

380-Kilovolt-Leitung in einer multifunktionalen Tunnelanlage

Tragende Idee des Grimseltunnels ist die gemeinsame Nutzung durch eine Schmalspurbahn und durch die heute über die Grimsel laufende Höchstspannungsleitung. Dank der Synergie der Parallelführung liegen die Kosten für beide Infrastrukturen auf einem attraktiven Niveau. Das vorliegende «Faktenblatt Strom» thematisiert verschiedene Strom-Aspekte.

Die heutige 220-Kilovolt-Freileitung über den Grimselpass muss saniert, verstärkt und auf 380 Kilovolt ausgebaut werden. In verschiedenen Abschnitten ist die Leitung auf ein anderes, weniger von Naturgefahren bedrohtes Trasse zu verlegen. Die Grimselleitung ist Teil des Netzprojekts Mettlen (LU) – Ulrichen (VS) und gehört zur strategischen Netzplanung 2025, so wie sie der Bundesrat 2017 beschlossen hat.

Der 2165 m hohe Grimselpass ist für den Bau von Freileitungen besonders herausfordernd. Dies aufgrund der engen und steilen Topografie, des Risikos von Lawinen und Murgängen sowie der Ansprüche der national geschützten Landschaft. Deshalb ist es geboten, für den Ausbau der Grimselleitung auch Verkabelungsvarianten in Betracht zu ziehen.

Bei Verkabelungen von Höchstspannungsleitungen unter schwierigen Geländebedingungen steht eine Stollenlösung im Vordergrund – im Gegensatz zu Beton-Rohrblöcken, die bei einfacherer Topografie und nicht-felsigem Untergrund im Tagebau erstellt werden können. Bei einer Stollenlösung fügt sich die Idee zur Kombination mit einer Bahn logisch ein.

Grundlagen zu Wechselstrom-Hochspannungsleitungen

Allgemeiner Standard der Stromversorgung ist das dreiphasige Wechselstrom-System mit einer Frequenz von 50 Hertz (50 Schwingungen der Spannungsamplitude vom negativen zum positiven Maximum pro Sekunde). Ein Stromversorgungs-Strang besteht daher immer aus drei zusammengehörenden Phasenleitern. Ein vierter Leiter wird als Erdung mitgeführt. Auf den Masten einer Freileitung befinden sich in der Regel mehrere Stränge.

Leitungen in Betrieb

- 380 kV bestehend
- 380 kV Ausbau
- 220 kV bestehend
- 220 kV Ausbau
- Schaltanlage
- Schaltanlage mit Transformatoren

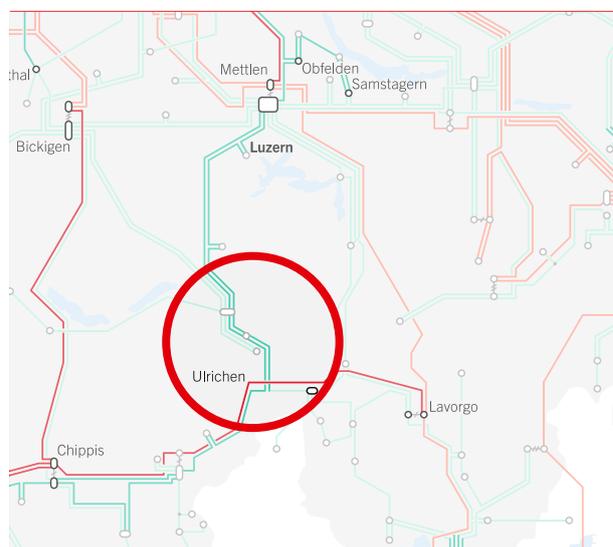


Abb. 1: Die Grimselleitung ist Teil der strategischen Netzplanung 2025.

Ein einzelner Strang ist stets in sich geschlossen. Das heisst: die Summe der Ströme in den drei Phasenleitern ist null. Wenn zum Beispiel eine der drei Phasen in einem Moment 400 Ampere Strom Richtung Bezugsort führt, dann fliessen in den beiden andern je 200 Ampere zurück. Die Erdung ist im Normalfall stromlos (im Gegensatz zur Bahn, bei welcher der Rückstrom via Schiene durch die Erde fliesst).

Das Rückgrat der Stromversorgung sind die Höchstspannungsleitungen von 220 und 380 Kilovolt. Auf diesen Spannungsebenen ist die Stromversorgung Europas durchgehend vernetzt.

Innovatives Projekt

Die Parallelführung von Höchstspannungsleitungen mit einer Bahn in einer gemeinsamen Tunnelanlage ist eine Novität, akzentuiert durch die Länge des Grimseltunnels von 22 km. Dafür sind innovative Lösungen zu entwickeln, die den Anforderungen bezüglich Sicherheit, Betrieb und Wirtschaftlichkeit genügen.

Spezifische Herausforderungen ergeben sich primär durch die engen Platzverhältnisse in einem Tunnel. Es bedarf besonderer Vorkehrungen, um unter anderem die wechselseitige mechanische und elektrische Anlagensicherheit, den Personenschutz, die Immissionsgrenzwerte und die Reparierbarkeit bei allfälligen Störungen an der Kabelanlage zu gewährleisten.

Abbildung 2 illustriert eine der beim Grimseltunnel in Betracht kommenden Varianten für die Parallelführung von Bahn und Höchstspannungskabel. Die Kabel liegen platzsparend in einem Graben, der durch eine massive Leitmauer gegenüber der Bahn geschützt ist. Der Graben ist nach oben offen. Der Luftzug von Bahn, Thermik, Klima und Ventilation gewährleisten die Kühlung der Kabel.

Die drei Kabel pro Leitungsstrang sind eng zusammengebunden, um die magnetische Feldstärke tief zu halten. Ursache des Magnetfelds ist der Stromfluss in den Leitern. Mit einer engen Bündelung der Leiter kann das Magnetfeld weitgehend eliminiert werden, weil die Summe der Ströme



Abb. 2: Variante für die Parallelführung: Kabel in gebündelter Verlegung, Leitmauer, Schiene, Fluchtweg und Lüftungsrohr für Personenschutzräume (v. l.).

in den drei Phasen null ist, so dass sich die Magnetfelder der Ströme gegenseitig kompensieren. Auf diese Weise können die Immissionsgrenzwerte – gemäss Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV): 100 Mikrottesla – in den Zügen ohne weiteres eingehalten werden.

In einer detaillierten Studie werden derzeit verschiedene Varianten für die Parallelführung der zwei Infrastrukturen in allen relevanten Aspekten untersucht. Neben der in Abbildung 2 gezeigten Variante geht es dabei namentlich um die Kabelführung in einem Rohrblock sowie in einem Nebestollen mit kleinem Profil. Weitere Informationen finden sich im «Faktenblatt Projekt».

Die Innovation des Projekts liegt insbesondere in der Entwicklung von wirtschaftlich attraktiven Lösungen. Damit sich die Verkabelung der Grimselleitung gegen ein Freileitungsprojekt durchsetzen kann, muss sie gesamthaft ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis aufweisen (siehe auch «Faktenblatt Verfahren»).

Stand der Kabeltechnik

Für lange Verkabelungen von Höchstspannungsleitungen ist die Kabeltechnik heute ausgereift. Die in Betrieb stehenden Anlagen sind Beweis für hohe Zuverlässigkeit. Die wenigen statistisch erfassten Störungen sind äusseren Einwirkungen oder Montagefehlern zuzuschreiben.

Umfangreiche Erfahrungen gibt es mit Kabelanlagen, die im Meer verlegt sind. Einzelne solcher Anlagen sind bis zu mehreren hundert Kilometern lang. Wegen ihrer Länge werden sie mit Gleichspannung betrieben. Auf dem Festland wurden in jüngster Zeit in Asien und im arabischen Raum Anlagen von bis zu einigen zehn Kilometern Länge gebaut (Wechselspannung). In London ist ein 20 km langes Kabel seit geraumer Zeit in Betrieb. Projekte für Landkabelanlagen sehr grosser Länge werden derzeit in Deutschland entwickelt. Sie dienen der Übertragung der Nordsee-Windenergie nach Süden. Für deren Betrieb ist ebenfalls eine Umwandlung auf Gleichspannung nötig.

Die 23 km lange Kabelanlage im Grimseeltunnel (Wechselspannung) liegt im Rahmen der längsten in Betrieb stehenden Anlagen der obersten Spannungsebene. Erstmals ist die Kombination mit einer Bahn.

Der Transport langer Kabel stellt eine Herausforderung dar. Seekabel werden direkt an der Küste gefertigt, so dass sie ohne Landtransport auf spezielle Schiffe verladen werden können. Bei Landkabeln sind Gewicht und Abmessung der Transportspule limitierende Faktoren für die Länge des zu transportierenden Kabels. Ein Kilometer Kabel wiegt rund 40 Tonnen. Grundsätzlich werden möglichst lange Liefereinheiten angestrebt, um die Zahl der Kabelverbindungen, sogenannter Muffen, tief zu halten. Muffen müssen lokal in Handarbeit montiert werden und beinhalten damit ein gewisses Störungsrisiko. Abbildung 3 zeigt einen Strassen-transport eines Höchstspannungskabels mit einer Länge von ca. 1200 Metern.

Spezifikation für die Grimselleitung

- Spannungsebene: 380 kV (Kilovolt)
- Belastbarkeit: 1200 Megawatt, resp. 1900 Ampere.
- Leiterquerschnitt: 2500 mm² Kupfer oder 3200 mm² Aluminium.
- Anzahl Stränge: 2, Platz für 2 weitere Stränge zum Anschluss der Grimsel-Kraftwerke.
- Längen der Liefereinheiten: mindestens 1500 m, wenn möglich länger 2000 m.



Abb. 3: Der Kabeltransport ist eine Herausforderung. Im Bild ein 1,2 km langes Kabel mit einem Gewicht von über 40 Tonnen.

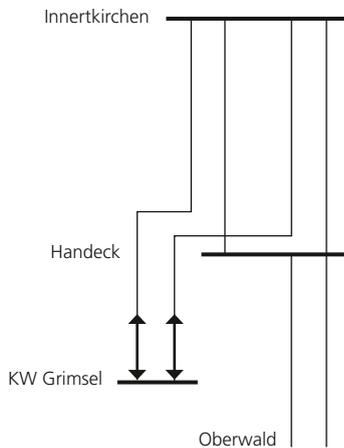


Abb. 4: Die heutige Netztopologie an der Grimsel.

Netztopologie

Heute verlaufen an der Grimsel zwei 220-Kilovolt-Freileitungen mit je zwei Strängen. Beide starten in Innertkirchen und führen zur Handeck. Von dort überquert eine Leitung mit zwei Strängen den Grimselpass. Die andere Leitung mit zwei Strängen führt zu den unterirdischen Grimsel-Kraftwerken, im letzten Abschnitt mit einem 3 km langem Kabel.

Der künftige verkabelte Leitungsverlauf führt an den unterirdischen Kraftwerken vorbei. Die alpenquerenden Stränge werden für 380 Kilovolt gebaut, zunächst wird aber nur einer davon mit der höheren Spannung betrieben. Der andere kann deshalb auch dem Anschluss der Kraftwerke dienen, solange er noch auf 220 Kilovolt betrieben wird. Im Tunnel muss Platz vorhanden sein, um später ein oder zwei 220-Kilovolt-Stränge unterzubringen, die den Anschluss der Kraftwerke sicherstellen. Die vereinfachte Netztopologie ist ein Kostenvorteil der Verkabelungslösung.

Verkabelung – wieso gerade an der Grimsel?

Weshalb sprechen die Gegebenheiten gerade an der Grimsel für eine Verkabelung der Höchstspannungsleitung?

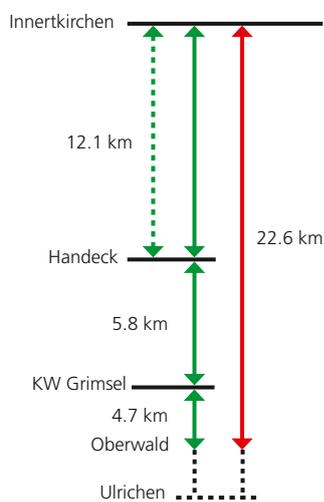


Abb. 5: Die künftige Netztopologie an der Grimsel.

An der Grimsel ist der Bau von Freileitungen kostspielig, wegen der steilen hochalpinen Topologie, den ausgeprägten Gefahren von Lawinen und Murgängen und wegen den Anforderungen der geschützten Naturlandschaft. Die Grimselregion gehört zum Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler (BLN).

Im Gegensatz dazu bietet die Grimsel mit ihrem kompakten Granit günstige geologische Voraussetzungen für den Bau von Tunnels zur Unterbringung von Kabeln. Unter diesen Umständen ist das Kostenverhältnis von Freileitung zu Kabel vergleichsweise klein – umso mehr noch, wenn die Tunnelanlage gemeinsam mit einer zweiten Infrastruktur genutzt werden kann.

Gesamthaft betrachtet sprechen folgende Gründe für die Verkabelung der Leitung:

- Geringe Mehrkosten gegenüber einer Freileitung.
- Betriebssicherheit der im Tunnel geschützten Leitung.
- Minimaler Instandhaltungsaufwand.
- Geringere Verluste beim Stromtransport.
- Schonung der Landschaft.
- Unkomplizierte Bewilligungsverfahren und mithin vergleichsweise rasche Realisierung.

