

Elektrische Ausrüstung des Lötschberg-Basistunnels (LBT)

Manfred Lörtscher, Bern; Jean Fehlbaum, Cortaillod; Pablo Furrer, Genf; Heinz Glanzmann, Rothrist; Markus Jordi, Bern; Peter Keller, Oberentfelden; Martin Märki, Bern; Bernhard Muff, Thun; Harald Schippel, Edenkoben; Thomas Suter, Oberentfelden

Mit dem Lötschberg-Basistunnel entsteht die erste alpenunterquerende Hochleistungsbahnverbindung, die zum Europäischen Hochgeschwindigkeitsnetz gehört. Der Tunnel wird ab dem 9. Dezember 2007 fahrplanmäßig sowohl von Reisezügen mit bis 250 km/h Geschwindigkeit wie auch von Güterzügen mit bis 3 250 t Anhängelast genutzt. Seine elektrischen Ausrüstungen sind nach Umfang und Anforderungen bis heute beispiellos.

Electric Installations in the Lötschberg Basetunnel

The Lötschberg basetunnel will be the first high speed rail connection under the alps which belongs also to the European Highspeed Rail Network. Commercial operation on schedule will start on the 9th of December 2007 with passenger trains up to 250 km/h speed as well as freight trains up to 3 250 t hauled mass. Its electric installations are concerning to requirements and volume unique up to now.

Installation électriques dans de le tunnel de base du Lötschberg

Le tunnel de base du Lötschberg forme la première liaison ferroviaire sous les alpes et fait partie du réseau européen pour les trains à grande vitesse. Le tunnel sera parcouru selon horaire à partir du 9 décembre 2007 par des trains voyageurs jusqu'à vitesse 250 km/h et aussi par les trains de marchandise jusqu'à un tonnage de 3 250 t. Ses installations électriques selon les caractéristiques exigées et l'importance sont uniques jusqu'à présent.

1 Einführung

Das Bundesamt für Verkehr (BAV) vertritt den Bund als Besteller des vom Schweizer Stimmvolk am 27. September 1992 und 29. November 1998 beschlossenen Baus von zwei alpenunterquerenden *Neuen AlpenTransversalen* (NEAT). Der Bund hat die BLS AlpTransit AG, eine Tochtergesellschaft der BLS AG, mit der Erstellung des Lötschberg-Basistunnels (LBT) beauftragt. Die BLS AG wurde vom Bundesrat als Infrastrukturbetreiberin (ISB) bestimmt. Sie wird ab dem 15. Juni 2007 einen reduzierten kommerziellen Betrieb vorwiegend mit fahrplanmäßigen Güterzügen aufnehmen, um die Zuverlässigkeit des Zugsicherungssystems ETCS Level 2 zu erfahren. Der volle fahrplanmäßige Betrieb wird am 9. Dezember 2007 aufgenommen.

Die Lötschberg-Basislinie (LBL) führt von Frutigen im Kandertal nach Raron im Rhonetal. Sie umfasst im Norden an zwei Stellen einen Anschluss an die BLS-Stammlinie, nämlich via Umfahrung Frutigen mit dem Tunnel Engstligen und mit zwei einspurigen Verknüpfungen zum und vom Bahnhof Frutigen, den LBT sowie im Süden zwei einspurige Rhonebrücken und den Anschluss an die SBB-Rhonetallinie bei St. German (Bild 1).

Kernstück ist der 34,6 km lange LBT aus zwei einspurigen, alle 333 m über Querschläge miteinander verbun-

denen Tunnelröhren in 40 m Abstand. Allerdings wurde der Westtunnel in der ersten Ausbautappe nur auf 27 km Länge ausgebrochen und davon wiederum nur im Süden auf 13 km und im Norden auf 1 km Länge bahntechnisch ausgerüstet. Die übrigen 13 km verbleiben vorerst weitgehend im Rohbau. Nahe der Überleitung vom ein- zum zweiseitigen Bahnsystem wurden bei km 36,5 die beiden Nothaltestellen Ferden platziert.

Das Bauwerk trägt somit die Spuren eines harten politischen Kampfes um Ausgabenreduzierung. Der weitere Ausbau ist möglich, ohne den Betrieb zu stören. Die Hauptmerkmale des LBT und die besonderen Bedingungen für den Netzzugang für Eisenbahnverkehrsunternehmungen (EVU) stehen in den Tabellen 1 und 2.

Von 1994 bis 1999 wurden die Sondier- und Dienststollen Kandertal und die Zugangsstollen Mitholz und Ferden ausgebrochen, am 19. Oktober 1999 wurde im Fußpunkt Mitholz die erste Sprengung im eigentlichen Tunnelprofil gezündet und am 28. April 2005 erfolgte der Hauptdurchschlag [1]. Die bahntechnische Ausrüstung folgte tagesexakt nach Plan in nur 42 Monaten ab Vormontage in einer Containerhalle in Bern bis zur Fertigstellung. Der Einbau der verschiedenen Gewerke über das etappenweise verlegte Baugleis in und durch den Tunnel bildete dabei eine besondere logistische Herausforderung (Tabelle 3).

2 Einbauorte für die elektrische Ausrüstung

2.1 Tunnelröhren

Die Tunnelröhren wurden etwa zu 80% mit Sprengvortrieben und zu etwa 20% mit zwei Tunnelbohrmaschinen ausgebrochen. Bei Letzterem besteht die Sicherung der Parameter und Gewölbe vor allem aus Armierungsnetzen und Ankern, bei Ersteren setzten die Mineure für die Sicherung des Hohlraumes hauptsächlich Spritzbeton mit Stahlfasern, Stahlbögen und Anker ein. Beide Röhren sind mit einer Betoninnenschale ausgekleidet, die nur in Störzonen wie *Karbon Mitholz* bewehrt wurde.

Die beiden Bahntunnelröhren können bei der Nothaltestelle Ferden mit jeweils einem Tunnelort abgeschlossen werden (Bild 2).

Die feste Fahrbahn ist ohne Armierung ausgebildet. Unter ihr liegen die Sohl- und Wasserdrainage sowie die Leitungen der getrennten Systeme für Bergwasser und Tunnelabwasser. Auf der dem Fluchtweg gegenüber liegenden Seite sind die Rohrblöcke für die Hochspannungskabel einbetoniert (Bild 3).

Für die bahntechnische Ausrüstung wurde bewusst ein Konzept gewählt, bei dem möglichst wenige Komponenten direkt in den beiden Tunnelröhren installiert werden müssen. Gründe dafür sind unter anderem die besser kontrollierbaren Umwelteinflüsse in separaten Technikräumen und die leichtere Zugänglichkeit für die Instandhaltung. Deshalb wurden die elektrischen Anlagen und Einrichtungen für den Betrieb im LBT in verschiedenen technischen Räumen abseits der beiden Bahntunnel untergebracht.

2.2 Betriebszentralen und Relaisräume

Betriebszentralen (BZ) und Relaisräume stellen den Betrieb der gesamten Tunnelinfrastruktur sicher. Klar getrennt für die beiden Röhren wurden jeweils zwei BZ in Frutigen (km 14,7), Mitholz (km 22,0), Ferden (km 36,1), Löttschen (etwas versetzt km 43,7 und 43,9) und Raron (km 49,1) gebaut; die Kilometrierung schließt an die in Spiez beginnende der Stammstrecke an. Davon stehen

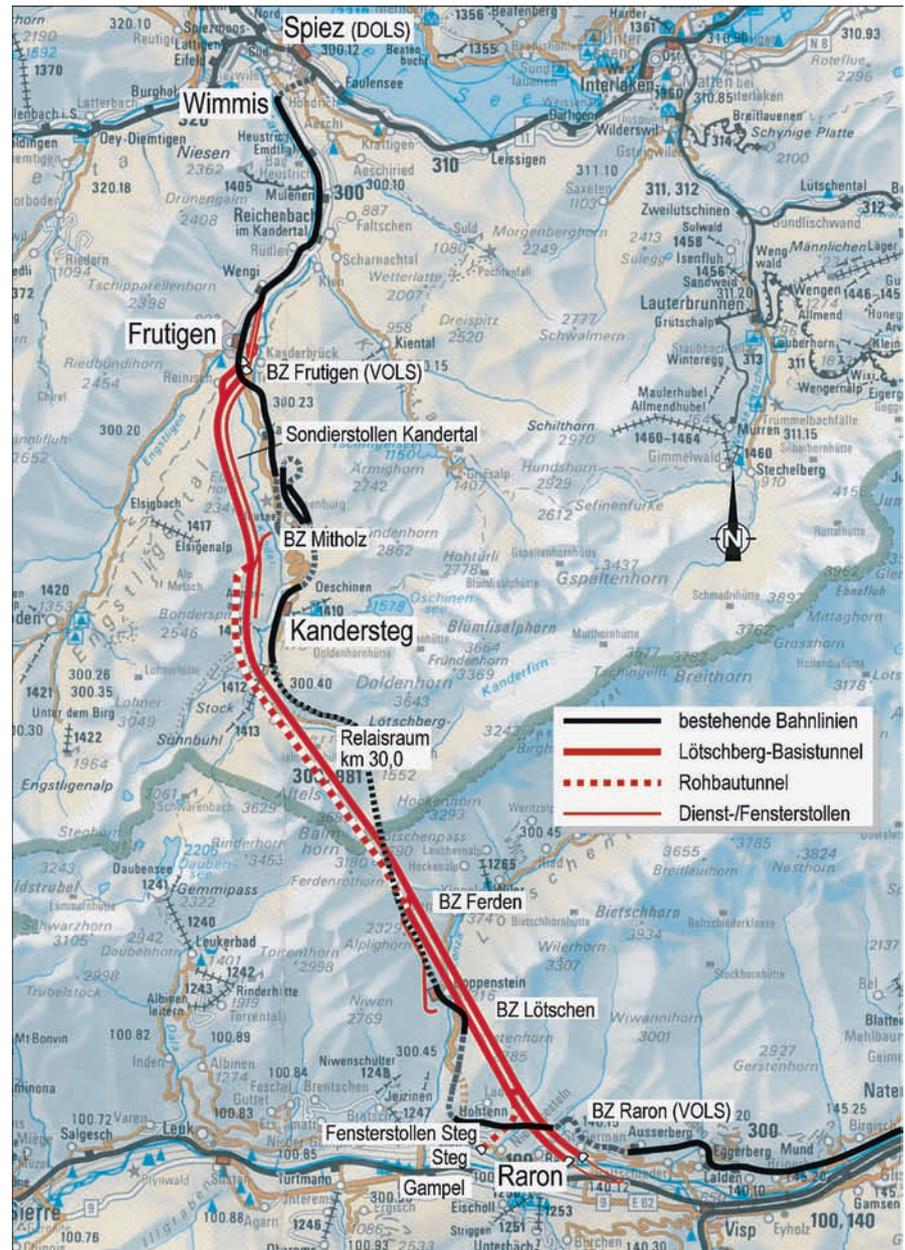


Bild 1: Situationsplan Lötschberg-Basislinie Frutigen – Raron.



Bild 2: Bahntunnelort Oströhre bei km 36,245.

Tabelle 1: Allgemeine Daten Lötschberg-Basistunnel.

Parameter, Kriterium	Wert	Einheit	Bemerkungen
Zahl Bahntunnelröhren	2		
Querschnitt	41	m ²	
Regelabstand Tunnelröhren	40	m	
Tunnellänge ¹	34,6	km	
Länge Weströhre	27,2	km	davon 13,4 km nur Rohbau
einspurige Betriebslänge	21,2	km	Frutigen – Ferden
doppelspurige Betriebslänge	13,8	km	Ferden – Raron/St. German
Höhe SOK ² Nordportal Frutigen	776,50	m	über Meer
Höhe SOK Scheitelpunkt	828,24	m	über Meer
Höhe SOK Südportal Raron	654,20	m	über Meer
Neigungen	3 ... 13	‰	
minimaler Kurvenradius	4 000	m	
Bahnsteighöhe Nothaltestellen	0,55	m	beide Gleise Ferden (Bild 5)
Bahnsteighöhe Diensthaltestelle	0,48	m	Mitholz eingleisig
Spurwechselgeschwindigkeit Ferden	250 180	km/h km/h	gerade Ablenkung
Rhonebrücken Süd und Nord	821 und 554	m	
Baubeginn Rohbau	19.10.1999	-	erste Sprengung im Tunnel
Bauabschluss Bahntechnik	30.11.2006	-	erste elektrische Zugdurchfahrt mit 160 km/h durch den ganzen Tunnel
Gesamtinvestitionen			
davon Bahntechnik	4,3		
0,9	Mrd CHF		
Mrd CHF			
¹ Oströhre Nordportal Frutigen bis Südportal Raron			
² Schienenoberkante			

Tabelle 2: Hauptdaten Lötschberg-Basistunnel gemäß Infrastrukturregister nach Netzzugangsverordnung (NZV) [2].

Parameter, Kriterium	Art, Wert	Bemerkungen
Streckenart	Ile	Nach TSI Energie, Anhang F
Stromart	1 AC 15 kV 16,7 Hz	
Lichttraumprofil	EBV 4	EBV [7]
Stromabnehmerprofil zulässige Wippenbreiten	EBV S3 1 600, 1 450, 1 320 mm	UIC 505-1, isolierende Endhörner
Kontaktkräfte Stromabnehmer - Fahrdrabt	F _m in Abhängigkeit der Geschwindigkeit nach Figur 1 in EN 50367	F _m : mittlere Kontaktkraft
Zulässiges Schleifenmaterial	Kohle- und kupferummantelte	Siehe auch EN 50367 Anhang C
Schutzstrecken	Kurzschutzstrecken nach Anhang A A.1.2 EN 50367	
Höchste Stromaufnahme ab Oberleitung pro Zug	1 500 A 2 000 A	v = 80 km/h v ≥ 100 km/h
maßgebende Steigung	13‰, 10‰	Richtung Süd, Richtung Nord
Streckenklasse	D4	
maximal zulässige Achslast	22,5 t	Triebzüge für 250 km/h: ≤ 18,5 t
maximal zulässige Meterlast	8 t/m	
Ladungscode	High Cube: C45/375 NT 70/396 SIM P 80/405, C80/405	
Maximale Zuglängen	750 m	
Maximale Anhängelast	3 250 t	
maximale Geschwindigkeit	250 km/h 200 km/h	Triebzüge lokbespannte Züge
Gleisfreimelde-einrichtungen	Achszähler	2 pro Zählpunkt
Zugsicherung	ETCS Level 2 nach SRS 2.2.2	class 1 Subset 026 V 2.2.2 oder höher
Zugfunk	GSM-R Cab Radio und Handy	EIRENE FRS 6.0 bzw. SRS 14

die ersten und die letzten BZ-Paare außerhalb des Tunnels nahe den Portalen. In diesen Gebäuden sind auch die Vortleitstellen (VOLs) integriert, von denen aus die Tunnelinklusive der Sicherungsanlagen im Ereignisfall gesteuert werden. Die drei anderen BZ-Paare sind über Stollen erreichbar. Die Relaisräume bei km 29,4, also nahezu in Tunnelmitte haben ähnliche Funktionen wie die BZ, sind jedoch nur über den Tunnel zugänglich.

Bis auf die Lüftungstechnik ist die elektrische Ausrüstung in 20-Fuß-Edelstahlcontainern untergebracht. Folgende Komponenten sind in insgesamt 136 Containern

montiert: Schaltposten 16,7 Hz, Versorgung und Verteilung 50 Hz, unterbrechungsfreie Stromversorgungen, Batterieräume, Sicherungsanlagen, Funkanlagen und zugehörige Klimaanlage (Bild 4).

Vorteile dieses Konzepts sind, dass die Anlagen bestens in Schutzart IP 65 geschützt sind und dass sie sich bereits außerhalb des Tunnels montieren und prüfen ließen. Geprüft wurden zuerst die einzelnen Container und dann funktionell zusammengehörende Containergruppen. Steckverbindungen erleichterten das Zusammenstellen der Gruppen, das Trennen für den Transport und die End-

montage im Tunnel. Somit konnten funktionstüchtige Einheiten installiert und in Betrieb genommen werden. Mit dem Containerkonzept wurde insgesamt ein Jahr Ausrüstungszeit gewonnen.

2.3 Querschläge und -verbindungen

Querschläge (QS) verbinden die zwei ausgerüsteten Tunnelröhren miteinander, Querverbindungen (QV) die allein ausgerüstete Oststöhre mit dem Dienststollen Kandertal. Sie alle dienen hauptsächlich als Rettungswege, beherbergen aber auch Bahntechnik.

In insgesamt 104 solchen Durchbrüchen sind als Anlagen für die jeweils örtliche Infrastruktur installiert: Torsteuerungen, Brandmeldeanlagen, Beleuchtungssteuerung, Sicherungsanlagen und die Funkanlagen. Zusätzliche QS bestehen zwischen den beiden Bahnsteigen der Nothaltestelle Ferden (Bild 5).

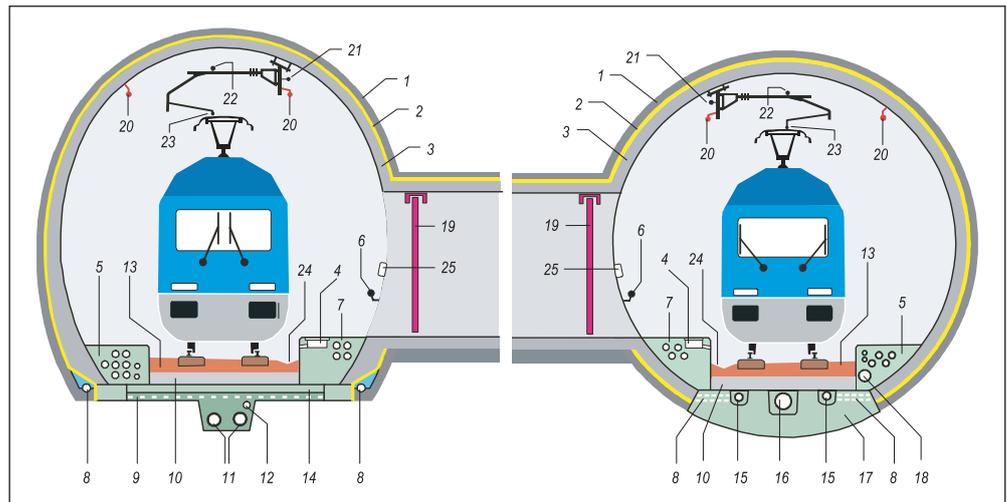


Bild 3: Tunnelquerschnitte Lötschberg-Basistunnel.

links Sprengvortrieb

rechts Tunnelbohrmaschinenvortrieb

SOK Schienenoberkante

1 Spritzbetonverkleidung

2 Abdichtungs- und Drainagesystem

3 unarmiertes Innengewölbe

4 Oberflächenkabelkanal

5 Bankett 0,15 m über SOK mit Kabelrohrblock

Bahnstrom

6 Handlauf

7 Gehweg Rettungsseite 0,35 m über SOK

Bankett mit Kabelrohrblock und

Paramentsdrainage

9 Sohl drainage

10 unarmierte Gleistragplatte

11 getrennte Bergwasser- und Tunnelabwasserleitungen

12 Sohl drainageleitung

13 unarmierte Fahrbahnplatte

14 Sohl beton

15 Sammelleitung für Paramentsdrainage

16 Bergwasser-Hauptleitung

17 Sohl übbing

18 Tunnelabwasserleitung

19 Schiebetüre

20 strahlendes Funkkabel

21 Erdseil Cu 150 mm²

22 Tragseil Bz 70 mm²

23 Fahrdraht CuAg0,1 120 mm²

24 Rigole ((Wassersammelrinne

25 Notbeleuchtung

3 Bahnstrom-Anlagen

3.1 Gesamtkonzept

Für die ab dem 9. Dezember 2007 verkehrenden 36 EC-IC-Züge, 30 Regionalexpresszüge und 110 Güterzüge, die über den LBT und die bestehende Bergstrecke fahren

werden, wurde eine maximale Viertelstundenleistung von 62 MW berechnet. Dies ist die gleichzeitige Abgabeleistung für die Unterwerke Frutigen, Mitholz, Kandersteg, Gampel und Massaboden (Südrampe BLS). Für das volle Betriebsprogramm im später doppelspurig ausgebauten LBT steigt dann die Belastung auf 116 MW.

Auf der Nordseite wurden in Wimmis als unmittelbar benachbarter 16,7-Hz-Bahnstromerzeugungsanlage zu den beiden bestehenden rotierenden Umformern mit 10 MW und 30 MW [3] vier statische Umrichterblöcke mit je 20 MW aufgestellt, die seit März 2006 im Betrieb sind



Bild 4: Betriebszentrale mit Containern.



Bild 5: Nothaltestelle Ferden mit Querschlag.

Tabelle 3: Ausrüstung im Lötschberg-Basistunnel.

Ausrüstung	Anzahl	Einheit
Gleislänge (Schienen UIC 60 Güte 900 A)	57	km
Schnellfahrweichen	3	
Länge Oberleitungskettenwerke	60	km
Tragwerke für Oberleitung	1 500	
Bahntunneltore (Bild 2)	2	
Motorschiebetüren bei QS und QV ¹ (Bilder 5 und 14)	173	
Doppelböden in technischen Räumen	5 000	m ²
Container in den Betriebszentralen (Bild 4)	136	
Schaltanlagen 1 AC 15 kV 16,7 Hz (Bild 9)	10	
Transformatorstationen 3 AC 16 kV/400 V 50 Hz (Bild 12)	21	
Elektroschränke in QV und QS (Bild 14)	1 450	-
totale Kabellänge (Tabelle 10) ²	2 840	km
Elektronische Stellwerke	2	-
Radio Block Center (RBC) für ETCS Level 2	1	-
Branddetektionseinheiten	3 200	-
Brandmeldezentralen	10	-
Räume mit automatischer Feuerlöscheinrichtung	110	-
Handfeuerlöscher mit Entnahmeüberwachung	420	
Lüftungsöffnungen	230	-
Lüftungszentralen	3	-
Lüftungsventilatoren Durchmesser 2,5 bis 2,8 m	6	-
Videoüberwachungskameras	133	-
Notleuchten	2 500	-
Handläufe	56	km
Telefonstellen	437	-
Telefonzentralen	16	-
Schilder für Verkehrswege und Hinweistafeln	3 000	-

¹ QS, QV Querschläge, -verbindungen
² inklusive 702 km für Baukommunikation

Tabelle 4: Unterirdische Einrichtungen Unterwerk Mitholz

gasisolierte Hochspannungsschaltanlage 2 AC 132 kV 16,7 Hz Typ B95 von AREVA (Bild 7); Einfachsammelschiene, drei Leitungsfelder, ein Transformatorfeld, ein Längskuppelfeld
gekapselte Mittelspannungsschaltanlage 1 AC 15 kV 16,7 Hz (Bild 9); ein Einspeisefeld, zwei Abgangsfelder zu den Betriebszentralen Mitholz Ost und West Kurzschlussprüfung in den beiden BZ Mitholz
gekapselte Mittelspannungsschaltanlage 3 AC 16 kV 50 Hz (Bild 12); vier Felder
regulierbarer Verteiltransformator 16,8/0,4 kV 400 kVA 50 Hz
Netzschutz, Transformatorregulierung und Verrechnungsmessung
Stationsleitsystem mit Kommunikationsverbindung zu den beiden Vorortleitstellen
Hilfspannungsversorgung DC 48 V und 1 AC 230 V 50 Hz
Hoch-, Mittel- und Niederspannungskabel, Kabeltrassen und Erdungsanlage
Diesel-Notstromaggregat mit 225 kVA

[4, 5]. Im Süden liegt die nächstgelegene Erzeugung in der Zentrale Massaboden der SBB mit 2 x 3,4 MW Wasserkraft- und 30 MW Umformerleistung (Bild 1 in [4]).

Die LBT-Strecke wird im Norden vom bestehenden UW Frutigen (km 14,5) und dem neuen UW Mitholz (km 22,0) gespeist (Bild 6). Diese beiden UW werden von der bestehenden zweischleifigen 132-kV-Übertragungsleitung (UL) Wimmis – Frutigen – Mitholz – Kandersteg jeweils einschleifig versorgt.

Im Süden wurde das bestehende SBB-UW Gampel mit einem zweiten 21,8-MVA-Transformator hochgerüstet, die bisher durchgehende UL-Schleife Vernayaz – Massaboden wurde mit eingeführt und die Sammelschienen der 132-kV-Schaltanlage entsprechend verlängert und verdoppelt.

Weil die früher geplante 132-kV-Freileitung über den Gemmpass aus Umweltgründen nicht erstellt werden konnte, verbindet nun vorerst eine 132-kV-Kabelschleife die UW Mitholz und Gampel. Die für zwei Schleifen erstellte Kabelrohrtrasse führt durch den Zugangstollen Mitholz, durch die Bankette der beiden Tunnelröhren (Bild 3) bis zur BZ Lötschen und ab dort durch den Zugangstollen Steg (Bild 6). Dann unterquert sie die Rhoneebene und schließlich den Fluss kurz vor dem UW Gampel durch einen Düker. Die Muffenkammern im LBT und die Muffenschächte im Freien haben einen Abstand von 2000 m.

Mit dieser Kabelleitung wird nun auch der Ring Westschweiz der SBB geschlossen. Gleichzeitig verschärfen sich jedoch durch die weitere Zunahme des kapazitiven Impedanzanteils der neuen Kabelstrecke die Stabilitätsprobleme beim 132-kV-Netzbetrieb.

3.2 Unterwerk Mitholz

Für eine Zwischeneinspeisung wurden alle Vor- und Nachteile abgewogen hinsichtlich

- bekannter oder neuartiger Technik,
- Landerwerb und Einigungsrisiko mit den Eigentümern,
- Länge von UL-Abschnitten mit Landschaftseingriffen,
- Flussquerung Kander,
- mögliche Dauer von Plangenehmigungsverfahren über mehrere Instanzen,
- Lawinengefahren.

Danach fiel die Entscheidung auf ein Untertag-UW bei Mitholz. Zwar liegt dieser Standort in Bezug auf die Bahnstromeinspeisung außermittig, er war jedoch der letztmögliche von Norden her um von der Oberfläche Blausee-Mitholz vernünftig in den Tunnel zu kommen. Dafür wurde im ohnehin erforderlichen Zugangstollen Mitholz etwa 200 m vom Portal entfernt eine zweistöckige Kaverne ausgebrochen, in der in getrennten Räumen die in Tabelle 4 aufgelisteten Anlagen aufgestellt wurden. Die UL-Anschlüsse wurden mit Kabeln durch einen 30 m tiefen Vertikalschacht hergestellt.

Der modulare Aufbau der gasisolierten 132-kV-Schaltanlage erlaubt eine kompakte Bauweise (Bild 7). Die Schalter können 2 kA Nennstrom führen und Kurzzeit-

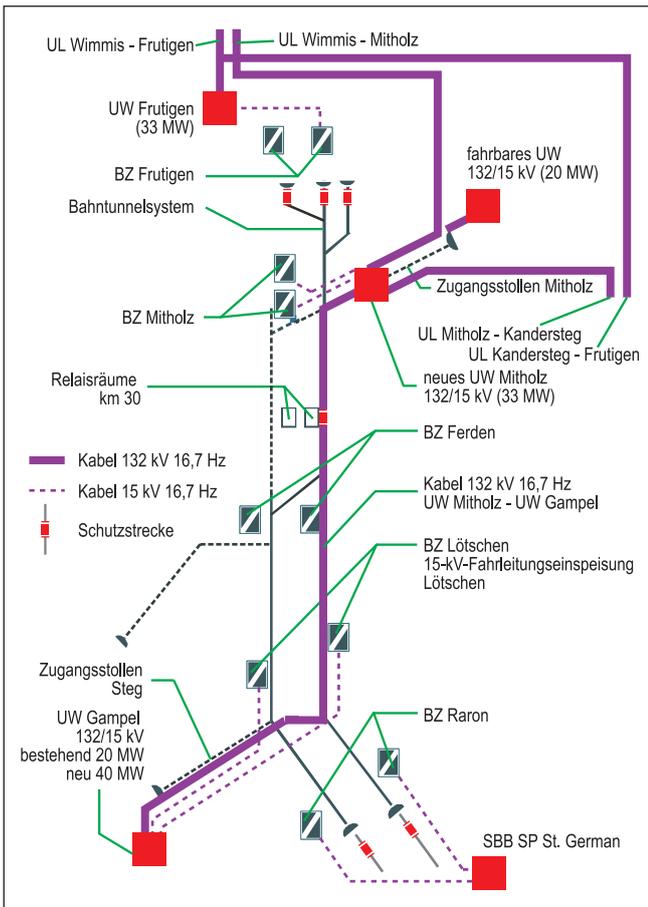


Bild 6: Schema Bahnstromversorgung.

BZ Betriebszentrale
 SP Schaltposten
 UL Übertragungsleitung 2AC 132 kV 16,7 Hz
 UW Unterwerk



Bild 7: SF₆-Schaltanlage 2AC 132 kV 16,7 Hz Unterwerk Mitholz.

ströme bis 31,5 kA während längstens 3 s abschalten. Die Anlage ist so ausgelegt, dass sie später mit geringem Aufwand zu einem Doppelsammelschienensystem mit Querkupplung und drei weiteren Leitungsfeldern erweitert werden kann.

Die digitalen Schutz- und Steuereinrichtungen sind an der Wand gegenüber der Schaltanlage pro Feld in einem Doppelschrank eingebaut. Sie kommunizieren über Licht-

Tabelle 5: Schutzgeräte in Unterwerken und Oberleitungsnetz

Einbauort	Gerättyp	Schutzfunktionen	Bemerkungen
Leitungsfelder 132 kV	7SA526	Z1-Z4; I_{th} ; Kurz-Langzeitunterbrechung Signalvergleich mit Gegenstation	Distanzschutz
Sammelschienen 132 kV	REB500	I/Δ ; $I > t$ Schalterversagerschutz	Sammelschienenschutz
Transformatoren 132/15 kV	DRS Compact	132 kV: I/Δ ; $I > t$ 15 kV: $Z < t$; I_{th}	einkoppelter Buchholzschutz und Stufenschalterschutz <i>Pressostat</i>
Sammelschienen 15 kV	7SS60	I/Δ ; $I > t$	Sammelschienenschutz
Schaltposten 15 kV	7ST61	$I >>>$; Z1-Z3, I_{th}	digitaler Oberleitungsschutz 2. Generation

wellenleiter (LWL) mit dem Stationsleitsystem in einem Schrank neben der Schaltanlage. Gesteuert und überwacht werden kann das UW von den vier hierarchischen Ebenen

- Leitstelle Bahnstromversorgung Spiez,
- VOLS Frutigen und Raron,
- Anlagensteuerung direkt in der Anlage,
- „Wartung“ direkt an den einzelnen Schaltern.

Zurzeit werden auch die 132-kV-Einrichtungen von Spiez (BLS) aus bedient, die Steuerung ab der Netzleitstelle der SBB Energie in Zollikofen wird aber vorbereitet. Die 132-kV-Schutzeinrichtungen entsprechen dem allgemeinen Schutzkonzept des SBB-Bahnstromnetzes (Tabelle 5).

Nur der Leistungstransformator 132/15 kV steht 20 m vor dem Stolleneingang auf einem eingezäunten Freiluftplatz neben einem Reserveplatz. Er ist wiederum über 132-kV-Kabel an sein Sammelschienenfeld angeschlossen und seine 15-kV-Abgangskabel führen durch den Stollen hinunter zum 15-kV-Teil des UW. Seine Merkmale sind:

- Nennleistung 33 MVA bei forcierter Luftkühlung des Ölkreislaufs
- Masse mit Ölfüllung 94 t
- Kurzschlussspannung 11,6 %
- geerdeter Mittelpunkt
- 15stufiger Stufenschalter (unter Last schaltbar)

Mit angepassten Hauptabmessungen wie Durchführungsanschlüssen und Schienenrollen wie auch der Kontakte der Hilfsbetriebe ist er mit dem bestehenden gleicher Leistung des UW Kandersteg aus dem Jahre 1981 austauschbar.

Das UW ist bereits seit Oktober 2006 in Betrieb. Wenn es ausfällt, kann über die Bergstrecke Frutigen – Kandersteg ein fahrbares UW (fUW) mit 20 MW Leistung der SBB auf ein bestehendes Abstellgleis des Bahnhofs Blausee-Mitholz herangefahren werden. Oberspannungsseitig wird dieses mit eigenen Kabeln an einem eigens aufgestellten Kabelendmast an die UL angeschlossen. Seine 15-kV-Lei-

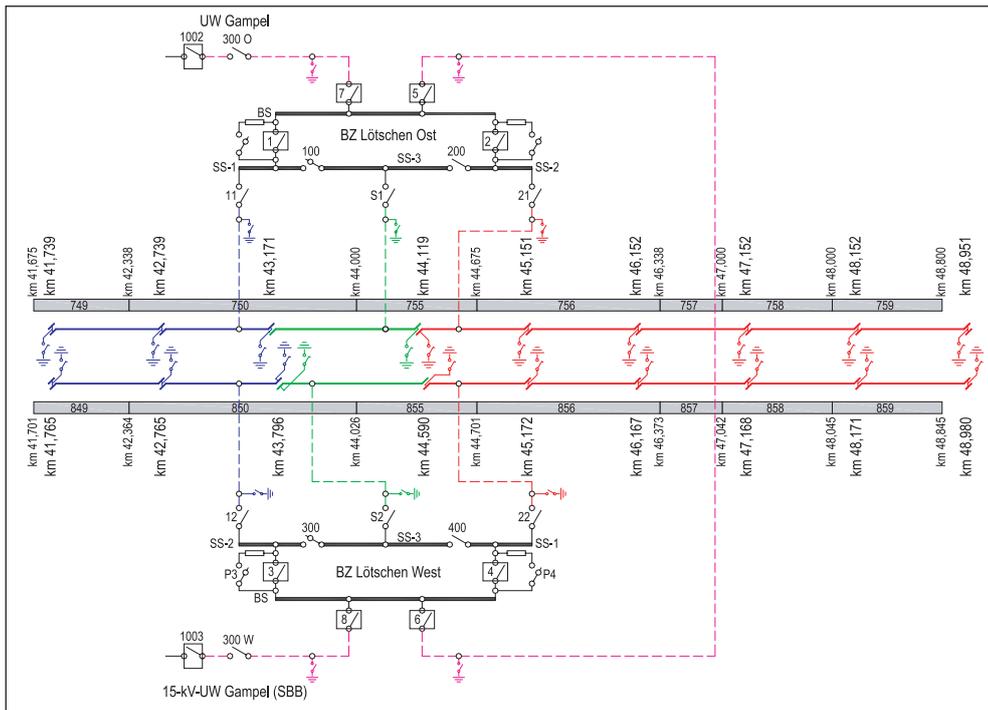


Bild 8: Schaltschema 1AC 15 kV 16,7 Hz Betriebszentralen Löttschen Ost und West.

BS Betriebssammelschiene

BZ Betriebszentrale

P Prüfeinrichtung

SS Sammelschiene

Speisepunktschalter 1002, 1003

Leistungsschalter: Ost 1, 2, 5, 7; West 3, 4, 6 und 8

Lastschalter: Ost 11, S1, 21; West 12, S2, 22

Trenner 100 u. f.

tungen führen direkt zu den beiden BZ Mitholz. Im Frühjahr 2007 wurde versuchsweise ein fUW aufgestellt und hat den LBT für eine Zeit gespeist.

3.3 15-kV-Netz und -Schaltanlagen

Das 15-kV-Schaltungsschema im LBT ist folgendermaßen aufgebaut (Bild 6):

- BZ Frutigen Ost Speisung über eine Kabelzuleitung vom UW Frutigen
- BZ Mitholz Ost Speisungen über eine Kabelzuleitung aus dem UW Mitholz, zusätzliche spätere Kabel-Einspeisung für BZ Mitholz West als redundante Speisung für Ost, Ersatzspeisung über je eine Kabelzuleitung vom fUW-Aufstellplatz
- Relaisraum Ost mit Längskupplung (Schutzstrecke)

Tabelle 6: Hauptdaten Oberleitung Re 250 LBL-T [6].

Lichttraumprofil nach Eisenbahnverordnung EBV	EBV 4, ausbaubar auf LBT-Shuttle
Stromabnehmerraum nach EBV [7]	S3 für Europantograf 1600-mm-Wippe
Fahrdraht	AC-120 CuAg0,1, Zugkraft 15 kN
Tragseil	Seil DIN 48201-70-Bz II, Zugkraft 15 kN
Hänger	Seil 8WL7060-2 Bz II 10 mm ² 7 x 7 x 0,51
Hängerabstand vom Stützpunkt	2,50 m
Hängerabstand untereinander	≤ 8,00 m
Seitenverschiebung am Stützpunkt	± 200 mm
Systemhöhe am Stützpunkt	1,30 m
Fahrdrahthöhe über Schienenoberkante	5,30 m
Regellängsspannweite	50 m
Y-Beiseil	-
Vordurchhang	0,6‰ der Spannweite
maximale Nachspannlänge	1 400 m
Dauerstrombelastbarkeit Kettenwerk bei 80°C	756 A mit neuem Fahrdraht
Kurzschlussstrombelastbarkeit Kettenwerk	53 kA für 100 ms
Stromverbinderseil ¹	Seil 8WL7075-1 CuAg0,1 95 x 259
Rückleiterseil und Tragwerke-Erdungseil	Seil DIN 48201-150 E-Cu
Verstärkungsleiter	Kabel 30/18 kV 3 x 240 mm ² Cu

¹ ähnlich DIN 43138

- BZ Ferden Ost und West mit Querkupplung Ost-West
- BZ Löttschen Ost und West Speisungen über je eine Kabelzuleitung vom UW Gampel und mit Querkupplung Ost – West (Bild 8)
- BZ Raron Ost und West Speisungen über je eine Kabelzuleitung vom Schaltposten St. German der SBB-Rhometallinie (km 51,3)

Die Querkupplungen in Löttschen, Ferden und Mitholz sind im Regelfall offen.

Für die 15-kV-Ausrüstung im LBT hatte die BLS AlpTransit über die EN 50388 hinausgehend in der Ausschreibung zukunftsichere Betriebsmittel für 50kA maximalen Kurzschlussstrom verlangt, und es wurden dafür bemessene Betriebsmittel installiert [8, 9]. Um jedoch die im Umfeld bestehenden Bahnstromversorgungs-komponenten nicht zu gefährden, wurden in den UW Frutigen in den drei 15-kV-Abgängen und in Gampel längs in der 15-kV-Sammelschiene zwischen den beiden Transformatoren 132/15kV Kurzschlussstrombegrenzungs-drosselspulen eingebaut.

Für das UW Mitholz und die Schaltposten in den BZ wurde von ABB eine einpolige luftisolierte Bahnstromschaltanlage UniGear R36 entwickelt und eingesetzt (Bild 9). Sie basiert auf der Technologie der metallgekapselten, geschotteten, typgeprüften Standard-Schaltfeldreihe Typ ZS3.2 für 50-Hz-Anwendungen mit Vakuumleistungsschaltern. Die Kapselungen der Schaltfelder bestehen aus hochwertigen, Al-Zn-beschichteten Stahlblechen. Darin sind Betriebsschiene, Prüf-widerstände, und Streckenschienen mit Umgehungsmöglichkeiten im Ring eingebaut. Jeder dieser Sammelschienenabschnitte

steht in einem eigenen Container (Bild 4). Damit wird sichergestellt, dass ein schaltanlageninterner Fehler auf das Schaltfeld oder das geschottete Feldfach beschränkt bleibt, also maximal ein Sammelschienenabschnitt ausfällt. Die Schaltfelder haben folgende geschotteten Funktionsräume:

- Leistungsschalterraum mit auf Fahrwagen montiertem Leistungs- oder Lastschalter
- Sammelschienenraum
- Kabelanschlussraum
- Niederspannungsraum mit Messung.

Zum Verhindern von Gefahrensituationen und Fehlschaltungen sind zum Personen- und Anlagenschutz verschiedene Verriegelungen am Schaltfeld realisiert.



Bild 9: Schaltanlage 1AC 15kV 16,7 Hz in Betriebszentrale (Bild 4).

3.4 Oberleitung und Rückstromführung

Die oberleitungstechnische Ausrüstung des LBT wurde bereits in [6] beschrieben. Das Kettenwerk ist von der DB-Regeloberleitung Re 250 abgeleitet, seine Hauptdaten sind in der Tabelle 6 zusammengefasst.

Um die erforderliche Stromtragfähigkeit des Gesamtsystems zu erreichen, wurden parallel zu jeder Oberleitung drei Cu-Verstärkungskabel in einem Rohrblock im Seitenbankett mitgeführt (Bild 3 und Tabelle 6). Bei allen Nachspannungen, also in 1000m Abstand, befinden sich entsprechende Kabelaufstiege mit einem Erdungsschalter und einer Verbindung zum Kettenwerk (Bild 10). Die Kabelschirme sind an beiden Enden geerdet. Parallel zu den Kabeln sind drei T-Seile mit demselben Querschnitt verlegt, die einen großen Anteil des Rückstromes übernehmen. Daneben dienen der Rückstromführung noch beide Fahrschienen der Gleise sowie ein Erdseil und ein Rückleiterseil, das die Oberleitungstragwerke verbindet (Bild 3 und Tabelle 6). Die unarmierte feste Fahrbahn trägt nicht zur Rückstromführung bei. Weil der Tunnel in harten und wenig leitfähigen Graniten und Gneisen verläuft, fließt praktisch kein Rückstrom über Erde ab.

In den drei Nordzufahrten, beim Relaisraum und auf den beiden Rhonebrücken befinden sich fakultative Schutzstrecken. Bei normalem Netzstatus von 15-kV- und 132-kV-Netz sind diese durchgeschaltet. Bei vom aktuellen 15-kV-Netzstatus abhängigem anderen Schaltzustand wird der Auftrag *Hauptschalter aus – ein* dem Triebfahrzeugführer über ETCS Level 2 auf dem MMI-Bildschirm im Führertisch angezeigt.

3.5 Netzschutz 15kV

3.5.1 Allgemeines

Als Fahrleitungsschutz werden Schutzgeräte Typ 7ST61 eingesetzt. Die Funktionalität der Geräte variiert, je nachdem ob sie als Fahrleitungsschutz, als Kabelschutz oder für die Fehlerorterkennung eingesetzt werden.

Der Fahrleitungsschutz stellt grundsätzlich den Hauptschutz dar. Im Folgenden wird nur hierauf eingegangen;

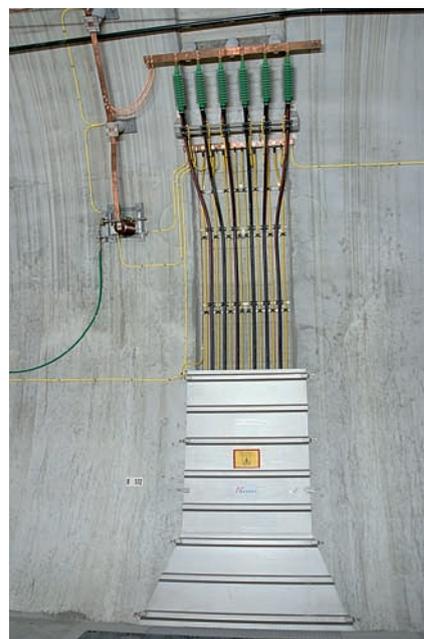


Bild 10: Verbindung 15-kV-Verstärkungskabel – Oberleitungskettenwerk.
Mitte: von unten links und rechts kommende Dreierkabelbündel – Erdungsschiene mit aufgelegten Erdungsleitern (gelb) und Kabelschirmen – 15-kV-Schiene – links Verbinderseile 2 x 95 mm² zum Kettenwerk
links: handbetätigter Erdungsschalter mit Flexball-Antriebsleitung (grün) Stellung Ein-geerdet – Verbindungsschiene zum 15-kV-Stützer, von dort weiter zur Oberleitung

der Reserve-(Backup-)Schutz wird dem jeweiligen Hauptschutz zugeordnet und steht in den eingesetzten Geräten zur Verfügung.

Die Schutzauslösung bei Schalterversagen oder Schutzgeräteausrückfall wird direkt oder über binäre Signalübertragung in der Rückfallstufe gewährleistet. In den Funktionseinheiten oder den Feldmodulen werden die Feldleitgeräte mit den erforderlichen Schutzgeräten zusammengeschaltet und die Fahrleitungsabschnitte in Schutzbereiche aufgeteilt.

3.5.2 Fahrleitungsschutz

Die spezifischen Randbedingungen des Fahrleitungsnetzes im LBT sind für den Fahrleitungsschutz sehr anforderungsreich:

- Kurzschlussströme bis 50 kA
- Abschaltzeiten <50 ms
- zuverlässige Fehlerlokalisierung
- rasches Wiedereinschalten nicht fehlerbehafteter Fahrleitungsabschnitte

Deshalb musste das ursprünglich vorgesehene Schutzkonzept funktional erweitert werden, da ein gewisses Risiko besteht, dass es im Fehlerfall aufgrund der geforderten schnellen Reaktionszeit eine gewisse *Überfunktion* zeigt, das heißt außer dem fehlerbehafteten Abschnitt auch angrenzende abschaltet.

Die Schutzgeräte Typ 7ST61 haben die Funktionsblöcke *Schnellauslösung I>>>* und *Auslösung Impedanzstufe Z>*. Durch diese Staffelung kann zwar eine gewisse Selektivität erreicht werden. Wegen der niedrigen Leitungsimpedanz wird es allerdings kaum möglich sein, in jedem Fehlerfall nur den fehlerbehafteten Abschnitt abzuschalten.

Zurzeit werden im LBT weitere Optimierungsversuche teilweise mit scharfen Kurzschlüssen durchgeführt. Mit gezielter Fehlerortselektierung wird dabei der tatsächlich fehlerbehaftete Abschnitt festgestellt und nicht betroffenen Leitungsabschnitte werden rasch wieder zugeschaltet. Die im Fehlerfall zahlreich anfallenden Informationen können so ausgewertet werden, dass ein Fehlerort möglichst zuverlässig innerhalb der geforderten Zeitspannen bestimmt werden kann.

3.5.1 Kabelschutz

Die Kabelzuleitungen von den UW zu den BZ werden ebenfalls durch Schutzgeräte 7ST61 an beiden Enden geschützt. Die Gerätepaare sind signaltechnisch so miteinander verknüpft, dass sie mit der Funktionalität Richtungsvergleichsschutz arbeiten. Dadurch ist sichergestellt, dass es bei Fehlern ausserhalb der zu schützenden Kabelstrecke keine Auslösungen gibt und damit das Risiko von Fehlabschaltungen gering bleibt. Durch die Schutzgeräte abgeschaltete Kabelstrecken werden weder geprüft noch automatisch wieder eingeschaltet.

3.5.2 Anlagenschutz

Die Schaltanlagen in den BZ werden besonders überwacht und geschützt.

Mit dem Sammelschienenschutz Typ 7SS60 werden in jeder BZ die von außen eingeführten Leitungen überwacht. Bei einer Abweichung in der Stromsumme werden die Leitungen abgeschaltet, und zwar nicht nur am Eingang der betroffenen BZ sondern auch am entfernten Ende der speisenden Leitungen.

Für den Lichtbogenschutz sind die Schaltfelder mit Überdruckklappen bestückt, die bei einem inneren Fehler ansprechen und in den fehlerbehafteten Anlagenbereichen den Schnellerder einlegen.

4 Erdung, elektrische Sicherheit und EMV

Die Maßnahmen zur Erdung der bahntechnischen Anlagen und der Tunnelausrüstung sind im speziell für die LBL abgestimmten Erdungskonzept zusammengefasst. Die

darin enthaltenen Anforderungen zur Erdung und damit zur Gewährleistung der elektrischen Sicherheit werden durch die Starkstromverordnung (SR 734.2) [10] und die Verordnung über elektrische Anlagen von Bahnen (VEAB/SR 734.42) [11] bestimmt.

In den ausgedehnten Tunnelbereichen ist die Bahnerde die Haupteerde. Neben dieser hat auch die Anlageerde mit ihren Erdleitern in den nicht bahntechnisch erschlossenen Tunnelabschnitten, Stollen, Technischen Gebäuden und Vorzonen eine weite Ausdehnung. Der Blitzschutz in den Vorzonen bei Gebäuden und Funkmasten sowie der Korrosionsschutz der Wasserversorgung und der Rhonebrücken bei Raron sind getrennt von der Bahnerde als eigenständige Erdungen aufgebaut.

Grundlegend für die Bestimmung der Erdungsmaßnahmen im Tunnel waren die in Tabelle 7 stehenden Objektmerkmale. Diese besonderen Eigenschaften haben dazu geführt, dass längs der beiden rückstromführenden Schienen durchgängig das Erdseil an den Oberleitungstragwerken sowie die drei Bahnstromrückleiter und das Erdseil im Kabelkanal verlegt wurden (Bild 3 und Tabelle 6). Damit können die Erd- und Rückströme möglichst niederohmig aus dem Tunnelbereich geführt werden.

Tabelle 7: Objektmerkmale zur Bestimmung der Erdungsmaßnahmen im Lötschberg-Basistunnel

Innenschale mehrheitlich mit Abdeckfolien gegenüber Gebirge isoliert
betonierte Innenschale nur auf unbedeutend kurzen Abschnitten armiert
Feste Fahrbahn im gesamten Bahntunnel ohne armierte Platte
Beide Schienen der Gleise führen Rückstrom (Gleisfreimeldung über Achszähler)
technische Gebäude in Felskavernen mit wenig natürlicher Erdfühligkeit entlang der beiden Haupttunnel
Querschläge oder -verbindungen in $\approx 0,3$ km Abstand zwischen den Haupttunneln

Die Bahnerde der beiden Tunnelröhren ist im Norden wie im Süden mit derjenigen der dortigen UW und der zugehörigen Stammlinien von BLS und SBB angeschlossen. Die Erdungen beider Haupttunnel sind zusätzlich alle 333 m durch die QS oder QV hindurch verbunden. Die verteilten Anlageerde-Inseln, zum Beispiel der Lüftungszentralen, werden über Stichelungen ihrer Anlageerde auf kürzestem Weg an die Bahnerde angeschlossen.

Durch die enge Vermaschung der Erdungsanlagen und die niederohmige Rückleitung von Erd- und Bahnstrom werden gefährliche Potentialdifferenzen im Bahnbereich und an den zugehörigen Objekten verhindert und der geforderte Personen- und Sachenschutz ist sicher gewährleistet.

Vor dem eigentlichen Tunnel gibt es verschiedene Bauten, die wegen ihren Eigenschaften wie die Rhonebrücken oder deren speziellen Ausrüstung wie das UW Mitholz mit Sondermaßnahmen versehen wurden. So sind die Spannkabel und die Bewehrung der beiden Brücken isoliert gegenüber der Bahnerde mit verzinkten Stahlbändern geerdet. Dadurch werden Streustromaustritt und damit einhergehende Korrosion verhindert. Die 50-Hz-Er-

dungen der LBT-Anlagen sind bei den Einspeisungen über den Trafosternpunkt mit der Bahnerde verbunden. Die Zuleitungen von den örtlichen Elektrizitätswerken sind nur werkseitig an deren Erde gelegt.

Bezüglich der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) wurden verschiedene Maßnahmen bereits bei der Kabelrohrführung für die Bahnstromanlagen und danach bei der Anordnung der Ausrüstung umgesetzt. Anhand einer Risikomatrix wurden die verbleibenden kritischen Stellen eruiert, an welchen zurzeit ein mehrere Monate dauerndes EMV-Monitoring rund um die Uhr durchgeführt wird. Dieses soll die Berechnungen und Annahmen verifizieren und all-fällige Daten für ergänzende Maßnahmen liefern.

5 50-Hz-Versorgung mit Hochspannung 16 kV

5.1 Übersicht

Auf der Nordseite speisen die Bernischen Kraftwerke (BKW) und auf der Südseite die Energiedienste Visp – westlich Raron (evwr, früher Walliser Elektrizitäts-Gesellschaft) an fünf Übergabestellen in das LBT-eigene 16-kV-Netz (Bild 11). In diesem Verteilnetz eingebunden sind insgesamt 21 Mittelspannungs-Schaltanlagen in den Betriebszentralen (BZ), Lüftungszentralen (LZ) und den Einspeise-Transformatorstationen (TS). Die BKW speisen über die zwei TS Helke und Mitholz. Die evwr versorgen über UW Steg, UW Galdi und UW Visp die Übergabestation Sammelschiene Goppenstein AT, TS Niedergesteln und Sammelschiene Raron AT.

Die Netze der BKW und der evwr sind auf der 220-/380-kV-Spannungsebene gekuppelt. Jedoch verwenden die beiden Gesellschaften in ihren Unterwerken Transformatoren mit unterschiedlichen Schaltgruppen. Trotz gleicher Nennspannung von 16kV sind die Netze von BKW und evwr in der Phasenlage um 30° versetzt.

Für die Kupplung der beiden Netze ist je ein Kuppeltransformator in den BZ Mitholz Ost und West eingebaut. Diese Netztopologie erlaubt im Normalbetrieb einen teilvermaschten Betrieb des gesamten Netzes. Die Schutz-einrichtungen gewährleisten in jedem Netzschaltzustand einen selektiven Netzschutz.

5.2 Netzbetrieb Hochspannung 50 Hz

Das Netz ist leitungsmäßig stark vermascht. Die Sternpunkte der Einspeise- und Kuppeltransformatoren werden isoliert betrieben. Es handelt sich somit um ein isoliert aufgebautes Netz, in dem die Höhe der Erdschlussströme einzig durch die Ausdehnung der galvanisch zusammenhängenden Netzteile bestimmt wird.

Die Energie liefernden Werke lassen nicht zu, dass die verschiedenen Versorgungsbereiche ihrer Unterwerke und Unterstationen (UST) über das 16-kV-Netz des LBT

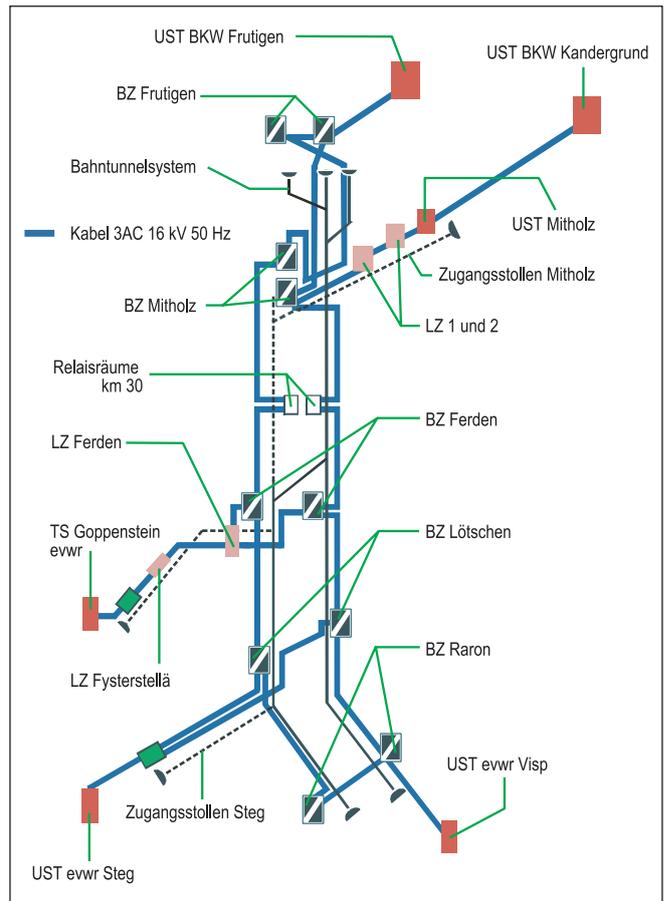


Bild 11: Schema Light- und Kraftstromversorgung Mittelspannung 3AC 16 kV 50 Hz.

BKW Bernische Kraftwerke
evwr Energiedienste Visp – Westlich Raron AG
LZ Lüftungszentrale



Bild 12: Transformatorstation 3 AC 16 kV/400V 50 Hz in Betriebszentrale (Bild 4).

zusammen geschlossen werden. Eine solche Verbindung darf nur kurzfristig für maximal 2 min im Rahmen von Netzumschaltungen auftreten. Dagegen lassen sich die LBT-Teilnetze Nord (BKW) und Süd (evwr in der BZ Mitholz über Kuppeltransformatoren mit einer Einheitsleistung von 5 MVA kuppeln. Die beiden Kuppeltransformatoren sind unter Last verstellbare Transformatoren mit +/- zehn Stufen. Dadurch wird es möglich, das gesamte 16-kV-Netz

Tabelle 8: Technische Standorte mit Netzeinspeisung 400/230V 50Hz / Netztransformatoren / USV-Anlagen

Standort / Anlagentyp	Berechneter, theoretischer Leistungsbedarf	Eingesetzter Netztransformator 16 kV / 400 V	Unterbrechungsfreie Stromversorgungsanlage (USV)
	kVA	kVA	kVA
VOLS Nord	(222)	Speisung ab BZ Frutigen	2 x 60
BZ Frutigen West	670	800	2 x 100
BZ Frutigen Ost	496	800	2 x 100
BZ Mitholz Ost	375	630	2 x 120
BZ Mitholz West	338	630	2 x 140
LZ 1 Mitholz	204	630	2 x 30
LZ 2 Mitholz	180	400	2 x 20
UW Mitholz	337	400	2 x 50
Relaisraum Ost	390	630	2 x 90
Relaisraum West	346	630	2 x 90
BZ Ferden Ost	337	400	2 x 90
BZ Ferden West	329	400	2 x 90
LZ 1 Ferden	246	250	2 x 75
LZ 2 Ferden	59	250	2 x 20
LZ 1 Fystertellä	377	400	2 x 40
LZ 2 Fystertellä	123	400	2 x 20
TS Portal Ferden	240	250	2 x 30
BZ Lötschen Ost	291	400	2 x 90
BZ Lötschen West	289	400	2 x 90
TS Portal Steg	79	250	2 x 25
BZ Raron Ost	610	630	2 x 60
BZ Raron West	609	630	2 x 60
VOLS Süd	(229)	Speisung ab BZ Raron	2 x 60

BZ = Betriebszentrale, LZ = Lüftungszentrale, TS = Transformatorstation, VOLS = Vorortleitstelle

des LBT entweder aus dem Netz der BKW oder dem Netz der ewwr zu versorgen. Dabei müssen allerdings entweder auf der Seite BKW oder ewwr mindestens zwei UW oder UST speisen können.

5.3 Moderne metallgekapselte und -geschottete Drehstrom-Schaltfelder

Die Schaltanlage des Bautyps UniGear ZS1 ist eine luftisolierte, metallgekapselte und -geschottete, störlichtbogengeprüfte, fabrikfertige und typgeprüfte Mittelspannungsschaltanlage in Einschubtechnik entsprechend den internationalen Normen IEC 298 und IEC 62271-200. Sie entspricht allen Forderungen

in der Kategorisierung LSC 2B, Klasse PM mit der IAC-Klasseneinteilung AFRL-20kA/1s (Bild 12).

Das einzelne Schaltfeld ist unter Verwendung hochwertiger Al-Zn-beschichteter Stahlbleche mit einer Blechstärke von 2 mm in Schraubtechnik hergestellt. Sämtliche Einbauten sind von vorn zugänglich. Die Schaltfelder sind für Wand- und Freiaufstellung geeignet. Die Schaltanlage hat ein Isolationsniveau von AC 24 kV und liegt damit für die 16 kV Betriebsspannung zwei Spannungsreihen höher als minimal erforderlich [8, 9].

Das Schaltfeld besteht aus folgenden vier stahlblechgeschotteten Teilräumen: Sammelschienenraum, Leistungsschalterraum, Kabelanschlussraum und Niederspannungsraum (Bild 11).

5.4 16-kV-Netzschutz

Eingesetzt werden kombinierte Schutz- und Steuergeräte mit einheitlicher Bedienoberfläche und Parametrierprogrammen: Die Schutzfunktionen und Algorithmen sind fest in den Geräten implementiert, so dass die Netzparameter mittels Parametriersoftware und PC oder direkt am Display des Schutzgerätes eingegeben werden können. Um die Netzschutzaufgaben auch in diesem Netz gewährleisten zu können, wurden für die Schutzaufgaben geeignete Schutzgerätetypen für den Hauptschutz einschließlich integrierter Reserveschutz vorgesehen:

- Leitungsschutz für Verbindungskabel: Distanzschutz P439
- Transformatorschutz für Transformatoren > 800 kVA: unabhängiger Maximalstrom-Zeit-Schutz (UMZ-Schutz) P139
- Transformatorschutz für Transformatoren ≤ 800 kVA: HH-Sicherung als Primärschutz
- Kuppeltransformatorschutz: Transformator-differentialschutz 632, Distanzschutz P439 und Traforegeleinrichtung REG-D

Der Schutz der Mittelspannungs-Verbindungskabel hat die Aufgabe, das vermascht betriebene und mehrseitig gespeiste 16-kV-Netz sicher, selektiv und mit kurzen Auslösezeiten zu schützen. Es wird dabei berücksichtigt, dass auch Kabellängen von nur einigen Metern Länge zu schützen sind. Auftretende Unsymmetrien im Netz werden mit einer im Schutz integrierten Spannungsüberwachung kontrolliert. Ebenso wird die thermische Belastung der Verbindungskabel überwacht. Mit einer Mitnahmeschaltung wird beim Ansprechen eines Leistungsschalters am Leitungsanfang auch der Leistungsschalter am anderen Leitungsende ausgelöst. Dies wird mit einer Signalvergleichsfunktion durch Übermittlung der Signale über Lichtwellenleiter und InterMicom-Schnittstelle zwischen den Schutzgeräten realisiert. Um zusätzlich die Sammelschienen der BZ, LZ und TS vor lang andauernden hohen Kurzschlussströmen zu schützen, wurde ein vereinfachter Sammelschienenenschutz eingesetzt. Jeder Distanzschutz übernimmt die Hauptschutzfunktion bis zur gegenüberliegenden Station in Schnellzeit mit etwa 50 ms. Diese kurze Auslösezeit gilt für alle Kabellängen, das heißt auch für Kabellängen < 500 m. Er übernimmt gleichzeitig

eine Reserveschutzfunktion für den nachgelagerten Distanzschutz in der Gegenstation mit einer besonderen Impedanz-Zeit-Funktion. Um die Schaltanlagen und Kabel vor asynchronen Netzzusammenschaltungen zu schützen, ist eine Synchronkontrollautomatik im Distanzschutz vorgesehen. Einschaltbefehle an die Leistungsschalter werden erst nach erfolgreicher Prüfung der Netzsynchronität freigegeben.

Für eine selektive und empfindliche Erdschlussrichtungserfassung werden die integrierten Funktionen wattmetrische Erdschlussrichtungserfassung in Kombination mit der Über/Unterspannungsfunktion eingesetzt.

Die Abschaltzeit im ein- oder zweipoligen Erdschlussfall darf auf Grund der hohen Erdschlussströme und der einzuhaltenden maximal auftretenden Berührungs- und Schrittspannungen [10] $120 \text{ ms} \pm 10 \text{ ms}$ nicht überschreiten.

Bei den Netztransformatoren wird ein mehrstufiger UMZ-Schutz realisiert.

6 50-Hz-Versorgung mit Niederspannung 950 V, 400/230 V, USV und DC-Speisungen

6.1 Allgemeines

Die Bahntechnikrüstung des LBT benötigt für einen optimalen und sicheren Betrieb umfangreiche Stromversorgungen für die verschiedenen Anlagen und Systeme.

Insgesamt an 21 Standorten werden über Netztransformatoren 16/0,4 kV Teilnetze mit Niederspannung gespeist. Die Vorortleitstellen Nord und Süd werden indirekt wahlweise von den BZ Frutigen Ost oder West und Raron Ost oder West versorgt. Die technischen Standorte sind aus der Tabelle 8 und Bild 11 ersichtlich. Für die 50-Hz-Versorgung wurden total 259 Unterverteilungen erstellt. Diese sind in 752 Schaltschrank in der Schutzklasse IP 65 eingebaut.

Die BZ und die Speisungen des Bahntunnels sind elektrisch nach Ost- und Weströhre vollständig getrennt und unabhängig voneinander betriebsfähig. In den Containerzentralen sind sämtliche Kabelverbindungen von und zu den Containern mit Stecksystemen realisiert. Die Stecksysteme sind für Nennspannungen von 250 V bis 1000 V und für Nennströme von 10 A bis 400 A ausgelegt.

Alle wichtigen Parameter der 50-Hz-Niederspannungsstromversorgung werden dauernd durch das Tunnelleit-system (TLS) überwacht. Wichtige Funktionen wie die Fernbedienung der bedeutenden Leistungsschalter in den Zentralen, die Beleuchtungen in den technischen Standorten, QS, QV, Nischen, Notausstiegen, Zugangstollen und der Bahntunnel können über das TLS ferngesteuert werden. Zum Teil werden diese Funktionen auch über so genannte Autoreflexfunktionen ausgeführt.

Mit nur wenigen Ausnahmen ist die gesamte Versorgung im Nieder- und Kleinspannungs-Bereich sicherungslos konzipiert und mit Leistungsschaltern oder Leitungsschutzschaltern geschützt.

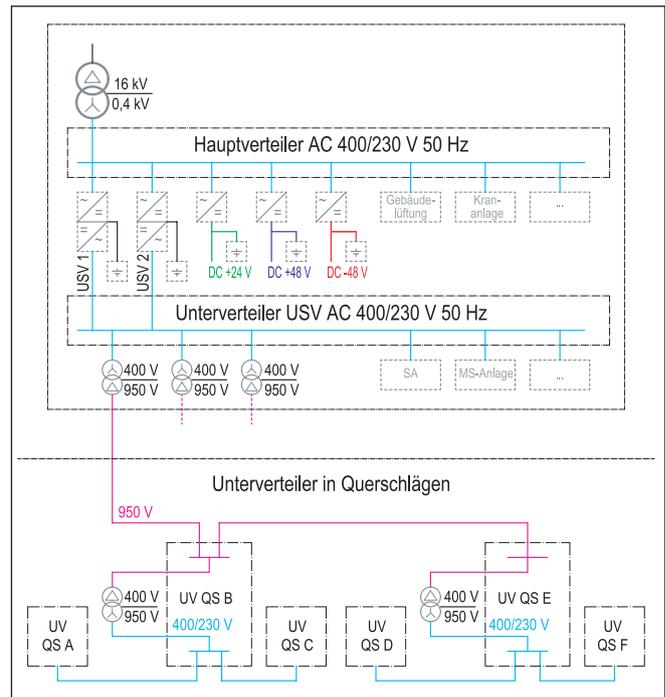


Bild 13: Schema Licht- und Kraftstromversorgung Niederspannung 3AC 400 V 50 Hz.

QS Querschlag

USV unterbrechungsfreie Stromversorgung

UV Unterverteiler

unten: A, B, C usw. als verschiedene Ortsbezeichnungen für weitere QS

6.2 Normalnetz 3AC 400/230 V 50 Hz

Jeweils über eine Kabelverbindung und einen Leistungsschalter werden die Niederspannungs-Hauptverteilungen mit 400/230 V vom Netztransformator gespeist (Bild 13). Zwischen den BZ Ost und West, sowie auch zwischen den LZ 1 und 2 sind QV installiert, über welche bei einer Störung oder während der Dauer von Revisionsarbeiten eine Zentrale die jeweils andere speisen kann. Die Netztransformatoren sind leistungsmäßig für diesen Sonderfall ausgelegt. Die Leistungsschalter für die Einspeisung und für die Querverbindungen können vor Ort oder über das Tunnelleit-system (TLS) bedient werden. Alle Abgänge über 63 A sind mit Leistungsschaltern, Feinabgänge bis 63 A mit Leitungsschutzschaltern und vorgelagertem Backup-Schutz-Leistungsschalter geschützt. Sämtliche Leistungsschalter im 50-Hz-Netz sind mit elektronischen Auslösern ausgestattet, welche einen selektiven Schutz durch Zeitstaffelung ermöglichen.

Folgende typische Lasten werden aus dem Normalnetz 3AC 400/230 V 50 Hz versorgt:

- USV-Anlagen
- Gebäudelüftungsanlagen einschließlich Klimakältemaschinen
- Kran- und Hebeanlagen
- DC-Versorgungen
- Gebäude-Infrastruktur Normalnetz wie Beleuchtungen, Steckdosen
- Aufwärtstransformatoren 400/950 V für größere, entfernte Lasten wie Pumpwerk und Lüftungsanlagen

- Jet-Lüfter (nur bei den Tunnelportalen)
- Wasserver- und Entsorgungs-Anlagen (nicht ersatznetz-berechtigte Anlageteile)

6.3 Gesichertes Netz (USV-Netz) 3AC 400/230V 50 Hz

Alle für die Sicherheit des Bahnbetriebes und die Personensicherheit wichtigen Lasten werden mit einer gesicherten Stromversorgung gespeist. Dies betrifft auch die gesamten Bahntunnelbereiche und die Zugangsstollen, welche ausschließlich aus diesem Netz versorgt werden. Diese Stromversorgung 400/230V 50Hz wird pro Standort mittels zwei redundanten, unterbrechungsfreien Stromversorgungs-Anlagen (USV), je nach Anlage mit einer Nennleistung von 2x 20kVA bis 2x 140kVA, im Online-Betrieb erzeugt. Beide Anlagen laufen im Normalfall parallel und übernehmen je 50% der Last. Beim Ausfall oder während Revisionsarbeiten an einer Anlage kann die andere die gesamte Last übernehmen. Die USV-Anlagen befinden sich in allen technischen Standorten gemäß Tabelle 6 und haben bei Nennlast eine Autonomie von 90min. Die dazugehörigen Batterieanlagen bestehen aus wartungsarmen, geschlossenen Bleibatterien. Diese sind jeweils mit denjenigen der DC-Versorgungsanlagen in einem gemeinsamen, separaten Batterieraum untergebracht. Die beiden USV-Anlagen werden über zwei getrennte Leistungsschalter von der Niederspannungs-Hauptverteilung gespeist. Auch die beiden Lastausgänge werden getrennt über Leistungsschalter auf die USV-Verteilung geführt. Das Schaltprinzip zeigt Bild 13.

Die USV-Anlagen sind modular aufgebaut. Ein oder mehrere Module sind in einem Schrank untergebracht. Es werden Modulgrößen mit 20kVA und 30kVA verwendet. Jedes Modul enthält Gleichrichter, Zwischenkreis und Wechselrichter und ist für sich funktionsfähig. Bei Anlagen mit mehr als einem Modul funktionieren beim Ausfall eines Moduls die anderen weiter und das ausgefallene kann während des Betriebs ausgetauscht werden.

6.4 Unterverteilung gesichertes Netz (USV-Netz) 3AC 400/230V 50 Hz

Die Unterverteilungen USV befinden sich jeweils an den technischen Standorten gemäß Tabelle 6. Sie werden von den USV-Anlagen gespeist und enthalten alle notwendigen Betriebsmittel für die Versorgung der Lasten:

- Aufwärtstransformatoren 400/950V für Speisung der Tunnelbereiche, Zugangsstollen und Notausstiege
- Sicherungsanlagen (SA)
- Motorantriebe für Leistungsschalter in Mittelspannungsschaltanlagen 15kV 16,7Hz und 16kV 50Hz
- Motorantriebe für Leistungsschalter in Niederspannungshauptverteilungen
- Notkühlgeräte in Zentralen mit Containern (USV- und Sicherungsanlagen/Funk-Container)
- Wasserver- und Entsorgungsanlagen (ersatznetz-berechtigte Anlageteile)

- Gebäude-Infrastruktur wie Not- und Sicherheitsbeleuchtungen, Notstrom-Steckdosen

6.5 Übertragungsnetz 3AC 950V 50 Hz gesicherte Stromversorgung

Im Bahntunnel und in den Zugangsstollen müssen für die Übertragung der Niederspannung relativ große Distanzen überwunden werden. Zu diesem Zweck wird die Spannung für diese Speisungen vom 400-V-Netz in ein erdfreies 950-V-Dreileiter-Niederspannungsnetz hochgespannt. Mit dieser Technik können Standard-Niederspannungskabel und speziell für 1000V angepasste Niederspannungsschaltgeräte eingesetzt werden. Dieses Konzept hat auch den Vorteil, dass diese Anlageteile unter die Kategorie Niederspannung fallen. Die zu überbrückenden Längen betragen bis 3 km. In den QS, QV, Nischen und Notausstiegen wird die Übertragungsspannung von 950V wieder auf ein 400/230-V-Netz umgespannt. Die Abwärtstransformatoren befinden sich im Normalfall in jedem dritten QS/QV. Pro Abwärtstransformator werden in der Regel drei QS/QV mit dem 400/230-V-Netz versorgt; der entsprechende QS/QV selber und die beiden direkt benachbarten. Es sind insgesamt 89 Abwärtstransformatoren mit einer Leistung von 7,5kVA bis 30kVA eingebaut. In jedem QS/QV sind die Niederspannungsverteilungen nach Ost und West getrennt aufgestellt und enthalten alle notwendigen Betriebsmittel für die Versorgung aller Lasten mit 400/230 V vor Ort. Sämtliche Kabelanschlüsse sind im Innern der Schränke mit Steckverbindungen ausgerüstet. Dies ermöglicht bei Bedarf den Austausch eines Schaltschranks innerhalb sehr kurzer Zeit.

Folgende typische Lasten werden vor Ort mit Ersatznetz 3AC 400/230 V 50 Hz versorgt (Bild 14):

- Tunnel-Notbeleuchtung
- Beleuchtung und Steckdosen in QS/QV
- Schiebetore Abschluss QS/QV gegen Bahntunnel
- Schaltschränke Sicherheitsanlagen (Brandmeldung, Gas- und Wassermelder)
- Schaltschränke Daten und Telefon (Datenkommunikation)
- Schaltschränke Funk GSM-R und GSM-P
- Schaltschranküberwachung und Beleuchtung aller Schaltschränke vor Ort
- Schaltschrank-Kühlung sowie Heizung in Bereichen, wo dies erforderlich ist

Lasten mit Gleichstromspeisung vor Ort sind pro Anlage mit eigenen, unabhängigen DC-Speisegeräten ausgerüstet.

6.6 Übertragungsnetz 3AC 950V 50 Hz Normalstromversorgungen

Für die Speisung eines Pumpwerkes im Tunnel und für die Ventilatoren der Notausstiege 1 bis 3 bei Frutigen wird ebenfalls ein 950-V-Transportnetz verwendet. Für das Pumpwerk beträgt die zu übertragende Leistung 160kVA und für die Ventilatoren je 50kVA (Tabelle 9).



Bild 14: Elektrische Ausrüstung Querschlag.

Tabelle 9: Technische Standorte mit Einspeisung Ersatznetz 950 V und 400/230 V / Normalnetz 950 V

Standort / Anlagentyp	Anzahl mit Einspeisung Ersatznetz 950 V	Anzahl mit Einspeisung Ersatznetz 400/230 V	Anzahl mit Einspeisung Normalnetz 950 V
Unterverteiler Querschläge	29 (3) ¹	67 (3)	
Unterverteiler Querverbindungen	43 (3)	95 (3)	
Technische Nischen	12 (2)	4 (2)	
Notausstiege Engstligen	3 (3)		3 (1)
Technischer Raum Frutigen	1 (3)	1 (1)	
Pumpwerk Tunnel Engstligen			1 (2)

¹ Die in Klammer angegebenen Zahlen bedeuten die Anzahl Schaltschränke mit Schutzart IP 65 pro Unterverteiler, das heißt beispielsweise die 29 Unterverteiler in den QS mit Einspeisung 950V bestehen aus je drei Einzelschränken, was insgesamt 87 Einzelschränke ergibt.

6.7 Dieselnotstromaggregat

Im UW Mitholz ist ein Dieselnotstromaggregat mit einer Nennleistung von 225 kVA installiert. Dieses ermöglicht bei einem längeren, totalen Stromausfall die gesamte Eigenbedarfsversorgung des Unterwerkes 132/15 kV 16,7 Hz aufrecht zu erhalten, um dieses steuern zu können.

6.8 DC-Speisungen

Für die gesicherte DC-Stromversorgung verschiedener Kommunikations-, Steuer-, Überwachungs- und Schutzsysteme werden drei verschiedene Arten von DC-Versorgungen verwendet. Sie befinden sich in allen technischen Standorten (Tabelle 7). Es sind 24-V-DC- und 48-V-DC-Anlagen mit Leistungen von 1,9 kW bis 5,6 kW installiert. Die Autonomie aller Anlagen beträgt bei Nennleistung mindestens 90 min. Sie werden direkt von den Nieder-

Tabelle 10: Verlegte Kabellängen nach Kabeltyp (total 2840 km)

Kabeltyp	verlegte Längen	Bemerkungen
	km	
Hochspannungskabel 132 kV, 16,7 Hz Cu Wellmantel 630 mm ² und 300 mm ²	63	Übertragungsleitung Mitholz – Gampel (600 mm ²) und Anschlüsse UW Mitholz (300 mm ²)
Erdleiter 132 kV mit integrierten LWL	32	48 oder 144 Fasern
Hochspannungskabel 15 kV, 16,7 Hz Cu 240 mm ² mit Schirm Cu Band 13 mm ²	236	Feederkabel für Oberleitung
Niederspannungskabel (T-Seil) Cu 240 mm ²	229	Parallele Rückleiter zu Feederkabel für Oberleitung
Hochspannungskabel 16 kV, 50 Hz Cu 150 mm ² mit Schirm Cu Band 15 mm ²	276	
Niederspannungskabel 950 V und 400/230 V, 50 Hz	179	950 V: Cu 4 x 35 mm ² 400 V: Cu 5 x 35 mm ²
Lichtwellenleiterkabel	355	24 bis 144 Fasern
Lichtwellenleiterkabel	305	6 bis 48 Fasern Los Baukommunikation
Riefenrohr K44 für LWL-Kabel	392	
Strahlendes Kabel 1/2" bis 5/8"	93	Los Baukommunikation
Strahlendes Kabel 7/8" bis 1 5/8"	159	
Stellwerkkabel	217	1 bis 10 x 4 mit 1,5 mm ² Los Sicherungsanlagen
Stellwerkkabel	47	1 x 4 mit 1,5 mm ² Los Baukommunikation
Signalkabel	245	1 x 4 mit 0,9 mm ² und 5 x 4 mit 0,8 mm ²
Sicherheitskabel	12	3 x 1,5 mm ² FE05

spannungshauptverteilungen eingespeist und enthalten Lade-/Speisegleichrichter, alle notwendigen Schutzgeräte und die Batterien. Die Batterieanlagen bestehen aus wartungsarmen, geschlossenen Bleibatterien und sind jeweils mit denjenigen der USV-Anlagen in einem gemeinsamen, abluftmäßig abgetrennten Batterieraum untergebracht.

Es gibt folgende Lasten:

- 24 V mit Minuspol an Masse
 - örtliche Leittechnik (SPS)
 - Daten, Telefon (E/A-Konzentratoren)
 - SPS von Lüftungsanlagen
 - Niederspannungsverteilungen (Steuerungen/Schutz/Auslösekreise)
- 48 V mit Minuspol an Masse
 - Schaltanlagen 16 kV 50 Hz (Leit-/Schutztechnik, Auslösekreise)
 - Schaltanlagen 15 kV 16,7 Hz (Leit-/ Schutztechnik, Auslösekreise)
- 48 V mit Pluspol an Masse
 - Funk GSM-R, Funk GSM-P, Funk KS A, Funk KS B

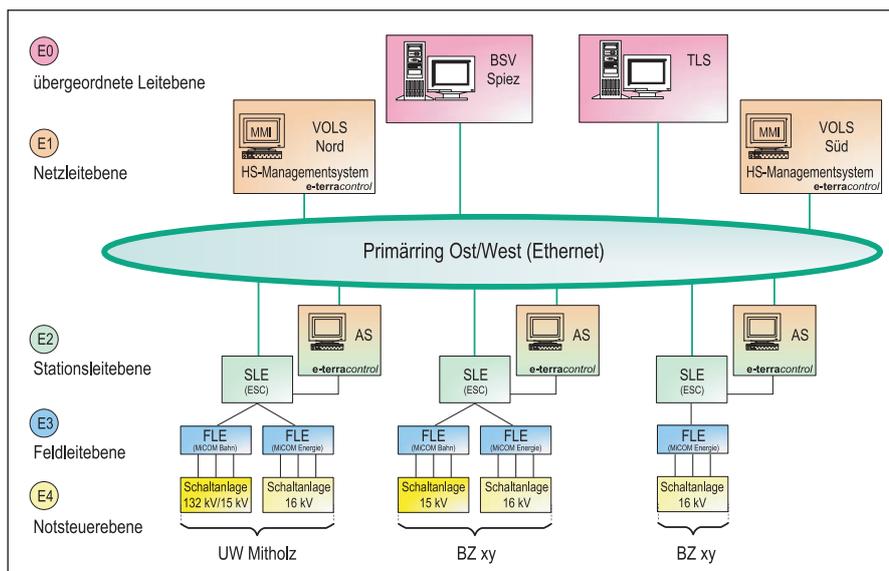


Bild 15: Leittechnikstruktur
 AS Anlagensteuerung
 BSV Leitsystem Bahnstromversorgung Spiez
 BZ Betriebszentrale
 FLE Feldleitebene
 HS Hochspannung 132/15 kV 16,7 Hz
 und 16 kV 50 Hz
 SLE Stationsleitebene
 TLS Tunnelleitsystem
 UW Unterwerk
 VOLS Vorortleitstelle

- Daten-Telefon-Schränke primär/sekundär
- Telefonzentralen

7 Kabelanlagen

7.1 Allgemeines

Die verschiedenen Kabelarten mit einer Gesamtlänge von 2840 km sind in der Tabelle 10 aufgeführt. Für die Baukommunikation mussten bereits in der Rohbauphase umfangreiche Kabelanlagen mit 702 km Gesamtlänge aufgebaut werden. Wegen der aufwändigen späteren Verlegung und Montage ist für die Kabelanlagen eine Lebensdauer von 40 Jahren gefordert. Auch die speziellen Umgebungsbedingungen im Tunnel dürfen während dieser Zeit zu keiner Einbusse der Funktionsfähigkeit führen.

Die Kabelanlagen wurden in je eine autonome Anlage pro Tunnelröhre unterteilt. Die Kabeleinführungen in die technischen Räume und in die QS werden gegen Brand abgeschottet und die Kabelrohranlagen werden entwässert. Aus Sicherheitsgründen wurden Aufputzinstallationen längs des Bahntunnels nicht zugelassen. Die Installationskabel für Beleuchtung, Video und anderes sind in den alle 12,5 m vorhandenen Blockfugen verlegt. Für die Kabel gelten ähnliche Anforderungen bezüglich des Personenschutzes wie für andere elektrische Anlagen. Grundsätzlich wurden im LBT nur halogenfreie Kabel eingebaut. Kabel werden bezüglich Kurzschluss, Erdschluss und Unterbruch überwacht, sofern sie für die Übertragung von Sicherheitsstromkreisen verwendet werden.

Die Kabelverlegung ist sowohl im Tunnel als auch im Dienststollen in einbetonierten Kabelschutzrohren oder in Oberflächenkanälen im Bankett vorgesehen (Bild 3), jedoch nicht auf Pritschen längs der Tunnelwand. Bodenkanäle sind im Brandfall weniger gefährdet als Wandkanäle. Vor jedem QS ist ein Zugschacht vorgesehen und alle 1000 m sind weitere Schächte für die Kabelaufstiege der 15 kV 16,7 Hz Feederkabel mit der Oberleitung notwendig (Bild 10).

7.2 Besondere Herausforderungen

Um die Anzahl aufwändiger 132-kV-Muffenkammern zu reduzieren, sind erstmals Verlegelängen von über 2000 m Länge ausgeführt worden. Die zu erwartenden großen Kurzschlussströme im 15-kV-Netz haben dazu geführt, dass die damit verbundenen Reaktionskräfte mit zusätzlichen Befestigungen aufgenommen werden müssen.

Die Logistik der Kabel-Installationsarbeiten wurde durch die Menge und Anzahl der verschiedenen Kabeltypen und Verlegetechniken deutlich erschwert: Verschiedene Verlegetechniken waren für den Einzug der Hochspannungs-, Mittelspannungs-, Niederspannungs- und Erdkabel nötig. Oftmals wurden mehrere Kabel gleichzeitig eingezogen. Weitere besondere Verlegetechniken für Luftaufhängung der Funkkabel, Einblas-Technik für LWL-Kabel, Abroll-Technik in Oberflächenkabelkanälen für provisorische Kommunikationskabel waren sowohl ab Bahn- wie auch ab Lastwagen erforderlich. Wegen dem Konzept mit den Container-BZ mussten alle Kabelleitungen im Mittelspannungs-, Niederspannungs-, Lichtwellenleiter- und Funkkabel-Bereich mit steckbaren Anschlüssen versehen werden.

In den Spitzenzeiten waren über 50 Montagespezialisten der Kabelinstallationsbranche gleichzeitig engagiert, was zusätzlich zu den Materialtransporten zu umfangreichen Personenbeförderungen führte.

8 Leittechnik der Energieanlagen

8.1 Leittechnikkonzept

Für den LBT wurde ein Leittechnikkonzept für die zu steuernden und überwachenden Hochspannungsanlagen konzipiert, welches dem heutigen Stand der Technik entspricht (Bild 15). Dabei wurden hochwertige Systemkomponenten verwendet, die sich bereits seit vielen Jahren erfolgreich in einer großen Zahl energietechnischer Anlagen bewährt haben. Über der ersten Leitebene, der Netzleitebene, sind folgende übergeordnete Leitsysteme vorhanden:

- Das Tunnelleitsystem (TLS) übernimmt neben der Steuerung und Überwachung der Niederspannungsversorgung des ganzen Tunnels auch Prozesssteuerfunktionen aus anderen Bereichen wie Sicherheitsanlagen, Lüftungszentralen und Videoüberwachungssystemen.
- Die Leitstelle Bahnstromversorgung in der dispositiv-operativen Leitstelle (DOLS) in Spiez übernimmt die Steuerung und Überwachung der 15-kV-Hochspannungsanlagen
- Das Leitsystem der Sicherungsanlagen steuert und überwacht alle Prozesse im Zusammenhang mit dem Zugverkehr.

Folgende Basissystemkomponenten wurden für die Realisierung der leittechnischen Anforderungen eingesetzt:

- Netzleitsystem *AREVA e-terra control*
- Stationsleitsystem *AREVA e-terracontrol* / *AREVA ESC Stationsleittechnik*
- Feldleitgeräte 16,7-Hz-Anlagen der AREVA-ESC-Feldleitgeräteserie
- Feldleitgeräte 50-Hz-Anlagen der AREVA-MiCOM-Feldleitgeräteserie

Diese Leittechniksysteme werden ausschließlich für die Steuerung und Überwachung der Spannungsebenen

- Bahnstromnetz 132 kV 16,7 Hz,
- Bahnstromnetz 15 kV 16,7 Hz und
- Energieversorgungsnetz 16 kV 50 Hz verwendet.

8.2 Leittechnikhierarchie und Steuerebenen

Das Netz- und Stationsleitsystem ist ein modulares, hierarchisch gegliedertes und skalierbares System (Bild 16). Die in den Schaltanlagen erzeugten Signale werden den Feldleitgeräten in der Feldeleitebene zur Prozesssteuerung zugeführt. Nach einer entsprechenden Verarbeitung im Umfang der in den Feldleitgeräten hinterlegten Feldfunktionen werden diese Signale an die Stationsleitebene zur Anlagensteuerung weitergeleitet und von dort der Netzleitebene, dem Managementsystem für 16,7 Hz und 50 Hz Hochspannung (HS), zugeführt. Das Netzleitsystem ist die oberste Ebene innerhalb des HS-Anlagen-Leitsystems. Da dieses System über die gesamten Datenbanken der Einzelstationen verfügt, ist hier auch eine netzübergreifende Steuerung und Überwachung möglich.

Die Netzleitebene ist die erste Leitebene innerhalb des HS-Systems, repräsentiert durch das HS-Managementsystem in den beiden VOLS, und übernimmt netzübergreifende Steuer-, Überwachungs- und Verarbeitungsfunktionen. Die im HS-Managementsystem vorhandenen Datenbankserver übernehmen die Verarbeitung, Archivierung, Protokollierung und Weiterleitung der anfallenden Datenmengen aus den Anlagensteuerungen. Sie stellen somit das Bindeglied zu den übergeordneten Systemen wie zum Tunnelleitsystem oder zur Leitstelle der 15-kV-Bahnstromversorgung in Spiez dar. Befehle aus

übergeordneten Leitebenen werden direkt an das HS-Managementssystem weitergeleitet.

Die Stationsleitebene ist die zweite Leitebene innerhalb des HS-Systems, welche sich in der Anlagensteuerung (AS) widerspiegelt. Die Stationsleitebene (SLE) wird durch das Zentralleitgerät (ZLG) und durch die Bedienstation (MMI-PC) gebildet. Das Zentralleitgerät ist für die Kommunikationssteuerung und Zeitsynchronisierung im System zuständig. Es vereinigt also die Funktionen von Prozesssteuerung und Kommunikationsrechner. Es stellt gleichermaßen die Verbindung zur Netzleitebene her. Die Bedienstation dient der Prozessvisualisierung, der Informationsausgabe und Informationseingabe durch den Bediener und bildet somit die Schnittstelle zwischen Bediener und Anlage.

Die Feldeleitebene ist die dritte Leitebene innerhalb des HS-Systems, welche sich in der Prozesssteuerung widerspiegelt. Bei dem feldorientierten Systemaufbau werden die Signale einerseits prozessnah in den einzelnen Feldern erfasst und andererseits Befehle prozessnah an die Felder weitergegeben. Feldeinrichtungen wie Schutzgeräte und Feldleitgeräte übernehmen alle feldbezogenen Funktionen. Dazu zählen unter anderem Schutzfunktionen, feldbezogene Schaltfehlerschutzfunktion, Synchrocheckfunktion und Transformatorreglerfunktion. Die Schutz- und Feldleitgeräte bilden somit die Feldeleitebene (FLE). Diese Feldeleitebene ist seriell an die Stationsleitebene über Lichtwellenleiterkabel angebunden. Dabei kann es sich bei den Feldgeräten um Schutz- oder kombinierte Schutz- und Steuereinrichtungen oder Regeleinrichtungen handeln. Eine Ausnahme bezüglich der Ankopplung bilden die Schutzgeräte der 132-kV- und 15-kV-16,7-Hz-Feldeleitebene, welche direkt über Lichtwellenleiter an das jeweilige Feldleitgerät angebunden werden. In den Feldeleinrichtungen werden nicht nur alle Prozessdaten erfasst oder Befehle an die Anlage abgegeben, sondern auch erste Verarbeitungsfunktionen, wie unter anderem Echtzeitstempelung, Kontaktentprellen, Plausibilitätskontrollen vorgenommen. Anschließend werden die so

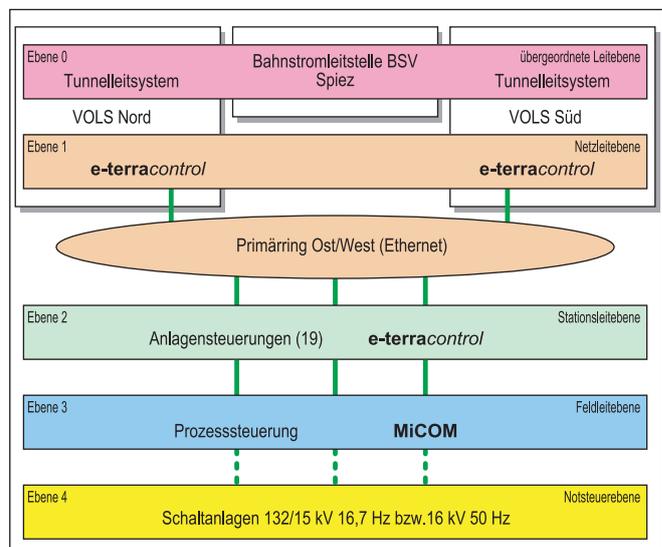


Bild 16: Steuerhierarchie. Abkürzungen wie Bild 15

vorbereiteten Daten an die Stationsleitebene weitergeben.

Schließlich ist die Notsteuerebene die vierte Stueerebene, welche sich direkt am HS-Schaltfeld befindet und keine Leittechnikkomponenten enthält. Diese Bedienebene ist nur direkt am Schaltfeld der jeweiligen Schaltanlage 132/15kV oder 16kV zugänglich. Die Schaltgeräte werden hier unverriegelt betätigt, das heißt es ist keine Anlagenverriegelung mehr möglich. Feldverriegelungen sind nur noch durch mechanische oder elektromagnetische Sperren der Schaltzelle vorhanden. Aus diesem Grund sollte diese Bedienebene nur in Ausnahmesituationen, zum Beispiel bei Störungen des entsprechenden Feldleitgerätes, benutzt werden. Die Notstueerebene ist von der Schaltheite her immer freigegeben.

8.3 Steuerkonzept

Um zu gewährleisten, dass Schalthandlungen immer nur von einem Steuerort ausgeführt werden können, ist am AS-Schrank der Schalter *Bedienberechtigungsfreigabe* angebracht, der nur von entsprechend instruiertem Personal bedient werden darf. Im Normalbetrieb steht dieser Schalter in der Stellung *FERN*, wodurch alle lokalen Bedienhandlungen unterbunden werden. Nach dem Betreten der Station hat das schaltberechtigte Personal die Möglichkeit durch Änderung des Schalters auf Stellung *LOKAL* die Bedien- und Schaltheite auf das MMI im AS-Schrank umzuschalten, wodurch ein steuernder Zugriff sowohl der VOLS als auch der Leitstelle Bahnstrom

15kV unterbunden wird. Für Wartungsmaßnahmen oder bei Ausfall des lokalen MMI ist zudem die Umschaltung auf die Stellung *WARTUNG* möglich. Eine Steuerung ist jetzt nur noch direkt über das entsprechende Feldleitgerät möglich. Die Stellung dieses Schalters wird über Ringleitung an die Feldgeräte verteilt, eine Änderung der Steuerhoheit direkt am Feldleitgerät ist nicht möglich, wodurch unbefugter Zugriff verhindert ist. Die Stellung dieses Schalters hat keinen Einfluss auf die Wirksamkeit der Verriegelung.

8.4 Verriegelungskonzept

Zum Schutz vor ungewollten und unzulässigen Schalthandlungen wird in allen Anlagen eine Verriegelung eingesetzt. Verriegelungen werden in Verriegelungsgleichungen, so genannten *Booleschen Gleichungen*, als Freigabebedingungen hinterlegt. In den Gleichungen werden die Bedingungen für eine zulässige Schalthandlung entsprechend der Ebene definiert. Ist mindestens eine Bedingung, unabhängig von der Ebene, nicht erfüllt, wird die Schalthandlung als unzulässig abgewiesen und eine Fehlermeldung erzeugt. Die Feldverriegelungsgleichungen decken neben den feldbezogenen Verriegelungsbedingungen auch feldübergreifende und stationsübergreifende Verriegelungsbedingungen ab. Stationsübergreifende Verriegelungen werden auf der 15-kV-Ebene durch den schnellen Datenaustausch über die digitalen Datenübertragungsgeräte DIP5000 realisiert. Auf der 16-kV-Ebene wird für die Verriegelung der Abgangserder mit der

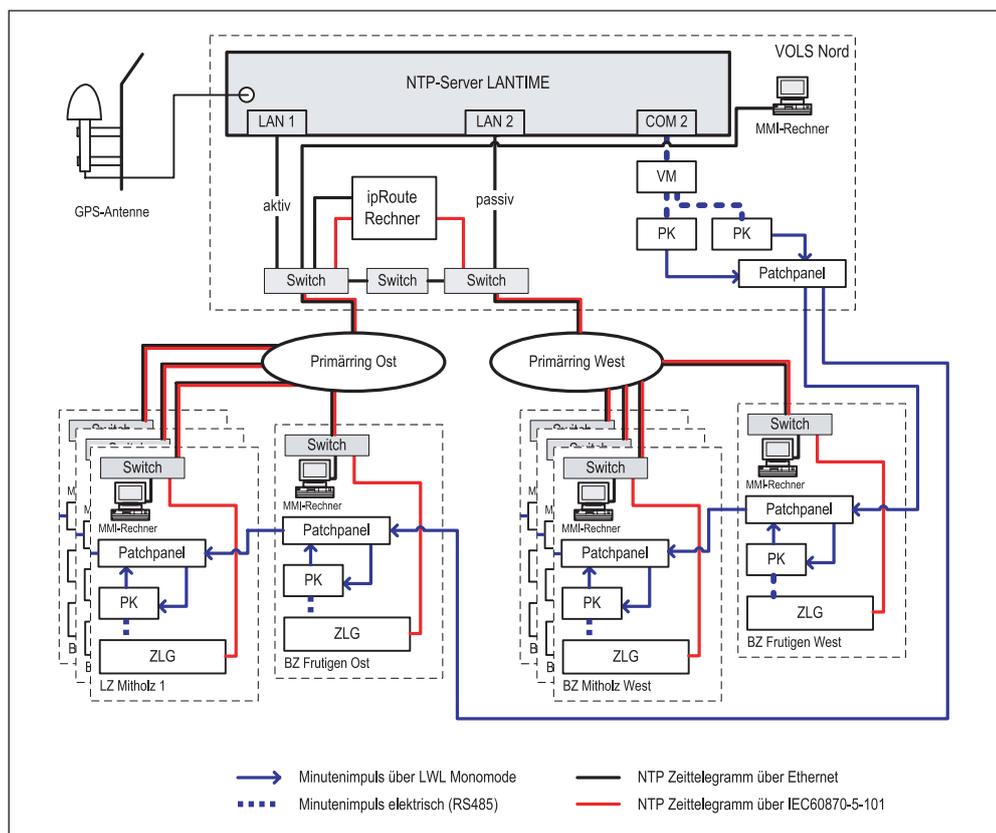


Bild 17: System der Uhrzeitführung
 BZ Betriebszentrale
 COM Serielle Schnittstelle
 GPS Global Positioning System
 LAN Local Area Network
 MMI Man-Machine-Interface
 NTP Network Time Protocol
 PK Pulskonverter
 VOLS Vorortleitstelle
 VM Verdrahtungsmodul
 ZLG Zentralleitgerät

Gegenstation die InterMiCOM-Schnittstelle der Feldgeräte MiCOM P439 genutzt. Das Stationsleitsystem stellt mit seinem Verriegelungskonzept eine Funktionalität zur Verfügung, die es erlaubt, die Schaltgeräte innerhalb einer Schaltanlage vollständig zu verriegeln und damit ungewollte oder unzulässige Schalthandlungen zu verhindern. Dabei können die Verriegelungen freizügig definiert werden. Verriegelungsfunktionen werden in der Feldleitebene als Boolesche Feldverriegelung und in der Notstauerebene für HS-Schaltgeräte als mechanische und elektrische Schaltgeräteverriegelung realisiert. Die Verriegelung in der Notstauerebene wird durch den Schaltanlagenhersteller realisiert. Diese Verriegelung wirkt völlig unabhängig von den Verriegelungsfunktionen in der Feld- und Stationsleitebene. Beim Steuern aus dieser Ebene sind Feld- und Anlagenverriegelung nicht wirksam.

Befehle zur Steuerung von Schaltgeräten werden von den Ebenen 0 (Leitstelle Bahnstromversorgung BSV) bis 3 (Prozesssteuerung) zunächst an das entsprechende Feldleitgerät gesendet. Hier wird überprüft, ob ein Befehl aus dieser Bedienebene ausgeführt werden darf oder ob die Befehls-gabe unzulässig ist. Wenn die Befehls-gabe zulässig ist, erfolgt zuerst eine Verriegelungsprüfung im Feldleitgerät, anschließend wird die Anlagenverriegelungsprüfung durchgeführt.

Die Feldverriegelungsgleichungen decken die ausschließlich feldbezogenen Verriegelungsbedingungen ab. Als Feldverriegelungen werden die Verriegelungen bezeichnet, die auf Feldleitebene ablaufen können, das heißt für die Prüfung dieser Bedingungen stehen sämtliche Informationen innerhalb des Schaltfeldes zur Verfügung. Informationen aus anderen Feldern werden für die Feldverriegelungen nicht benötigt. Die Feldverriegelung wird in der jeweiligen Feldeinheit abgearbeitet. Sind die Verriegelungsbedingungen in der Feldleitebene nicht erfüllt, wird die Befehlsausgabe abgebrochen und eine entsprechende Meldung erzeugt.

8.5 Uhrzeitführung

Die genaue Zeit spielt sowohl im HS-Managementsystem als auch in jeder Anlagensteuerung eine wesentliche Rolle für den reibungslosen Betrieb und die Analyse von Störfällen (Bild 17). Um im Netzwerk mit der genauen Weltzeit (UTC) arbeiten zu können, wird ein eigener Zeitserver eingesetzt.

Der Zeitserver erhält über eine GPS-Satellitenfunkuhr die genaue Zeit. Über das *Network Time Protocol* (NTP), einem Standard zur Synchronisierung von Uhren in Computersystemen, werden Zeitlegramme an alle angeschlossenen Systeme auch außerhalb des Loses Hochspannung verteilt.

In den Anlagensteuerungen muss das Synchronisations-telegramm Sekunden- und teilweise Millisekundengenau ankommen, da bei der Ereignisdokumentation eine Genauigkeit von <10ms gefordert wird. Dies kann aber über das NTP nicht immer garantiert werden. Deshalb wird in den Anlagensteuerungen nur die Information über Jahr, Monat, Tag, Stunde und Minute aus dem Zeitlegramm entnommen und parallel ein Minutenimpuls über eine Ringstruktur an die ZLG der Anlagensteuerungen übertragen. Dieser Impuls kommt auf etwa 100 µs genau an allen im Ring angeschlossenen ZLG's an.

Der NTP-Zeitserver ist ein Stratum-1-Server, das heißt er synchronisiert sich direkt auf eine Referenzzeitquelle. Als Quelle wird eine GPS-Funkuhr verwendet. Durch Auswertung der GPS-Daten kann die GPS-Systemzeit bis auf 250ns genau bestimmt werden. Die GPS-Systemzeit entspricht der UTC.

Der Zeitserver sendet über den Ethernetanschluss LAN1 auf Anfrage eines Clients ein Zeitlegramm. Redundant dazu sendet LAN2 das Telegramm im Falle eines Fehlers in LAN1, allerdings über eine andere IP-Adresse. Für die Zeitsynchronisierung existiert ein eigenes virtuelles Netz

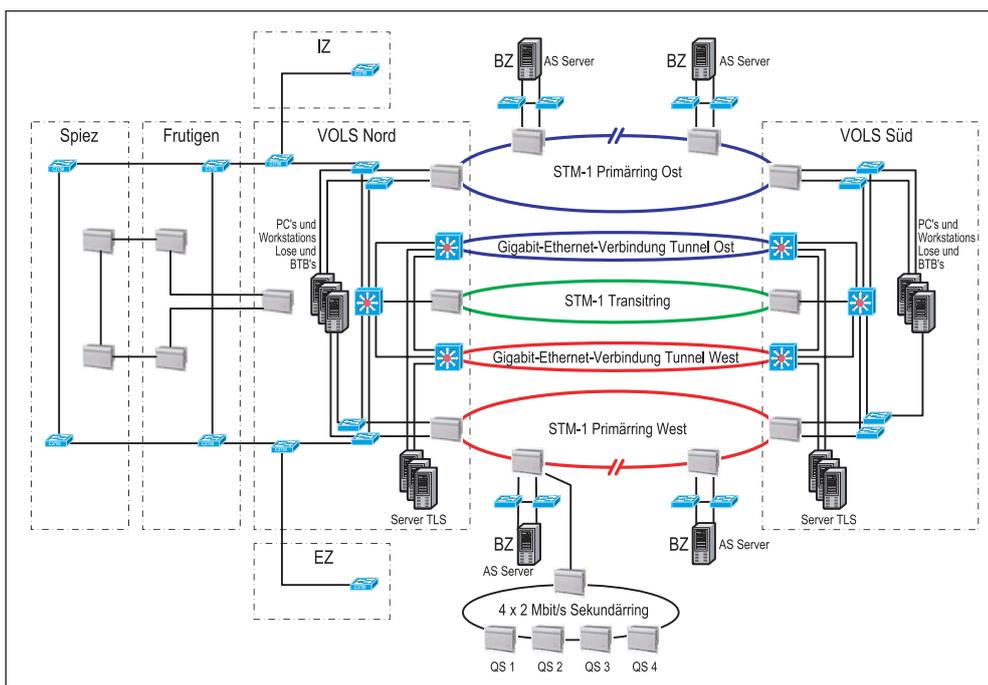


Bild 18: Übersichtsschema Telecommanlagen

AS	Application Server
BZ	Betriebszentrale
BTB	Bahntechnik-Bereich (Ausführungslos)
EZ	Erhaltungszentrum
IZ	Interventionszentrum
QS	Querschlag
STM	Synchronous Transport Modul
VOLS	Vorortleitstelle

(VLAN 400). Alle Clients, die sich direkt auf den Zeitserver synchronisieren, gehören zum Stratum 2.

Die ZLG's kommunizieren über das Protokoll nach IEC 60870-5-101 mit der Netzleitebene. Sie stehen in Master-Slave-Beziehung zum ipRoute-PC in der VOLS, welcher seinerseits über das Ethernet mit dem NTP-Zeitserver verbunden ist. Um die geforderte Zeitgenauigkeit der Ereignisse in der Schutz- und Feldleitgeräten zu erreichen, gibt der NTP-Zeitserver parallel einen Minutenimpuls über die serielle Schnittstelle COM2 aus. Dieser wird mit Hilfe eines Verdrahtungsmoduls auf den Spannungseingang von zwei Pulskonvertern gelegt. Der Pulskonverter leitet das Eingangssignal sofort an den LWL-Ausgang weiter. Das Ausgangssignal der beiden Pulskonverter wird auf das Rangierfeld der Kabelanlagen weitergeleitet, welches über ein LWL-Netzwerk mit den Rangierfeldern in den Anlagenstationen verbunden ist. Dort wird der Minutenimpuls von einem weiteren Pulskonverter abgegriffen und über den LWL-Ausgang wieder auf das Rangierfeld und von dort

- in die „nächste“ AS geleitet,
- über den RS485-Ausgang an die Repeatereinheit RP-A des ZLG's geleitet und
- zur Synchronisierung des ZLG's und dessen untergeordneten Feldleit- und Schutzgeräten benutzt.

In der „nächsten“ AS wird der Impuls analog zum letzten Abschnitt verarbeitet. Dadurch entsteht eine Ringstruktur, die bei Ausfall einer Station oder eines Pulskonverters unterbrochen wird. Deshalb werden alle Pulskonverter über einen Alarmkontakt vom ZLG überwacht, welcher den Ausfall des Minutenimpulses meldet.

9 Telekommunikationsanlagen

Um die Anforderungen der Verfügbarkeit und Unabhängigkeit zu erfüllen, werden die VOLS, BZ und LZ, Relaisräume, sowie die UW Gampel und Mitholz mittels zweier Primärringe erschlossen (Bild 18). Die beiden Primärringe der Tunnelröhren Ost und West sind von einander unabhängig und komplett getrennt. Als Kommunikationsmedium dient eine UMUX 1500 SDH Multiplexer-Plattform der Firma Keymile AG. Zur Vernetzung der Zentralen dient eine optische STM-1 Schnittstelle. Die Endgeräte in den Zentralen sind alle mit einer so genannten *Teaming-Ethernet*-Karte ausgerüstet. Dies ermöglicht die Erschließung der Geräte über zwei unabhängige Schnittstellen.

Der Transitring dient für die direkte VOLS-VOLS-Verbindung und ist für die Kommunikation der Management-Systeme und Schnittstellen niedriger Bandbreite der anderen Lose zuständig.

Die Anbindung der QS und QV an die entsprechende Zentrale erfolgt mittels einer optischen 4 x 2 Mbit/s-Schnittstelle über dieselbe Multiplexer Plattform. Diese Vernetzung wird als Sekundärring bezeichnet. Alle Verbindungen von den Zentralen in die QS sind mittels *1+1 Path-Protection* realisiert: Wird der Ring unterbrochen,

wird sofort auf den geschützten Umweg umgeschaltet. In der Darstellung (Bild 18) ist ein Sekundärring lediglich angedeutet. Pro BZ sind zwei bis sieben Sekundärringe angeschlossen.

Für die Synchronisation der Server des Tunnelleitsystems zwischen den Vorortleitstellen stehen zwei verschiedene Gigabit-Ethernet-Verbindungen zur Verfügung. Diese werden mit Cisco Catalyst 3750 Layer 3 Switches realisiert. Eine Gigabit-Ethernet-Verbindung wird über den Tunnel West geführt, die zweite über den Tunnel Ost. Beide Switches sind miteinander verbunden, damit auch beim Ausfall des Einen die Kommunikation zwischen den Tunnelleitsystemen gewährleistet ist. Für die Verwaltung der redundanten Verbindungen wird das *Rapid-Spanning-Tree*-Protokoll (RSTP) eingesetzt.

Da nicht vorgesehen ist, dass die VOLS normalerweise bemannt sind, werden viele Dienste von der dispositiv operativen Leitstelle (DOLS) in Spiez aus bedient. Diese Anbindung von Spiez aus an das Tunnelnetzwerk wird durch ein Cisco-Switches 3750 realisiert. Zusätzlich dienen fünf UMUX 1500 in Spiez, Frutigen und der VOLS zur redundanten Anbindung von seriellen Schnittstellen von der DOLS an die VOLS. Die Überwachung aller integrierten Geräte wird mit redundanten Managementsystemen gewährleistet.

10 Übrige elektrische Anlagen

Im LBT sind weitere elektrische Ausrüstungen wie Sicherungsanlagen ETCS Level 2, Sicherheitsanlagen (Security), Funkanlagen GSM-R und -P, allgemeiner Tunnelfunk, Rettungsfunk, übergeordnetes Tunnelleitsystem (TLS) und einige elektromechanische Einrichtungen vorhanden, auf die hier nicht weiter eingegangen wird.

11 Ausblick

Die elektrische Ausrüstung wurde termingerecht eingebaut. Am 30. November 2006 verkehrte erstmals ein elektrischer Zug mit 160 km/h durch den ganzen LBT von Frutigen nach Raron. Die bereits durchgeführten und vor dem Abschluss stehenden Inbetriebnahmearbeiten werden in [12] beschrieben. Für die Erlangung der Betriebsbewilligung für das ganze Bahnsystem des LBT läuft ein pragmatischer Nachweisprozess, der sich methodisch streng an den Vorgaben nach EN 50126 und für die Sicherheitsanlagen nach EN 50129 orientiert [13].

Am 15. Juni 2007 wird durch das BAV die eisenbahnrechtliche Betriebsbewilligung [7] für einen reduziert kommerziellen Betrieb unter der Verantwortung der BLS AG als Betreiberin und Konzessionärin erteilt. Dieser dauert bis zum Fahrplanwechsel am 9. Dezember 2007 und schließt rund 6000 Ertüchtigungsfahrten für das Zugsicherungssystem ETCS Level 2 mit kommerziellen, vorwiegend Güterzügen sowie die Versuchsfahrten zum Sicherheits-

nachweis ETCS Level 2 ab 160 km/h bis 250 km/h Höchstgeschwindigkeit für Triebzüge ein.

Über die Durchführung und Ergebnisse verschiedener Abnahmeprüfungen und -Messungen wird in späteren Aufsätzen berichtet.

Literatur

- [1] *BLS AlpTransit AG*: Lötschberg-Basistunnel: Von der Idee zum Durchschlag (2006); Stämpfli Verlag AG.
- [2] Eisenbahn-Netzzugangsverordnung (NZV) vom 25. November 1998 (Stand am 12. August 2003). SR 742.122.
- [3] *Jampen, U.*: Geschichte der elektrischen Bahnenergieversorgung im schweizerischen Berner Oberland. In: Elektrische Bahnen 104 (2006), H. 7, S. 325–329.
- [4] *Thoma, M.; Jampen, U.*: Statische Frequenzumrichteranlage Wimmis (Schweiz). In: Elektrische Bahnen 104 (2006), H. 12, S. 576–583.
- [5] *Meyer, M.; Thoma, M.*: Netzkompatibilitätsstudie und -Messungen für die Umrichteranlage Wimmis. In: Elektrische Bahnen 104 (2006), H. 12, S. 567–574.
- [6] *Hahn, G.*: Oberleitungstechnische Ausrüstung des Lötschberg-Basistunnels. In: Elektrische Bahnen 105 (2007), H. 4–5.
- [7] Verordnung über Bau und Betrieb der Eisenbahnen (Eisenbahnverordnung [EBV]) vom 23. November 1983 (Stand am 9. Dezember 2003). SR 742.141.1.
- [8] *Schippel, H.*: Neue Generation von Hoch- und Mittelspannungs-Leistungsschaltern für Bahnstromschaltanlagen, In: Elektrische Bahnen 104 (2006), H. 8-9, S. 412–420.
- [9] *Schippel, H.*: Applikation von Industrielösungen für Anwendungen bei der Bahn. In: Elektrische Bahnen 105 (2007), H. 4-5.
- [10] Verordnung über elektrische Starkstromanlagen (Starkstromverordnung) vom 30. März 1994 (Stand am 20. Januar 1998)
- [11] Verordnung über elektrische Anlagen von Bahnen (VEAB) vom 5. Dezember 1994 (Stand am 28. März 2000). SR 734.42.
- [12] *Baumgartner, B.; Lörtscher, M.*: Inbetriebnahme des Lötschberg-Basistunnels (LBT). In: Elektrische Bahnen 105 (2007), H. 6.
- [13] *Würgler, D.*: RAMS-Prozess für die eisenbahnrechtliche Betriebsbewilligung des Lötschberg-Basistunnels (LBT). In: Elektrische Bahnen 105 (2007), H. 4-5.

Die Literaturstellen [2], [7], [10] und [11] können unter www.admin.ch/ch/d/sr/sr.html oder unter www.admin.ch dann weiter mit „BK Bundeskanzlei“ (links auf dem Bild) und „Systematische Rechtssammlung“ (rechts), schließlich SR-Nummer eingeben, eingesehen und herunter geladen werden.



Dipl.-El.-Ing. ETHZ *Manfred Lörtscher* (60), Studium Elektrotechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Zürich bis 1971; 1985 bis 2000 Leiter Elektrische Anlagen bei den Schweizerischen Bundesbahnen in Zürich; seit 2000 Leiter Elektrische Anlagen beim Bundesamt für Verkehr (BAV).

Adresse: Bundesamt für Verkehr, 3003 Bern, Schweiz; Fon: +41 31 32-35504, Fax: -41248; E-Mail: manfred.loertscher@bav.admin.ch



Heinz Glanzmann (60) Projektleiter und Geschäftsführer, 1974–1996 Leiter der Planungsabteilung der Elektro-Bau AG Rothrist, seit 1996 Geschäftsführer der Alpha-Plan AG Rothrist.

Adresse: Alpha-Plan AG, Elektro-Engineering, Helblingstrasse 4, 4852 Rothrist, Schweiz; Fon: +41 62 78510-88, Fax: -75, E-Mail h.glanzmann@alpha-plan.ch



Dipl.-Ing. ETHL *Jean Fehlbaum* (49), Studium Elektrotechnik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Lausanne bis 1981; 1981 bis 1991 Projektleiter und ab 1992 Direktor der Verkauf- dann Projektteilung bei Câbles Cortaillod SA, Alcatel Câble Suisse SA und Nexans Suisse SA; seit 2006 Direktor Strategische Projekte bei Nexans Schweiz AG.

Adresse: Nexans Schweiz AG, Abteilung Strategische Projekte, Rue de la Fabrique 2, 2016 Cortaillod, Schweiz; Fon +41 32 843-5369, Fax: -5193; E-Mail: jean.fehlbaum@nexans.com



Dipl.-El.-Ing. HTL *Markus Jordi* (33), Studium Elektrotechnik an der Hochschule für Technik und Architektur Biel 1997 bis 2000, seit 2006 Weiterbildung DAS BW; 2000 bis 2005 System und Network Engineer ascom (Schweiz) AG, seit 2006 Projekt Manager sunrise business communications AG.

Adresse: sunrise business communications AG, Service Management (BCBSBUSM), Freiburgstrasse 251, 3018 Bern, Schweiz; Fon +41 58 7777777; E-Mail: markus.jordi@sunrise.net



Dipl.-Ing. EPFL *Pablo Furrer* (35), Studium Mikroelektronik an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) Lausanne bis 1997, 1997 bis 2002 Projektleiter und Verkaufsingenieur Gleichstromschaltanlagen bei Sécheron AG in Genf, seit 2003 Projektleiter Bahnstromversorgung bei ABB Sécheron AG in Genf.

Adresse: ABB Sécheron AG, 4-6 Rue des Sablières, 1211 Genf, Schweiz; Fon: +41 58 586-2105, Fax: -2682, E-mail: pablo.furrer@ch.abb.com



Dipl.-Techniker HF *Peter Keller* (45), Studium Informationstechnik an der ABB Technikerschule Baden bis 1989, 1986 bis 1996 Fachleitung Sekundärtechnik Gesamtanlagen bei ABB Hochspannungstechnik AG in Zürich, 1997 bis 2001 Projektleiter Schutz- & Stationsleittechnik bei ABB Power Automation AG in Baden, seit 2002 Projektleiter T&D Gesamtanlagen bei AREVA T&D AG in Oberentfelden.

Adresse: AREVA T&D AG, Energiesysteme, Carl-Sprecher-Strasse 3, 5036 Oberentfelden, Schweiz; Fon: +41 62 737-3586, Fax: -3346; E-Mail: peter.keller@areva-td.com



Dipl.-El.-Ing. HTL *Martin Märki* (45), Studium Elektrotechnik an der HTL Brugg-Windisch (1988); seit 1998 bei IUB Ingenieur-Unternehmung AG Bern als Projektleiter und seit 2006 Abteilungsleiter für Energie- und Tunnelinfrastrukturanlagen.

Adresse: IUB Ingenieur-Unternehmung AG Bern, Thunstrasse 2, Postfach, 3000 Bern 6, Schweiz; Fon: +41 31 357-1171, Fax: -1100; E-Mail: martin.maerki@iub-bern.ch



Bernhard Muff (54), Redaktor.

Adresse: BLS AlpTransit AG, Aarestrasse 38 B, 3601 Thun, Schweiz; Fon: +41 33 225-7979, Fax: -7980, E-Mail: bernhard.muff@blsat.ch



Dipl.-Ing. Ing. *Harald Schippel*, (64), Studium MSR-Technik an der Ingenieurschule für Automatisierungstechnik in Leipzig bis 1968, Fernstudium Elektrotechnik an der TU Dresden, 1969 bis 1974, Vertiefungsrichtung Antriebstechnik und Elektroenergiesysteme, seit 1968 bis 2001 verschiedene Tätigkeiten auf dem Gebiet der Elektroenergie- und Automatisierungstechnik (Entwicklungsingenieur, Projektleiter, Produktmanager, Geschäftsbereichsleiter, Geschäftsführer), Mitarbeit in Fachgremien, seit 2001 Leiter Technik Bahnstromversorgung bei ABB Sécheron AG Genf (Schweiz).

Adresse: ABB Sécheron AG, Rue des Sablières 4–6, Postfach 2095, 1211 Genf, Schweiz; Fon: +41 58 5862072; E-Mail: harald.schippel@ch.abb.com



Dipl.-El.-Ing. HTL *Thomas Suter* (41), Studium Elektrotechnik an der Fachhochschule (FH) Brugg-Windisch bis 1989; 1994 bis 1998 Offertingenieur und Produktmanager Sekundärtechnik bei ABB Hochspannungstechnik AG in Zürich; 1998 bis 2001 Projektingenieur bei ABB Power Automation in Baden; seit 2001 Projektingenieur für Gesamtanlagen bei AREVA T&D AG in Oberentfelden.

AREVA T&D AG, Energiesysteme, Carl-Sprecher-Strasse 3, 5036 Oberentfelden, Schweiz; Fon: +41 62 737-3598, Fax: -3346; E-Mail: thomas.suter@areva-td.com