3}$ Hz
Fahrleitung 11 kV
— Fahrleitung
↑ Speisestelle
Übertragungsleitung 66 kV
— in Betrieb
- - im Bau
- - geplant
⊙ Transformator 66/11 kV
Gleichstromlinien
- - Chur–Arosa: 2400 V
- - St. Moritz–Tirano: 1000 V
↑ Gleichrichter





Figur 2
Entwicklung des elektrischen Betriebes im RhB-Stammnetz

Graubünden insgesamt produzierten elektrischen Energie. Dabei beträgt in dieser ausgesprochenen Tourismusregion der Energieverbrauch aller Bahnen, d.h. der RhB und aller Bergbahnen, Skilifte usw., ungefähr 6% der im Kanton insgesamt verbrauchten elektrischen Energie.

Die weitere Verkehrsentwicklung und der in Zukunft zu erwartende Mehrverkehr erforderten Mitte der siebziger Jahre eine grundlegende Überprüfung der Versorgungssituation. Weil die Projektierung und der Ausbau von Energieversorgungsanlagen aus technischen, finanziellen und auch umweltpolitischen Gründen recht lange dauern kann, ist eine weit-sichtige, vorausschauende Planung unerlässlich. Ein Ausbaukonzept mit folgenden Schwerpunkten wurde ausgearbeitet und von den vorgesetzten Behörden genehmigt (Fig. 1):

- Zusammenschluss des 16 $\frac{2}{3}$ -Hz-Netzes der RhB mit demjenigen der SBB im KW Küblis der AG Bündner Kraftwerke (BK).
- Einsatz einer Netzregelung zur Einhaltung der vertraglichen Energielieferungen der BK an die SBB und zum wirtschaftlichen Einsatz der Generatoren in Küblis, Klosters, Sils und Bever.
- Erhöhung der verfügbaren Generatorleistung durch gründliche Überholung der bestehenden Bahnstromgeneratoren im KW Küblis und Neubau eines Bahnstromgenerators im KW Klosters. Der zukünftige Leistungsbedarf wird durch langfristige vertragliche Regelung für eine verstärkte Beanspruchung der BK-Anlagen, entsprechend dem Bedarf der RhB, sichergestellt.
- Ergänzung des 11-kV-Fahrleitungsnetzes durch den Bau eines 66-kV-Hochspannungsnetzes (16 $\frac{2}{3}$ Hz) zur

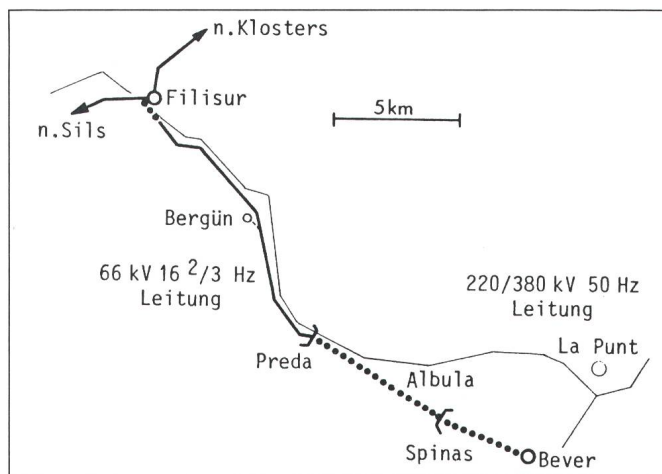
leistungsstarken Verbindung der Produktionsanlagen und zur Schaffung von weiteren Einspeisestellen in das Fahrleitungsnetz (Unterwerke 66/11 kV). Der Aufbau dieses neuen Leitungsnetzes soll soweit wie möglich in Verbindung mit dem Neu- oder Ausbau bestehender Hochspannungsleitungen der Landesversorgung erfolgen.

Mit der etappenweisen konsequenten Verwirklichung dieses Ausbaukonzeptes wird die RhB auf dem Gebiet der Fahrstromversorgung für die Anforderungen aus dem Konzept «Bahn 2000» und die weitere Zukunft gut gerüstet sein.

2. Übertragungsleitung Filisur-Bever

1979 erfolgte der Zusammenschluss des RhB-Fahrleitungsnetzes (Stammnetz) mit dem SBB-Netz über einen 66/11-kV-Kuppeltransformator im KW Küblis. 1980 wurde die Netzregelung und 1982 der neue Einphasengenerator im KW Klosters in Betrieb genommen.

Figur 3
Geografische Skizze der Übertragungsleitung Filisur-Bever



Seit 1984 ist die durch die BK erstellte 66-kV-Leitung vom KW Küblis über Klosters und Davos nach Filisur durchgehend im Betrieb. Der Bau dieser Bahnstromleitung konnte weitgehend mit der notwendigen Erneuerung von 50-kV-Talversorgungsleitungen zusammengelegt werden. Auf diesen Zeitpunkt hin konnte in Filisur auch das 66/11-kV-Unterwerk als neue Einspeisestelle für die Albulastrecke fertiggestellt werden.

Mit der neu zu erstellenden Leitung von Filisur nach Bever galt es nun, den Umformer Bever bzw. die Einspeisestelle im Engadin an das übrige 66-kV-Netz anzuschließen (Fig. 3). Für die Übertragungskapazität wurden 10 MVA festgelegt.

Im Sinne des Ausbaukonzeptes wurde zuerst die Möglichkeit abgeklärt, die zwei 66-kV-Leiterseile auf die bestehenden Masten der 220/380-kV-Albulaleitung der Kraftwerke Brusio bzw. der Engadiner Kraftwerke zwischen Filisur und La Punt aufzulegen. Die entsprechenden Verhandlungen ergaben, dass die Geometrie und die mechanischen Eigenschaften der Tragwerke das Auflegen der Leiterseile wohl erlauben würden. Die Forderung, einen späteren Ausbau des 220-kV-Stranges auf 380 kV nicht zu behindern, konnte jedoch nicht erfüllt werden.

Aufgrund dieser Feststellung musste für die Teilstrecken Filisur bis Preda eine eigene Freileitung und durch den etwa 6 km langen Albulatunnel die Verlegung von Hochspannungskabeln vorgesehen werden. Betriebserfahrungen mit modernen 66-kV-Bahnstromkabeln liegen bei der RhB bzw. der BK bereits seit 1980 vor. Infolge nicht mehr aufschiebbarer Abstellungen im KW Sils der KHR musste damals eine provisorische Ersatzspeisung in Be-

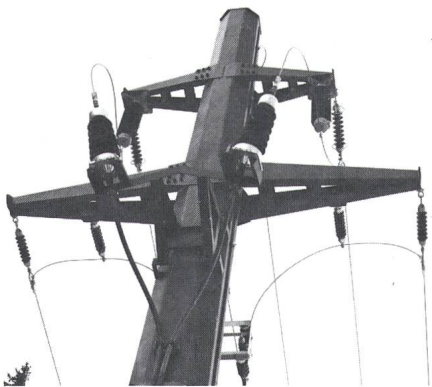
trieb genommen werden, die möglichst nahe an der Albulastrecke gelegen sein sollte. Kurzfristig konnte dafür als erstes Teilstück des geplanten 66-kV-Netzes die Leitung von Küblis bis Davos mit einer 7,7 km langen Kabelstrecke durch die Ortschaft Davos gebaut werden. Diese Leitung wurde 1983/84 bis Filisur weitergeführt, wobei die Kabelstrecke auf total etwa 10,7 km verlängert wurde.

Mit dem Betrieb dieser Kabelstrecke wurden durchwegs positive Erfahrungen gemacht, so dass ohne Bedenken der Entscheid für eine Kabelstrecke durch den Albulatunnel getroffen werden konnte. Die erforderliche Übertragungsleistung und die vorhandene Betriebsspannung stellen für die moderne Kabeltechnik ohnehin relativ geringe Beanspruchungen dar.

3. Freileitung Filisur-Preda

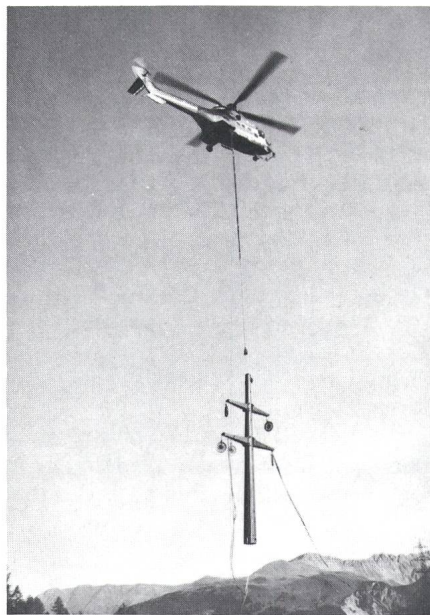
Bereits anlässlich der ersten Vernehmlassung zum ausgearbeiteten Freileitungsprojekt stand fest, dass die Leitung vom Unterwerk bis ausserhalb der Gewerbezone in Filisur zu verkabeln sei. Auf der Strecke Filisur-Preda wurde zudem die Auflage gemacht, auf den sich anbietenden Abschnitten zur Schonung des Landschaftsbildes die bestehende 11-kV-Talversorgung mit der RhB-Leitung zusammenzulegen. Der Abschnitt Filisur-Bergün ist nun zum Teil und der Abschnitt Bergün-Preda durchgehend durch diese 11-kV-Drehstromleitung belegt (Fig. 4).

Weil sich die Standorte der Masten fast durchgehend in schwierigem Gelände befinden, musste eine Bauart gewählt werden, die sich vor allem auch für eine Montage mit Helikopter eignet. Neben kleineren Helis war auch



Figur 4 Abspann- und Kabelendmast in Preda

oben: 66 kV, 16 $\frac{2}{3}$ -Hz-Bahnstromleitung
unten: 11 kV, 50-Hz-Talversorgungsleitung



Figur 5 Mastmontage mit Helikopter «Super-Puma»

der Einsatz eines «Super-Puma» eingeplant (Fig. 5). Im Einsatzgebiet Muot-Preda (1600–1800 m.ü.M.) trägt seine maximale Anhängelast 3–3,5 t. Man entschied sich deshalb für Stahlrohrmasten, deren Einzelteile ineinandergesteckt werden oder die mit Schraubflanschen versehen sind. Von den insgesamt 64 Masten sind deren 54 von dieser Bauart. Zehn Masten sind als Gittermasten ausgebildet. Sämtliche Stahlteile sind verzinkt und mit einer dunkelolivgrünen Tarnfarbe gestrichen.

Als Leiterseile sind Aldreyseile 120 mm² in normalen Spannweiten und 300 mm² in Weitspannungen eingebaut. Als Erdseil dient ein Aldreyseil mit eingebautem Fernmeldekabel (Sternvierer) für die Datenübertragung.

Im Raum Bergün war aufgrund der Einsparungen der Bau als Freileitung nur unter der Bedingung möglich, diese durchgehend über Bahngebiet zu führen und als kombinierte Leitung mit der Fahrleitung zu erstellen. Dies hatte zur Folge, dass die Fahrleitung bei Bergün auf eine Länge von insgesamt etwa 2 km vollständig umgebaut werden musste. Damit das ganze System möglichst niedrig gehalten werden konnte, wurden die Leiterseile der 66-kV-Leitung direkt an den Stützisolatoren befestigt. Ausserdem mussten sie an sämtlichen Fahrleitungsmasten befestigt werden, um ein durchgehend gleichmässiges Mastbild zu erhalten (Fig. 6).

4. Kabelleitung Preda-Bever

Für die Kabeltrasse im Albulatunnel standen wegen des verfügbaren Platzes und der Kosten nur zwei Varianten zur Verfügung: das Verlegen von Oberflächenkanälen längs dem Gleis oder das Verlegen der Kabel längs der Tunnelwand. Die Abklärungen ergaben, dass der vorhandene Platz für das Verlegen der Oberflächenkanäle nicht ausreicht, um ein Fundament zu erstellen, das den Belastungen bei Unterhaltsarbeiten mit Gleisbaumaschinen standhält. So wurde die Variante Verlegung längs der Tunnelwand weiter bearbeitet und ausgeführt.

Damit Ladungen mit Überprofil nicht in den Tunnel gelangen und dabei die Kabelanlage gefährden können, sind Profilmesseinrichtungen in Preda und Spinas installiert worden. Die Messstellen sind so weit von den Tunnelportalen entfernt, dass die Züge signalmässig anhalten können, wenn die Überwachung anspricht.

Auf dem Abschnitt Spinas-Bever war vorgesehen, die Leitung wie in Bergün mit der Fahrleitungsanlage zu kombinieren. Sondierungen am Bahndamm zeigten aber, dass für den Bau der Mastfundamente mit sehr grossen Schwierigkeiten zu rechnen gewesen wäre. Deshalb entschied man sich für eine durchgehende Kabelstrecke bis Bever. Dies entsprach auch dem Anliegen der Gemeinde Bever betreffend Schonung des Landschaftsbildes. Weil



Figur 6 66-kV-Leitung in Bergün kombiniert mit der 11-kV-Fahrleitung

das Bahntrasse in diesem Bereich nicht vollständig lawinensicher ist, erhöht die Verkabelung auch die Betriebssicherheit der 66-kV-Bahnstromleitung.

4.1 Kabelschutzrohranlage

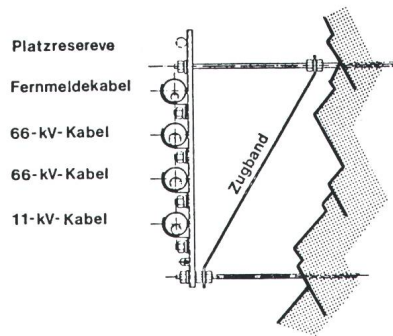
Nachdem feststand, die Kabel an der Tunnelwand zu verlegen, musste eine geeignete Konstruktion für die Halterung und den Schutz der Kabel gegen Beschädigungen (z. B. herausbrechende Steine oder Beschädigungen bei Unterhaltsarbeiten) gefunden werden. Die Kabel wurden deshalb in Kunststoffrohren für Druckleitungen, LW 90/79,2 mm, Typ S5 (NP 6,5 bar) verlegt.

Zur Vorbereitung der Halterungen und der Verlegung der Kabelschutzrohre wurden mit einem elektro-optischen Messgerät rund 40 Tunnelquerprofile aufgenommen. Diese zeigen folgende typische Tunnelprofile:

- unverkleideter Felsausbruch im ganzen Profil
- Tunnelwand bis auf eine Höhe von etwa 3,40 m mit Bruchsteinen ausgemauert, darüber Naturfels.
- ganzes Gewölbe mit Bruchsteinen ausgemauert.
- ganzes Gewölbe mit Bruchsteinen ausgemauert und zusätzlich gegen Wassereintrich mit Spritzbeton behandelt (gunitiert).

Aufgrund der Erfordernisse wurde die Konstruktion für die Rohrbefestigung nach Figur 7 gewählt. Für eine Fernmeldeleitung und für ein neues 11-kV-Speiseleitungskabel (als Ersatz für das alte, offen verlegte Kabel) wurden zur Vereinfachung Schutzrohre mit gleichen Abmessungen wie diejenigen für die 66-kV-Kabel gewählt. Ein neues, durchgehend offen verlegtes Cu-Erdseil von 95 mm² ist ebenfalls auf den Ankerschienen befestigt. Ferner ist ein Reserveplatz vorhanden, damit später ohne grossen Aufwand ein Tunnelfunkkabel verlegt werden kann.

In den unterschiedlichen Tunnelprofilen wurde die seitliche Lage der Schutzrohre der Tunnelwand soweit sinnvoll angepasst. Bei der Montage der Schutzrohre musste die Längsdehnung der Rohre beachtet werden, insbesondere etwa im ersten Kilometer ab den Tunnelportalen. Hier können zwischen Sommer und Winter Temperaturdifferenzen von 50–60 °C auftreten. Die Dehnung wird durch die als spezielle Schiebemuffen ausgebildeten Rohrverbinder aufgenommen (Fig. 8). Jede Rohrlänge wird in der Mitte mit einer Rohrbride auf der Ankerschiene



Figur 7 Kabel-Rohrblockanlage im Albulatunnel

fixiert und diese für die Aufnahme von doch noch auftretenden Längskräften mit Zugbändern an der Tunnelwand gesichert.

Die Montagearbeiten der Kabelschutzrohranlage wurden von einer Spezialfirma ausgeführt, die über entsprechende Erfahrung bei ähnlichen Arbeiten in Bahntunnels verfügt und leistungsfähige, bewährte Montageeinrichtungen einsetzen konnte. Aufgrund der relativ dichten Zugfolge konnte im Tunnel nur während der Nacht, zwischen etwa 22 und 6 Uhr, gearbeitet werden. Erschwernisse brachten jeweils die recht häufigen Nacht-Extrazüge (z. B. Viehtransporte, Militärtransporte, andere Schwertransporte, nicht aufschiebbar Tunnelunterhaltsarbeiten).

4.2 Kabelwahl und Kabelverlegung

Die Kabelstrecken bestehen aus je zwei Kabeln mit einer Betriebsspannung von 66 kV bei 16²/₃ Hz. Die Teilstrecke vom Unterwerk Filisur bis zum Abspannmast hinter Filisur hat etwa 1,8 km Länge, die Teilstrecke vom Abspannmast Preda durch den Albulatunnel bis zum UW Bever etwa 10 km,



Figur 8 Kabel-Rohrblockanlage mit Muffenstelle im Albulatunnel

wovon etwa 6 km im Tunnel (Fig. 9). Aufgrund der zu übertragenden Dauerleistung von 10 MVA ergab sich ein Leiterquerschnitt von 1 × 120 mm², wobei die verschiedenen Verlegearten, Erdrreich und Tunnelwand, berücksichtigt sind.

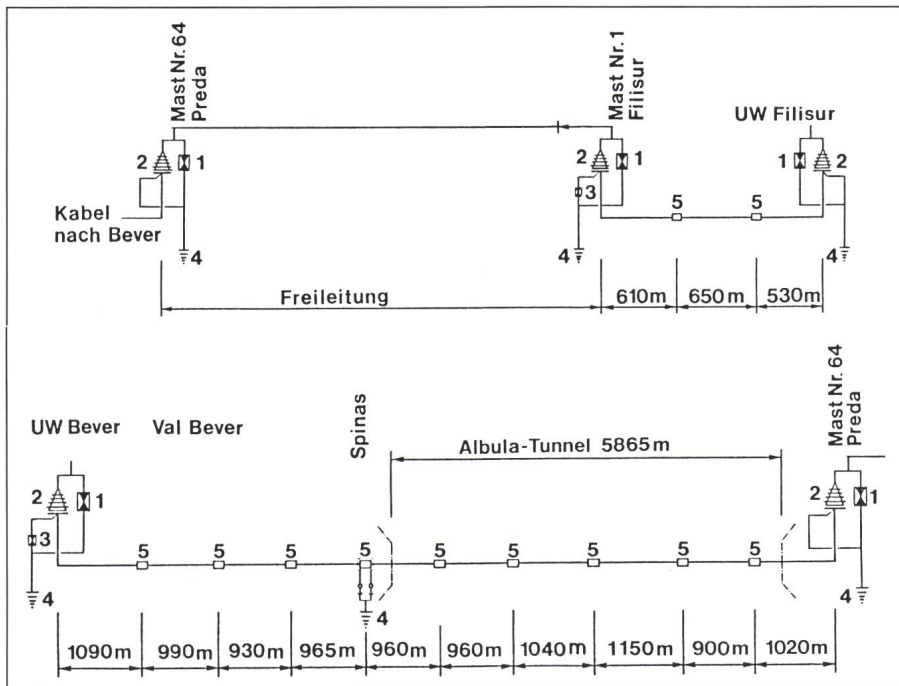
Unter den gegebenen Betriebsbedingungen und den zum Teil recht grossen Temperaturschwankungen, vor allem im Übergang Erdrreich-Tunnelportal, fiel die Isolationswahl auf EPR. Diese Ethylen-Propylen-Rubber-Isolation zeichnet sich durch eine hohe Temperatur- und Überlastfestigkeit aus und ist deshalb für den sehr starken Belastungsschwankungen aufweisenden Bahnbetrieb besonders geeignet.

Die Kabelenden wurden mit Freiluftendverschlüssen aus Porzellanisolatoren und mit Steuerelementen ausgerüstet. Bei allen Endverschlüssen sind zum Schutz gegen Phasenüberspannungen Metalloxid-Überspannungsableiter montiert.

Alle Muffen wurden aus selbstvulkanisierenden EPR-Bändern gewickelt und enthalten keine Füllmasse. In den Muffenschächten sind alle Kabel mit Verankerungsbriden ausgerüstet. Damit wird erreicht, dass die Kabel-Längsdehnungen infolge unterschiedlichen Temperaturen in der Rohrblockanlage aufgenommen werden können.

Die Induktionsströme in den Cu-Draht-Abschirmungen der 16²/₃-Hz-Zweiphasenverbindungen sind sehr gering, und die Schirmverluste sind kleiner als 1% der Leiterverluste. Da im Unterwerk Bever die Anlageerdung zur Vermeidung von Streustromeinflüssen der Bernina-Strecke getrennt von der Gleiserde verlegt ist, sind dort die Cu-Abschirmungen isoliert montiert und mit Mantelüberspannungsableitern geschützt. Beidseitig des Albulatunnels sind die Abschirmungen mit der Bahnerde verbunden, um einen optimalen Schutz zu gewährleisten.

Auf der Teilstrecke in Filisur und von Spinass nach Bever sind die Kabel normal als Landkabel im Kabelgraben-Rohrblock verlegt. Im Albulatunnel mussten sie auf eine spezielle Art ab Bahnwagen in die Schutzrohre eingezogen werden (Fig. 10). Der Einzug erfolgte durch Zug am Leiter mit Schmierung des Aussenmantels mit einem Spezial-Kabelgleitfett. Die Einzugslängen betragen bis 1250 m; die zulässigen maximalen Einzugskräfte von 6 kN wurden in keinem Fall erreicht.



Figur 9 Kabelschema

- | | | |
|-------------------------|-------------------------------|---------|
| 1 Überspannungsableiter | 3 Mantelüberspannungsableiter | 5 Muffe |
| 2 Endverschluss | 4 Erdleiter | |

Sämtliche Kabel waren im Werk nach den entsprechenden Vorschriften der Spannungsreihe 60 kV geprüft worden. Nach der Verlegung wurde an allen Kabellängen eine Mantelprüfung von 10 kV Gleichspannung während 2 min durchgeführt. Die Schlussprüfung bestand aus einer Spannungsprüfung Leiter gegen Schirm/Erde mit 140 kV Gleichspannung während 16 min.

5. Fernmeldeleitung

Die Eisenbahn hat sich der Kommunikationsmittel schon seit den frühen Anfängen bedient, entsprechend dem jeweiligen Stand der Technik. Auch die Rhätische Bahn verfügt über ausgedehnte Kommunikationseinrichtungen, wie automatisches Telefon, Fernschreiber, Streckenfunk, Fernwirk- und Datenverarbeitungsanlagen. Deren zuverlässiges Funktionieren ist Voraussetzung für einen sicheren und geordneten Bahnbetrieb. Die Verbindung dieser Anlagen untereinander erfolgt über die neben den Bahngleisen verlegten Fernmeldekabel. Auch von Filisur bis Bever bzw. Samedan liegt ein der Albulalinie folgendes Kabel, welches die Zentren nördlich und südlich des Albulatunnels verbindet. Ein Ausfall dieses Kabels bringt den gesamten Kommunikationsverkehr Nord-Süd zum Erliegen. Mit dem Bau der Hochspannungsleitung Filisur-Bever bot sich

die Gelegenheit, kostengünstig einen zweiten Verbindungsweg zum Engadin zu schaffen.

Ursprünglich war deshalb beabsichtigt, das Erdseil der neuen Hochspannungsleitung durchgehend mit einem Kupfer-Sternvierer zu versehen und darüber eine 2048-kbit/s-PCM-Verbindung zwischen Filisur und Samedan herzustellen. Die Umstellung auf eine Kabelleitung durch den Albulatunnel zwang zu einem Überdenken des Fernmeldeprojektes. Nachdem in der Zwischenzeit die Lichtwellenleitertechnik aus dem Experimentierstadium herausgewachsen war, wurden verschiedene Ausführungsvarianten mit diesem zukunftsfrächtigen Fernmeldeleiter geprüft. Nicht zuletzt aus Kostengründen wurde eine kombinierte Lösung gewählt. Im Bereich der Frei-

leitung von Filisur bis Preda wurde der Kupfervierer im Erdseil beibehalten, während für die Fortsetzung ein Lichtwellenleiterkabel mit 6 Multimodefasern gewählt wurde.

Damit werden künftig zwischen Filisur und Samedan für Fernmeldezwecke zwei getrennte Verbindungswege zur Verfügung stehen, was eine beträchtliche Verbesserung der Betriebssicherheit und eine Erhöhung der Übertragungskapazität zur Folge haben wird.

6. Schlusswort

Nach der mehrjährigen Studien- und Planungsphase konnten die erforderlichen Auflage-, Einsprache- und Genehmigungsverfahren soweit abgewickelt werden, dass im Sommer und Herbst 1985 als erstes Teilstück die mit der Fahrleitung kombinierte Leitung durch Bergün gebaut werden konnte. Ebenfalls im Herbst 1985 wurde mit dem Bau der Schutzrohranlage durch den Albulatunnel begonnen. Die Freileitung Filisur-Preda und die Kabelstrecken in Filisur und von Preda bis Bever wurden im Frühjahr 1986 in Angriff genommen.

Neben der zweckmässigen Organisation und der guten Zusammenarbeit aller Beteiligten ermöglichte auch das gute Wetter im Sommer und insbesondere im Herbst 1986 die Fertigstellung der ganzen Leitung schon vor Jahresende 1986. Die durchgehende 66-kV-Bahnstromleitung Filisur-Bever und das dazu gehörende Unterwerk Bever wurden am 4. Dezember 1986 in Betrieb genommen. Damit steht nach einer insgesamt kurzen Bauzeit für die Bahnstromversorgung im Engadin neben dem Frequenzumformer Bever als «zweites Bein» eine leistungsfähige Hochspannungsverbindung zu den Produktionsanlagen in den Kraftwerken Küblis bzw. Klosters zur Verfügung.

Figur 10 Kabeleinzug im Albulatunnel

