

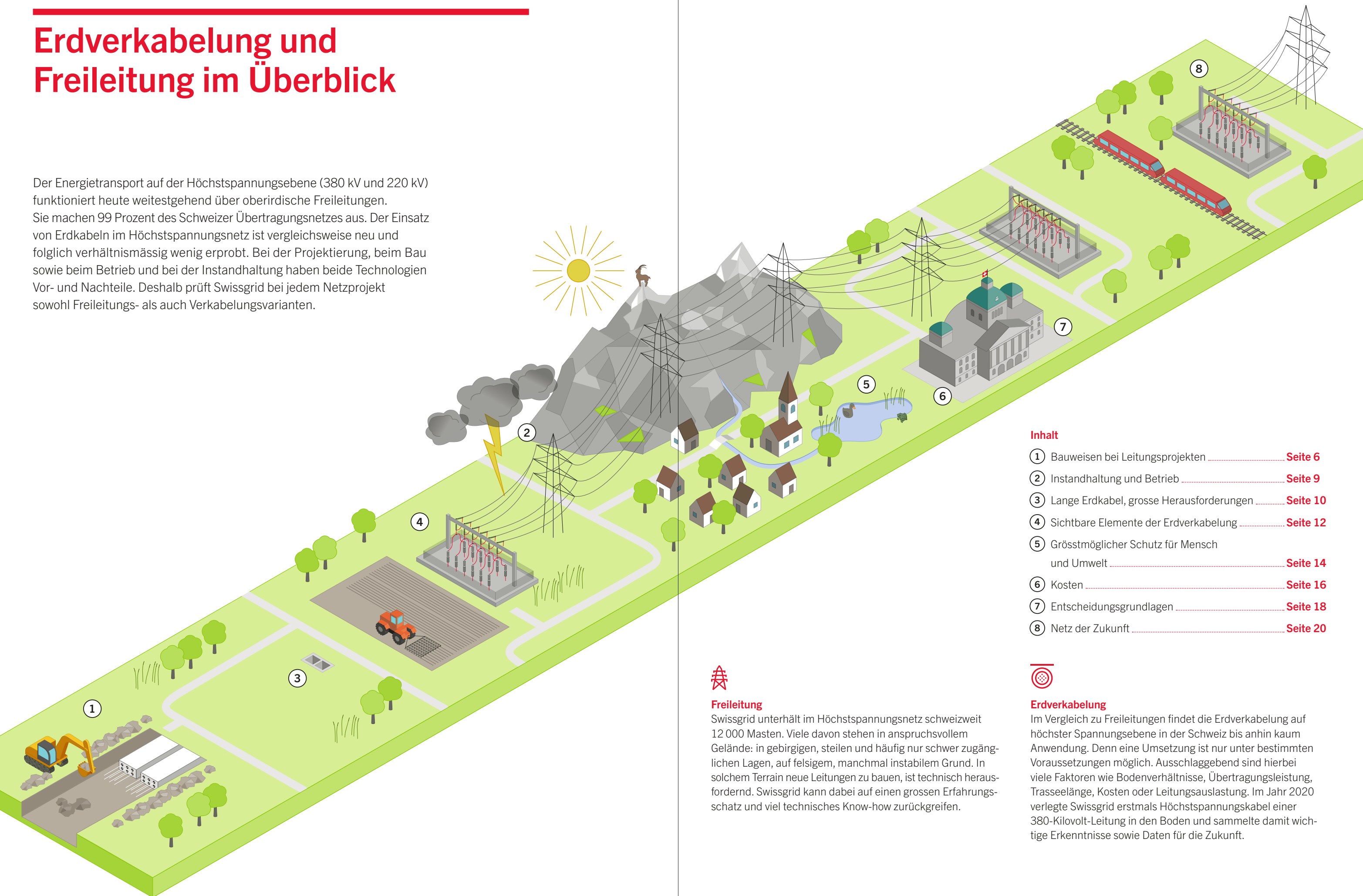
Technologien im Höchstspannungsnetz der Schweiz

Freileitung und Erdverkabelung



Erdverkabelung und Freileitung im Überblick

Der Energietransport auf der Höchstspannungsebene (380 kV und 220 kV) funktioniert heute weitestgehend über oberirdische Freileitungen. Sie machen 99 Prozent des Schweizer Übertragungsnetzes aus. Der Einsatz von Erdkabeln im Höchstspannungsnetz ist vergleichsweise neu und folglich verhältnismässig wenig erprobt. Bei der Projektierung, beim Bau sowie beim Betrieb und bei der Instandhaltung haben beide Technologien Vor- und Nachteile. Deshalb prüft Swissgrid bei jedem Netzprojekt sowohl Freileitungs- als auch Verkabelungsvarianten.



Inhalt

- ① Bauweisen bei Leitungsprojekten **Seite 6**
- ② Instandhaltung und Betrieb **Seite 9**
- ③ Lange Erdkabel, grosse Herausforderungen **Seite 10**
- ④ Sichtbare Elemente der Erdverkabelung **Seite 12**
- ⑤ Grösstmöglicher Schutz für Mensch und Umwelt **Seite 14**
- ⑥ Kosten **Seite 16**
- ⑦ Entscheidungsgrundlagen **Seite 18**
- ⑧ Netz der Zukunft **Seite 20**



Freileitung

Swissgrid unterhält im Höchstspannungsnetz schweizweit 12 000 Masten. Viele davon stehen in anspruchsvollem Gelände: in gebirgigen, steilen und häufig nur schwer zugänglichen Lagen, auf felsigem, manchmal instabilem Grund. In solchem Terrain neue Leitungen zu bauen, ist technisch herausfordernd. Swissgrid kann dabei auf einen grossen Erfahrungsschatz und viel technisches Know-how zurückgreifen.



Erdverkabelung

Im Vergleich zu Freileitungen findet die Erdverkabelung auf höchster Spannungsebene in der Schweiz bis anhin kaum Anwendung. Denn eine Umsetzung ist nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich. Ausschlaggebend sind hierbei viele Faktoren wie Bodenverhältnisse, Übertragungsleistung, Trasseelänge, Kosten oder Leitungsauslastung. Im Jahr 2020 verlegte Swissgrid erstmals Höchstspannungskabel einer 380-Kilovolt-Leitung in den Boden und sammelte damit wichtige Erkenntnisse sowie Daten für die Zukunft.



Ausbau und Modernisierung des Übertragungsnetzes

Das Schweizer Übertragungsnetz

Mit einer Länge von insgesamt über 6700 Kilometern und 147 Schaltanlagen bildet das Schweizer Übertragungsnetz das Rückgrat für die sichere Stromversorgung der Schweiz. Die Aufgabe dieses sogenannten Höchstspannungsnetzes ist es, die von den Kraftwerken produzierte Energie mit einer Spannung von 380 oder 220 Kilovolt in die regionalen und lokalen Verteilnetze zu transportieren, von wo aus sie zu den Verbraucherinnen und Verbrauchern gelangt.

Ausbau und Modernisierung

Das Schweizer Übertragungsnetz gehört heute zu den sichersten und stabilsten der Welt. Die Anforderungen an das Netz haben sich jedoch aufgrund der Marktliberalisierung und der Zunahme von Produktion aus erneuerbaren Energiequellen gewandelt. Bereits heute bestehen im Schweizer Übertragungsnetz strukturelle Engpässe. Um diese zu beheben und das Netz für die zukünftigen Herausforderungen wie die Energiewende zu rüsten, unterhält und modernisiert Swissgrid die Infrastruktur laufend und sichert so der Schweiz eine nachhaltige Energiezukunft.



6700 km

Swissgrid unterhält schweizweit mehr als 6700 Kilometer Höchstspannungsleitungen und 12 000 Masten.



42 km

Der Anteil Erdkabel im Übertragungsnetz von Swissgrid ist kleiner als ein Prozent.



260 000

Schrauben montieren die Netzelektrikerinnen und -elektriker an den Masten für den Ausbau der 50 Kilometer langen Leitung Pradella–La Punt.



15 cm

beträgt der Durchmesser eines 380-Kilovolt-Erdkabels auf Höchstspannungsebene.



40 Tonnen

Das Gewicht einer Kabelrolle kann bis zu 40 Tonnen betragen.



15 Jahre

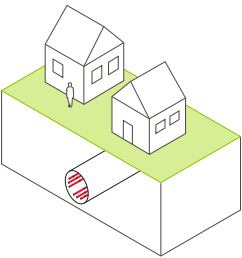
oder länger kann es bei einem Infrastrukturprojekt vom Projektstart bis zur Inbetriebnahme dauern. Gründe hierfür sind langjährige Bewilligungsverfahren, Einsprachen und Gerichtsurteile.

Bauweisen bei Leitungsprojekten



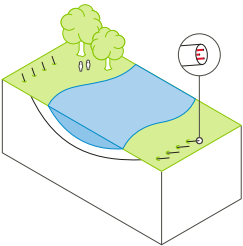
Trasseebau: So kommt das Kabel unter den Boden

Wie verlegt man eine Übertragungsleitung in den Untergrund? Welche Verfahren eignen sich für welches Gelände – und wie wirken sie sich auf Bauzeit, Kosten oder Belastbarkeit aus? Swissgrid sucht in der Leitungsplanung stets optimale Lösungen im Spannungsfeld der vier Pfeiler Wirtschaftlichkeit, Technik, Raumentwicklung und Umwelt. Der «Baukasten Leitungsbau» ist ein wichtiges Hilfsmittel im Rahmen dieser Lösungsfindung. Er beschreibt die Vor- und Nachteile der verschiedenen Lösungsvarianten präzise und trägt damit dem Bedürfnis nach einer fundierten Abwägung aller baulichen Möglichkeiten Rechnung.



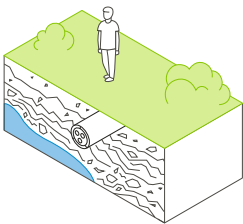
Tunnelbau

Dieses Verfahren wird in felsigem, gebirgigem Gelände oder zum Unterqueren von Hindernissen wie zum Beispiel Siedlungen oder Eisenbahngleisen gewählt. Die begehbaren Tunnel werden im Stollenbau oder Pressvortrieb gebaut, die Kabel an speziellen Kabelträgern geführt. Durch das relativ grosse Tunnelprofil fällt viel Ausbruchmaterial an, das zu deponieren ist.



Gesteuerte Bohrung

Ein richtungsgesteuerter Bohrkopf gräbt sich unter Hindernissen wie etwa Gewässern, Strassen oder Werkleitungen durch. Hinter den Bohrkopf wird stabilisierende Flüssigkeit gepumpt. Danach werden Leerrohre für die Kabel eingezogen.

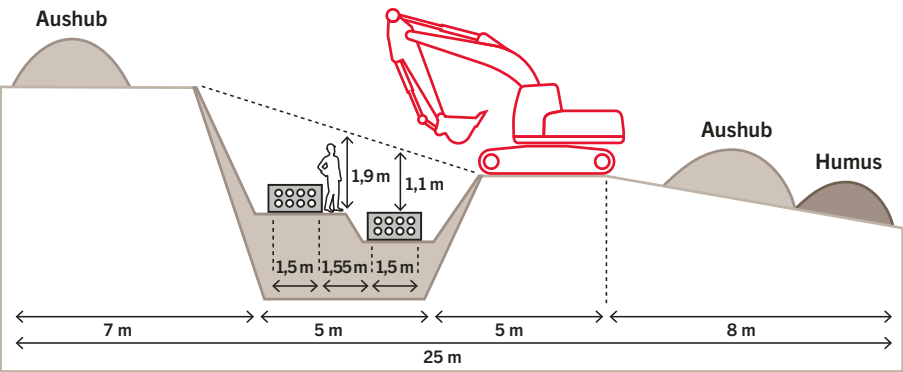


E-Powerpipe

Neuartige kleine Bohrmaschine mit Vorschub über einzelne Rohrelemente. Das Verfahren zeichnet sich durch eine hohe Vortriebsleistung und daraus resultierend geringe Kosten aus. Es kommt für den oberflächennahen Vortrieb im Lockergestein zum Einsatz, sowohl in trockenen Böden als auch im Grundwasser.

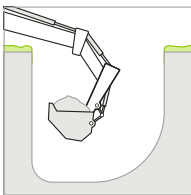
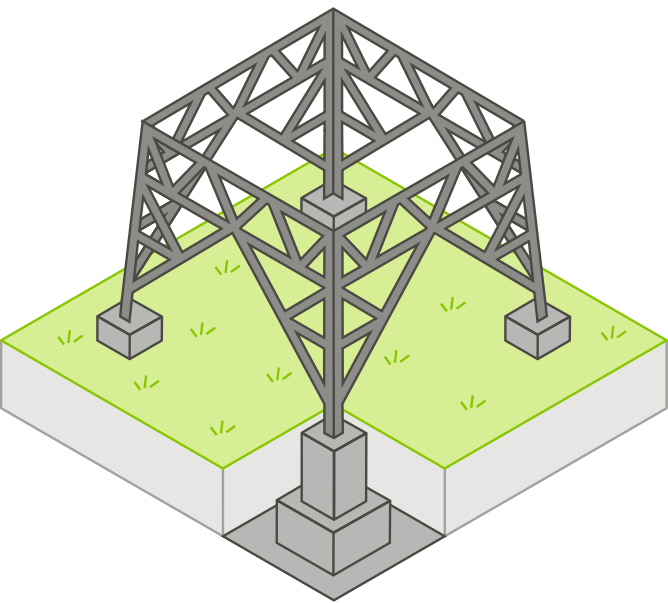
Kabelrohrblock

Die Verlegung von Erdkabeln erfolgt grösstenteils mittels Verfahren im offenen Grabenbau. Das Bauverfahren bedingt den Aushub eines rund zwei Meter tiefen Grabens. Für Grabenaushub, Zwischendepots von Aushubmaterial sowie Baupisten ist ein ca. 25 Meter breites Bautrassee erforderlich. In diesen Graben werden mithilfe von Schablonen Kabelschutzrohre verlegt. Sie werden anschliessend zu Kabelrohrblöcken betoniert und der ganze Graben wird wieder mit Erde aufgefüllt. Am Schluss werden die Stromkabel in die Kabelschutzrohre eingezogen.

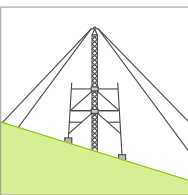


Freileitungsbau: auf stabilem Fundament

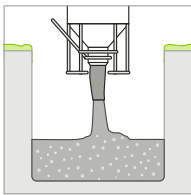
Swissgrid unterhält schweizweit mehr als 6700 Kilometer Höchstspannungsleitungen und 12 000 Masten. Viele davon stehen in anspruchsvollem Gelände: in gebirgigen, steilen und häufig nur schwer zugänglichen Lagen, auf felsigem, manchmal instabilem Grund. Der Mast einer Höchstspannungsleitung benötigt eine Fläche von maximal 15 × 15 Metern. Sein aus vier Sockeln bestehendes Fundament wird sehr stabil gebaut: Es muss nicht nur den Mast tragen, sondern auch sicherstellen, dass dieser bei starkem Wind nicht umkippt. Je nach Masthöhe und Terrain – vor allem in den Bergen stehen Masten häufig in steilem oder instabilem Gelände – sind zusätzliche Sicherungsmassnahmen nötig. Spezielle Messinstrumente überwachen bis in 25 Meter Tiefe feinste Bewegungen des Untergrunds. Bauliche Massnahmen wie Metallnetze oder Betonverstärkungen schützen die Masten vor Lawinen, Steinschlägen oder Murgängen.



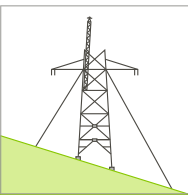
Am künftigen Maststandort wird ein Schacht ausgehoben – je nach Gelände mittels Bagger, Presslufthammer oder bergmännisch.



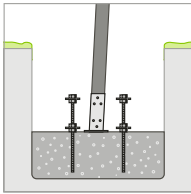
Sind die Fundamente fertig betoniert, kann der Mast mit einem Pneukran, Helikopter oder – wie die Illustration zeigt – mit einem Montageturm in die Höhe gebaut werden.



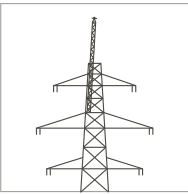
Die Schachtwände werden gesichert und armiert. Danach wird am Schachtboden der Fuss des Sockels betoniert. Er misst bis zu 4 × 4 Meter.



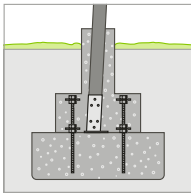
Helikopter oder Lastwagen schaffen die Mastelemente herbei. Mit dem Montageturm werden sie Stück für Stück emporgehoben.



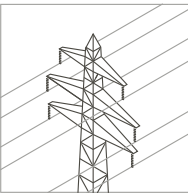
Die untersten Stahlelemente der Masten werden im Beton verankert. Zusätzlich tragen ins Fundament eingelassene metallene Pfähle zur Verstärkung und Stabilität bei.



Der Mast wächst kontinuierlich in die Höhe. In steilem Gelände werden einzelne Mastelemente per Helikopter direkt aus der Luft befestigt.



Die Stahlelemente werden mit mehreren armierten Betonschichten überzogen. Der Sockel verjüngt sich zur Erdoberfläche hin in mehreren Stufen.



Ist der Mast fertig gebaut, werden die Stromkabel – die sogenannten Leiterseile – mittels Flaschenzügen an den Isolatoren eingehängt.



Instandhaltung und Betrieb

Freileitungen und Erdkabel haben Vor- und Nachteile beim Betrieb des Netzes und dessen Instandhaltung. Die technischen Herausforderungen wie zum Beispiel die Spannungshaltung nehmen zu, je mehr Leitungsabschnitte des Übertragungsnetzes in den Boden verlegt werden. Denn beide Technologien besitzen unterschiedliche elektrische Eigenschaften, die Auswirkungen auf die Stabilität und Verfügbarkeit des Übertragungsnetzes haben.

Unterhalt und Lebensdauer

Freileitungen

Damit das Übertragungsnetz jederzeit verfügbar ist, werden die Freileitungen und Masten regelmässig inspiziert und instand gehalten. Die Lebensdauer einer Freileitung beträgt rund 80 Jahre. Unter einer Freileitung kann der Boden landwirtschaftlich ohne grössere Einschränkungen – unter Beachtung von Sicherheitsregeln – bewirtschaftet werden.

Erdkabel

Zu einem Erdkabeltrasse gehören Übergangsbauwerke, die Kabel selbst und Muffenschächte. Nach heutigen Einschätzungen beträgt die Lebensdauer für Erdkabel etwa 40 Jahre. Der Boden über dem Kabelrohrblock kann wieder landwirtschaftlich genutzt und begrünt werden. Da Wurzeln das Erdkabel gefährden, muss das Trasse allerdings von hochstämmigen oder tiefwurzelnden Bäumen freigehalten werden.

Störungen

Freileitungen

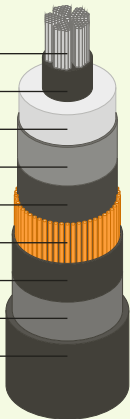
Freileitungen sind Natureinflüssen wie beispielsweise Blitzeinschlag, Eisbehang und umstürzenden Bäumen stärker ausgesetzt als Erdkabel. Sie sind deshalb häufiger von Störungen und Unterbrüchen betroffen als die im Boden gut geschützten Erdkabel. Störungen und Unterbrüche können aber bei Freileitungen in aller Regel innerhalb von wenigen Minuten oder Stunden behoben werden.

Erdkabel

Störungen kommen bei Erdkabeln nur selten vor. Dafür dauert ihre Behebung viel länger als bei einer Freileitung, weil Erdkabel bei einer Störung meist Schaden nehmen und ausgetauscht werden müssen. Dies kann mehrere Wochen bis Monate in Anspruch nehmen, denn Kabel werden für jedes Projekt auf Mass dimensioniert und produziert. Auch das Entfernen des beschädigten und das Einziehen des neuen Kabels ist wegen des hohen Gewichts von Erdkabeln sehr aufwendig.

Aufbau eines Erdkabels

- Leiter aus Aluminium oder Kupfer
- Innerer Halbleiter
- Isolation
- Äusserer Halbleiter
- Saugfähiges Vlies
- Schirm aus Kupferdraht
- Diverse Schichten für den mechanischen Schutz



Erdkabel mit Polyethylen (XLPE) als Isoliermaterial

Auf der Höchstspannungsebene kommen verschiedene Kabeltechnologien zum Einsatz. Die wichtigsten Unterschiede liegen beim Isoliermaterial, mit dem die Leiter umhüllt sind. Dieses kann aus Gas, komprimierter Luft oder Polyethylen bestehen. Jede dieser Technologien hat Vor- und Nachteile. Erdkabel mit Polyethylen als Isoliermaterial sind der Standard für Höchstspannungskabel und wurden von Swissgrid in Bözberg (AG) und zwischen La Bâtière und Le Verney (VS) eingesetzt. Sie sind sehr vielseitig, da sie in Betonkabelkästen, in Tunneln und sogar unter Wasser eingesetzt werden, beispielsweise bei der 150-kV-Leitung zwischen Brusino und Morcote (TI). Die Kabel bestehen im Kern aus einem Leiterseil aus Kupfer oder Aluminium, das von mehreren Schichten aus Polyethylen ummantelt ist. Zusätzliche Schichten dienen der Abdichtung, dem mechanischen Schutz oder der Betriebserdung von kapazitiven und Kurzschlussströmen. Der Nachteil dieser Technologie ist das Gewicht.

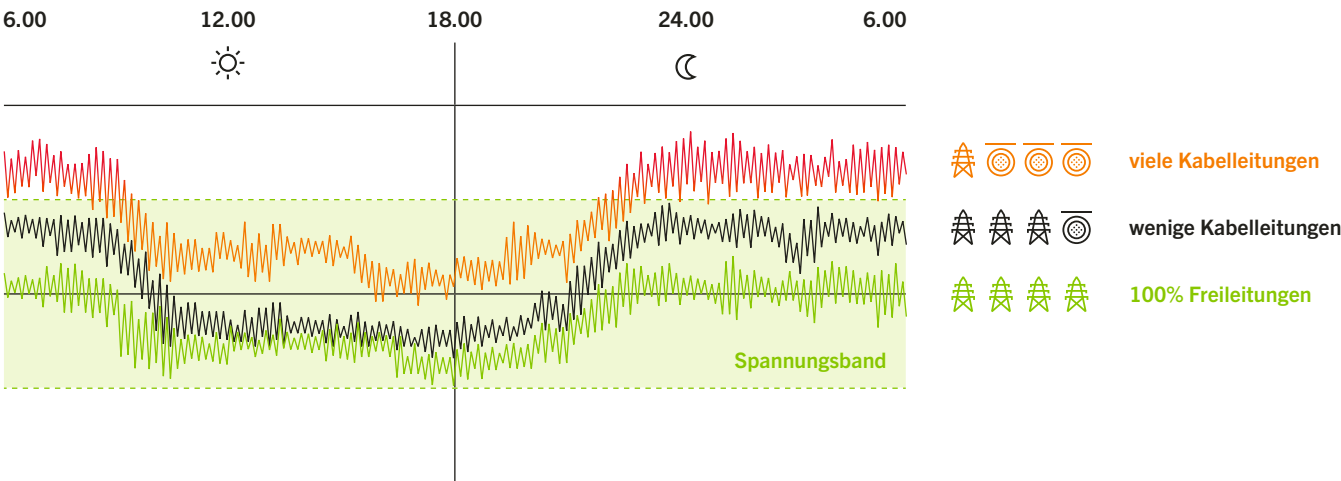
Lange Erdkabel, grosse Herausforderungen

Swissgrid ist technologieoffen und erarbeitet bei jedem Projekt Freileitungs- und Verkabelungsvarianten. Bei der Beurteilung ihrer Vor- und Nachteile ist aber nicht nur der jeweilige Leitungsabschnitt, sondern das Netz als Gesamtsystem im Auge zu behalten. Physikalische Phänomene und betriebliche Herausforderungen setzen dem Einsatz von Erdkabeln im Übertragungsnetz Grenzen. Swissgrid unterstützt technologische Innovationen und Pilotprojekte für das Netz der Zukunft.

Spannungshaltung

Die Netzleitstelle von Swissgrid muss rund um die Uhr darauf achten, dass sich die Spannung im Übertragungsnetz innerhalb eines bestimmten Bandes bewegt. Sonst drohen Schäden an den elektrischen Anlagen. Erdkabel erhöhen die Spannung aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften stärker als Freileitungen. Steigt die Anzahl Erdkabelkilometer im Übertragungsnetz, reichen die üblichen Massnahmen

zur Spannungshaltung – die Anweisung an Kraftwerke, ihre Produktion zu erhöhen oder zu drosseln – nicht mehr. Es braucht zum Beispiel sogenannte Kompensationsanlagen. Diese benötigen allerdings viel Platz, sind kostenintensiv und verursachen Lärm. Zudem erhöhen zusätzliche technische Komponenten die Komplexität und damit auch die Fehleranfälligkeit des Übertragungsnetzes.



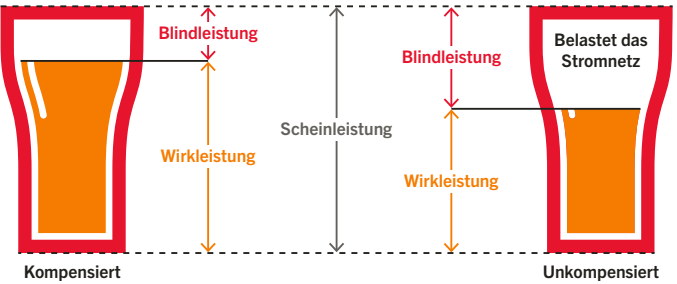
Kabeltunnel zwischen La Bâtiaz und Le Verney im Raum Martigny (VS)

Blindleistung

Blindleistung ist wie der Schaum, der das Glas füllt und dem Bier weniger Platz lässt. Physikalisch unterscheidet man die kapazitive und die induktive Blindleistung. Sie kompensieren sich und heben sich idealerweise ganz auf. Swissgrid versucht, ihre Leitungen möglichst nahe an diesem Punkt der sogenannten «natürlichen Leistung» zu betreiben. Bei Erdkabeln ist dies nicht möglich, da sie sich zu stark erhitzen würden. Lange Erdkabel reduzieren deshalb entweder die effektive Leistung einer Leitung (Wirkleistung) oder sie machen Anlagen zur Kompensation der Blindleistung nötig. Diese Herausforderung verstärkt sich proportional zur Länge einer Erdkabelleitung.

Elektrische Verluste

Beim Stromtransport geht immer elektrische Energie verloren. Die Wirkleistungsverluste hängen von der Übertragungsleistung ab. Bei Freileitungen sind sie höher als bei Erdkabeln. Rechnet man bei den Erdkabelleitungen die Verluste durch die Kompensation der Blindleistung dazu, sind die Verluste bei beiden Übertragungstechnologien ungefähr gleich gross.

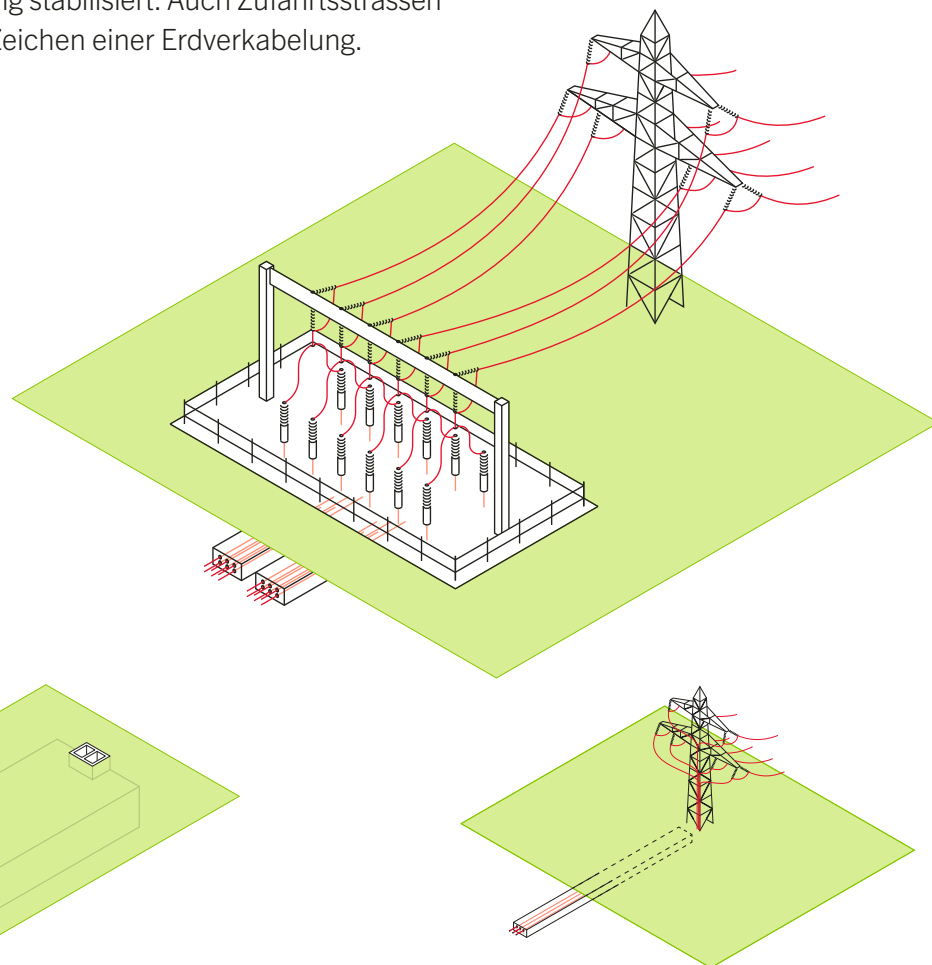


Sichtbare Elemente der Erdverkabelung

Der Schutz des Landschaftsbilds ist ein grosser Pluspunkt der Erdverkabelung. Der Grossteil der Leitungsinfrastruktur steckt – unsichtbar – im Boden. Doch auch Erdkabel hinterlassen Spuren in der Landschaft, zum Beispiel in Form von Schneisen im Wald, Zufahrtsstrassen und Übergangsbauwerken, welche die Freileitung mit dem Erdkabel verbinden. Spezielle Schachtbauten dienen der Kontrolle und der Reparatur der Kabelverbindungen. Mit Kompensationsanlagen wird die Spannung stabilisiert. Auch Zufahrtsstrassen und Waldschneisen sind sichtbare Zeichen einer Erdverkabelung.

Übergangsbauwerke

Um die Erdkabel mit den Freileitungen zu verbinden, braucht es Übergangsbauwerke. Deren markantestes Merkmal sind die Abspanngerüste, die rund 25 Meter in den Himmel ragen. Sie nehmen die Leitungen vom letzten Mast auf und verbinden sie mit den Erdkabeln. Übergangsbauwerke benötigen ungefähr die Fläche eines Eishockeyfelds. Swissgrid achtet bei der Planung einer Teilverkabelung darauf, sie bestmöglich in die Landschaft einzubetten.



Muffen- und Bridenschächte

In den Boden verlegte Höchstspannungskabel bestehen aus zahlreichen Schichten. Das fällt ins Gewicht. Die Kabel lassen sich deshalb nur in ungefähr ein Kilometer langen Stücken in die Kabelrohrblöcke einziehen. Die Kabelabschnitte werden mit speziellen Verbindungsstücken, sogenannten Muffen, zusammengefügt. Das ist

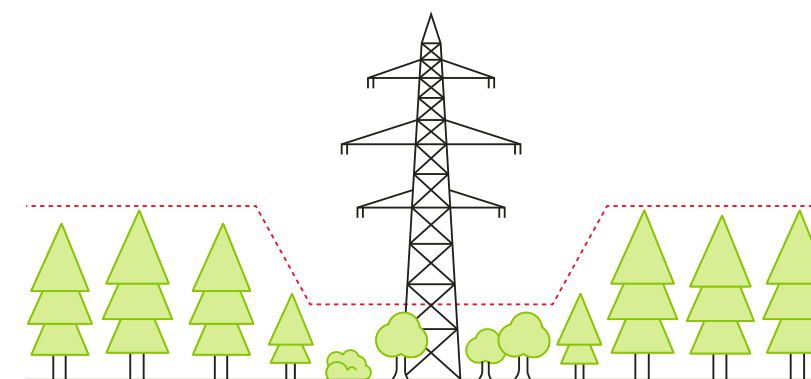
technisch anspruchsvoll, weshalb Muffen relativ störungsanfällig sind – und ständig zugänglich sein müssen. Für Reparatur- und Montagearbeiten werden deshalb spezielle Muffenschächte gebaut. Ebenfalls spezielle Schächte braucht es für die Briden – Klemmen, die verhindern, dass die Erdkabel in Hanglage verrutschen können.

Kabelendmast

Am Übergangsmast wird die Leitung vom erdverlegten Abschnitt direkt nach oben auf die Freileitung geführt. Kabelendmasten können insbesondere bei 220-kV-Leitungen eingesetzt werden.

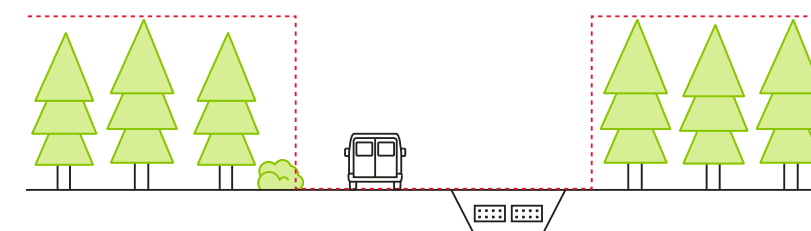


Bau der neuen Leitung im Goms (VS)



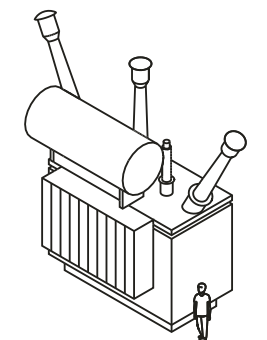
Ausholungen und Schneisen bei Freileitungen

Der Bau von Freileitungen in Waldgebieten erfordert Ausholungen, zum Beispiel für Zufahrtsstrassen, Depots oder den Bau der Mastfundamente. Ein Teil dieser Flächen kann nach Abschluss der Bauarbeiten wieder aufgeforstet werden. Direkt unter den Freileitungen dürfen nur niedrigstämmige Bäume gepflanzt werden.



Ausholungen und Schneisen bei Erdkabeln

Durchqueren Erdkabel Waldgebiete, sind Ausholungen nötig, um Platz für den Bau des Kabelgrabens zu schaffen. Ein Teil dieser Flächen kann nach Abschluss der Bauarbeiten wieder aufgeforstet werden. Da Wurzeln Schäden verursachen könnten, muss über den Kabelrohrblöcken aber dauerhaft eine Schneise frei gelassen werden (sogenannte Freihaltezone). Werden Übergangsbauwerke im Wald gebaut, sind dazu ebenfalls dauerhafte Ausholungen nötig.



Kompensationsanlagen

Erdkabel erhöhen die Spannung im Netz stärker als Freileitungen. Swissgrid muss dafür sorgen, dass die Spannung im gesamten Übertragungsnetz nicht zu hoch wird. Dazu kann sie Kraftwerke anweisen, die Spannung zu senken, oder sogenannte Kompensationsanlagen bauen, welche die Spannung reduzieren. Diese werden, wenn möglich, beim Übergangsbauwerk oder bei einem Unterwerk, unter Umständen aber auch im freien Gelände platziert. Kompensationsanlagen sind – je nach Leistung – ungefähr so gross wie ein Lastwagen.

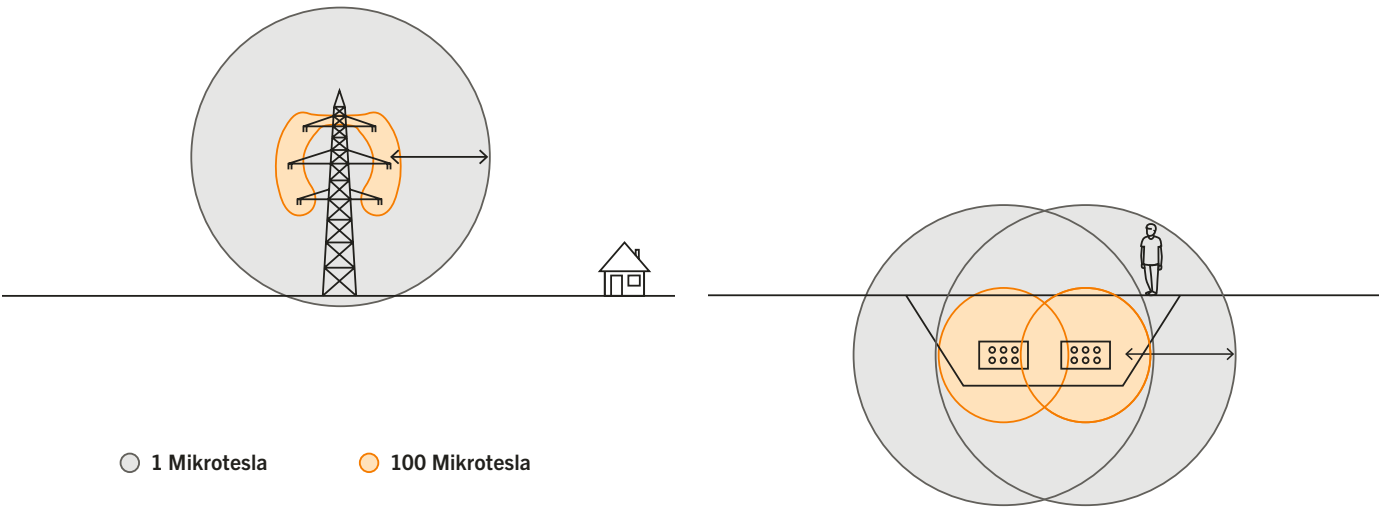
Grösstmöglicher Schutz für Mensch und Umwelt

Bei Bauvorhaben setzt Swissgrid alles daran, negative Auswirkungen auf Mensch, Umwelt und Landschaftsbild zu vermeiden oder zu minimieren. Den gesetzlichen Rahmen dazu bilden die strengen Schweizer Grenzwerte für Lärm sowie für elektrische und magnetische Felder. Swissgrid setzt aber auch Massnahmen um, die über behördliche Auflagen hinausgehen. So fördert sie beispielsweise mit einer Reihe von Massnahmen aktiv die Biodiversität.

Elektrische und magnetische Felder

Was wir umgangssprachlich «elektromagnetische Strahlung» nennen, sind genau genommen keine Strahlen, sondern elektrische und magnetische Felder. Sie entstehen überall dort, wo Strom produziert, transportiert und genutzt wird. Die elektromagnetischen Felder von Freileitungen und Erdkabeln unterscheiden sich vor allem in ihrer räumlichen Ausdehnung. Die Schweizer Grenzwerte, die für beide gelten, gehören zu den strengsten weltweit.

Das magnetische Feld ist direkt unter einer Freileitung kleiner als direkt über einem Erdkabel. Dafür ist bei Erdkabeln die Ausdehnung des Magnetfeldes kleiner, weil sich aufgrund der Anordnung der Kabel deren Felder teilweise kompensieren. Der Anlagegrenzwert von Erdkabeln wird ab 6 bis 8 Metern seitlichen Abstands eingehalten. Bei einer Freileitung braucht es dazu 60 bis 80 Meter.



Ein Knistern in der Luft

Bei Höchstspannungsleitungen kommt es laufend zu kleinen elektrischen Entladungen in die Luft. Dieser als «Koronaentladungen» bezeichnete physikalische Effekt erzeugt Geräusche, die das menschliche Ohr als Knistern oder Brummen wahrnimmt. Enthält die Luft viel Feuchtigkeit – bei Regen, Raureif oder Nassschnee oder nach einem Gewitter –, verstärkt sich der Koronaeffekt und das Knistern wird lauter. Erdkabel selbst verursachen keine Geräuschimmissionen, wohl aber mit ihnen verbundene Infrastrukturen wie Übergangsbauwerke oder Kompensationsanlagen.



Übergangsbauwerk in Riniken (AG) im Netzprojekt Beznau–Birr

Erdverkabelung Beznau–Birr: Auswirkungen auf Boden und Umwelt

Mit der Anzahl verkabelter Kilometer wächst auch das Wissen über die technischen, betrieblichen, wirtschaftlichen und ökologischen Auswirkungen von Erdkabeln. Im zwischen 2018 und 2020 realisierten 1,3 Kilometer langen Kabelabschnitt Gäbihübel im aargauischen Bözberg/Riniken analysiert Swissgrid beispielsweise das Temperaturverhalten der Kabelleiter und die magnetischen Felder bei verschiedenen Belastungen und Betriebszuständen. Weiter wurden in einem Umweltmonitoring die Auswirkungen des Erdkabels auf den Boden erfasst. Die Studie hält fest, dass die Bodenqualität und die Regenwurmpopulationen durch die Umgestaltung des Terrains und die leicht erhöhte Bodentemperatur in den ersten beiden Jahren nach der Inbetriebnahme des Erdkabels nicht beeinträchtigt wurden. Die Böden sind gut mit Regenwürmern besiedelt, was auf günstige Bodenbedingungen schliessen lässt.

Zum Video «Erdverkabelung Beznau–Birr: Auswirkungen auf Boden und Umwelt»



Die Erdverkabelung der Leitung Beznau–Birr macht sichtbar, welche Auswirkungen die Erdverkabelung einer 380-kV-Höchstspannungsleitung auf Landschaftsbild und Umwelt hat und welche Herausforderungen Bau, Betrieb und Instandhaltung mit sich bringen.

Förderung der Biodiversität

Die Masten sowie die Flächen direkt darunter oder daneben eignen sich vielerorts, um mittels Kleinstrukturen die Biodiversität zu fördern. Swissgrid schafft bei Masten, Unterwerken oder Übergangsbauwerken aktiv Lebensräume für Pflanzen und Tiere – durch das Anlegen von Tümpeln, Ast- oder Steinhäufen oder mit dem Erhalt oder der Förderung wertvoller Magerwiesen.

Beispiel Amphibien

Im Bereich der Mastfundamente lassen sich kleine Tümpel anlegen. Davon profitieren verschiedene Amphibien wie beispielsweise die gefährdete Gelbbauchunke. Ihr Lebensraum verkleinert sich aufgrund des Verlusts von Feuchtgebieten zunehmend.



Kosten

Die Baukosten einer Höchstspannungsleitung können sich von Fall zu Fall stark unterscheiden – je nach Topographie, Bau- grund, potenziellen Naturgefahren und Technologie. Als Faust- regel gilt: Ein Kilometer Erdkabel ist rund zwei bis zehn Mal teurer als ein Kilometer Freileitung. Bei der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit berücksichtigt Swissgrid nicht nur die Bau-, sondern auch die Lebenszykluskosten der verschiedenen Leitungsvarianten. Die Mehrkosten für die Erdkabel tragen alle Stromkonsumentinnen und Stromkonsumenten gemeinsam.



Bei der Berechnung geht Swissgrid von einer Lebensdauer der Leitung von 80 Jahren aus. Verschiedene Komponenten müssen jedoch früher ersetzt werden. Bei in den Boden verlegten Leitungen sind vor allem die Erdkabel selbst ein wich- tiger Kostenfaktor: Erdkabel können aufgrund ihrer techni- schen Lebenserwartung nur halb so lange betrieben werden wie Freileitungen und müssen bereits nach ungefähr 40 Jahren komplett ersetzt werden.



Freileitung

Neubau	Länge	Baukosten total	Baukosten pro Kilometer
① Chamoson–Chippis	30 km	140 Mio. CHF	4,7 Mio. CHF
② Beznau–Birr, Freileitungsabschnitte	5,2 km	12,1 Mio. CHF	2,3 Mio. CHF
③ Chippis–Mörel	44 km	120 Mio. CHF	2,7 Mio. CHF
④ Mörel–Ulrichen	30 km	110 Mio. CHF	3,7 Mio. CHF
⑤ Airolo–Lavorgo	23 km	82 Mio. CHF	3,6 Mio. CHF
⑥ Netzanschluss Nant de Drance, Freileitungsabschnitte	12,5 km	55 Mio. CHF	4,4 Mio. CHF

Spannungserhöhung bestehende Freileitungen	Länge	Baukosten total	Baukosten pro Kilometer
⑦ Bickigen–Chippis	106 km	85 Mio. CHF	0,6 Mio. CHF
⑧ Bassecourt–Mühleberg	45 km	17 Mio. CHF	0,4 Mio. CHF
⑨ Pradella–La Punt	50 km	73 Mio. CHF	1,5 Mio. CHF

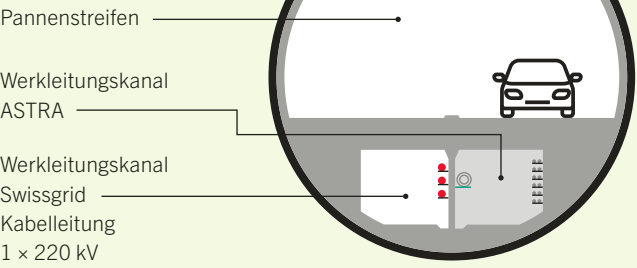


Erdverkabelung

Teilverkabelung	Länge	Baukosten total	Baukosten pro Kilometer
⑩ La Bâtiaz–Le Verney	1,2 km	35 Mio. CHF	29,1 Mio. CHF
⑪ Airolo–Mettlen (Kabelleitung Gotthard)	18 km	107 Mio. CHF	6 Mio. CHF
⑫ Beznau–Birr, Kabelabschnitt Gäbihübel	1,3 km	20,4 Mio. CHF	15,7 Mio. CHF
⑬ Foretaille–Verbois, Axe Réseau Stratégique Genève	4,7 km	46,4 Mio. CHF	9,9 Mio. CHF

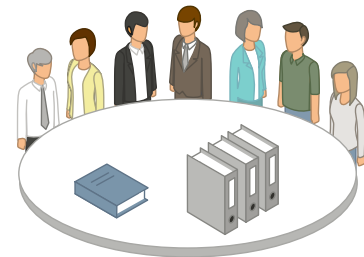
Gebündelt durch den Berg:
Airolo–Mettlen (Kabelleitung Gotthard)
Swissgrid hat in den vergangenen Jahren im Übertragungsnetz Erdkabelleitungen mit einer Gesamtlänge von über 40 Kilometern realisiert. Wo möglich und zielführend bündelt Swissgrid die Erd- kabel mit anderen Infrastrukturvorhaben. Der Bau der zweiten Röhre des Gotthardstrassentunnels bis 2029 bietet Swissgrid ein Bündel von Chancen. Die Kombination einer Höchstspannungs- leitung mit einem Nationalstrassentunnel hat europaweit Pionier- charakter. Mit dem technisch anspruchsvollen Projekt kann Swissgrid wertvolle Erfahrungen sammeln. Ein weiteres Plus ist die Entlastung der Landschaft am Gotthard durch den Rückbau von 23 Kilometern Freileitung und 70 Masten.

Verkabelung im Strassentunnel



Entscheidungsgrundlagen

Ob ein Leitungsabschnitt als Erdkabel oder als Freileitung realisiert wird, entscheidet der Bundesrat im Bewilligungsverfahren. Der Entscheid im Sachplan Übertragungsleitungen (SÜL) ist das Ergebnis einer umfassenden Interessenabwägung. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Empfehlung der vom Bundesamt für Energie (BFE) eingesetzten Begleitgruppe. Sie hat die Aufgabe, die Diskussion zu versachlichen und objektiv nachvollziehbare Entscheide zu ermöglichen. Als Werkzeug steht dieser ein spezielles Bewertungsschema mit den vier Pfeilern Raumentwicklung, technische Aspekte, Umweltschonung und Wirtschaftlichkeit zur Verfügung.



Wer sitzt in der Begleitgruppe?

Die Begleitgruppe wird vom Bundesamt für Energie geleitet. In der Begleitgruppe haben abhängig vom Projekt Vertreter/-innen mehrerer Bundesämter (zum Beispiel Raumentwicklung, Umwelt, Verkehr) Einsitz, dazu das Eidgenössische Starkstrominspektorat (ESTI), die Eidgenössische Elektrizitätskommission (ElCom), Vertreter/-innen der betroffenen Kantone, eine Umweltschutzorganisation sowie Swissgrid. Jede Partei hat eine Stimme.

Welche Aufgabe hat die Begleitgruppe?

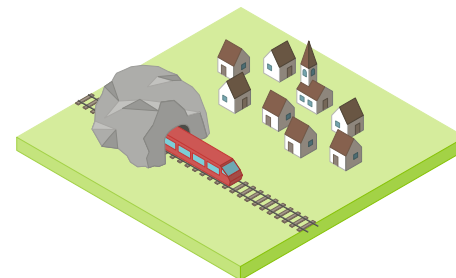
Sie gibt dem Bundesrat bei der Definition von Planungsgebiet und Planungskorridor sowie beim Technologieentscheid (Freileitung oder Erdkabel) Empfehlungen ab. Dazu diskutiert und bewertet sie die von Swissgrid erarbeiteten Varianten. Um die bestmögliche Lösung zu finden, haben verschiedene Bundesämter vor einigen Jahren mit dem «Bewertungsschema für Übertragungsleitungen» eine spezielle Methodik eingeführt. Sie erlaubt es, die Stärken und Schwächen der Varianten objektiv, umfassend und systematisch abzuwägen.

Wie funktioniert dieses Bewertungsschema?

Kern des Schemas bilden die vier Pfeiler Raumentwicklung, technische Aspekte, Umweltschonung und Wirtschaftlichkeit. Jeder dieser Pfeiler umfasst drei bis vier Kriteriengruppen mit jeweils zwei bis sieben Unterkriterien, die alle unterschiedlich gewichtet sind. Die Begleitgruppe vergibt den Kriterien Punkte und multipliziert diese mit der jeweiligen Gewichtung. Davon ausgenommen ist der Pfeiler Wirtschaftlichkeit, bei dem die realen Kosten Massstab sind. Der Vergleich der erhaltenen Werte schafft eine Entscheidungsgrundlage, ersetzt aber nicht die spezifische Interessenabwägung durch die Mitglieder der Begleitgruppe.

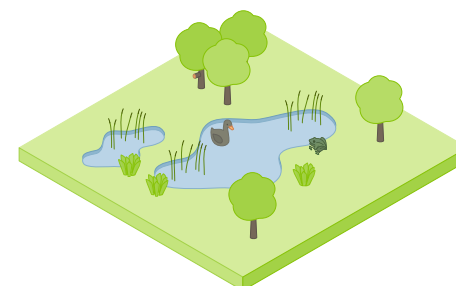


Bewertungsschema für Übertragungsleitungen



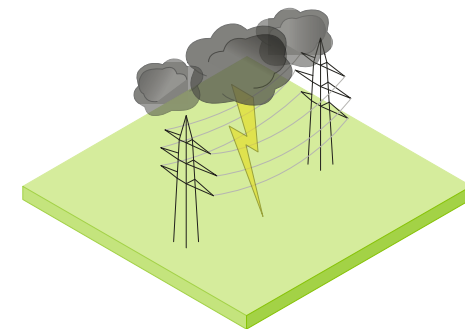
Raumentwicklung – Flächenbedarf beschränken, Infrastrukturen bündeln

- **Ressourcen schonen**
Die gewählte Variante soll den zur Verfügung stehenden Raum möglichst haushälterisch nutzen und nach Möglichkeit immer mit anderen Infrastrukturen gebündelt werden oder bestehende Trassees nutzen.
- **Siedlungsraum schützen**
Gute Landwirtschaftsflächen, aber auch Siedlungsräume sollen geschont werden, geschützte Ortsbilder und Denkmäler, Naherholungsgebiete oder touristische Attraktionen sind zu meiden.
- **Planungsziele**
Übergeordnete Planungen, Projekte und Konzepte müssen im Auge behalten werden.



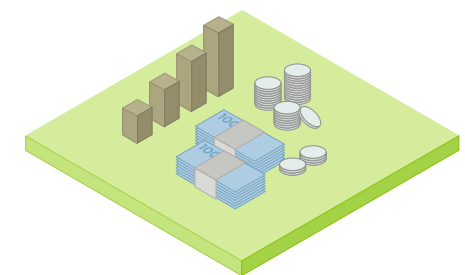
Umwelt – Grenzwerte einhalten, natürliche Ressourcen schützen

- **Immissionsschutz**
Für den Schutz von Mensch und Natur vor einer übermässigen Belastung durch elektromagnetische Strahlung und Lärm gelten klare, messbare Grenzwerte, die eingehalten werden müssen.
- **Landschaftsschutz**
Beim Landschaftsschutz gilt die Vorgabe «grösstmögliche Schonung». Jeder Landschaftsabschnitt muss neu beurteilt werden. Naturschutzgebiete von nationaler Bedeutung dürfen nur tangiert werden, wenn es keine Alternativen gibt und ein übergeordnetes nationales Interesse besteht. Zudem sind Biotope, Zugvogelreservate, Grundwasserschutzzonen oder Gewässerräume zu berücksichtigen.



Technische Aspekte – Versorgungssicherheit garantieren, Verluste minimieren

- **Netzbetrieb**
Die Varianten müssen technische Mindestanforderungen erfüllen – zum Beispiel in Bezug auf ihre Belastbarkeit, Störanfälligkeit oder Reparaturdauer.
- **Zuverlässigkeit und Sicherheit**
Die Gefährdung durch Naturgefahren oder Witterungseinflüsse wird bewertet.
- **Lebenszyklus**
Die Energieverluste und die Ökobilanz werden über den gesamten Lebenszyklus der Varianten berechnet.



Wirtschaftliche Aspekte – Kosten umfassend berechnen, Effizienz sicherstellen

- **Investitions- und Betriebskosten sowie Erträge**
Bei diesem Pfeiler werden Kosten abgeschätzt – effektiv oder normiert (Kosten pro Kilometer). Dazu gehören einerseits die Investitionen und Ersatzinvestitionen über die gesamte Nutzungsdauer sowie Investitionen für Begleitmassnahmen.
- **Anrechenbare Kosten**
Jedes Netzprojekt muss durch den Regulator aus wirtschaftlicher Perspektive beurteilt werden, da die Kosten auf die Stromrechnung der Konsumentinnen und Konsumenten überwältzt werden.

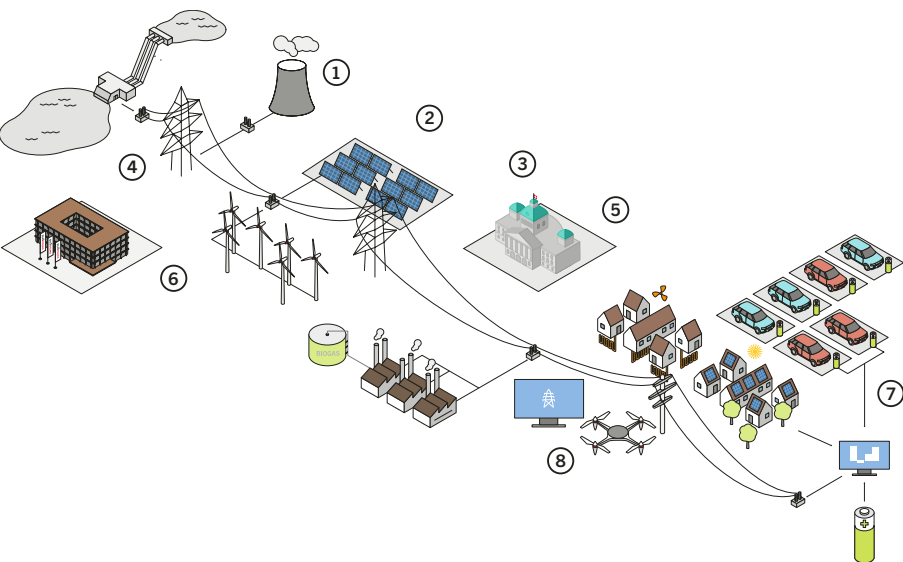
Netz der Zukunft

Das Schweizer Stromsystem befindet sich im grössten Umbruch seiner erfolgreichen Geschichte: Die Stromproduktion wird durch neue dezentrale Energiequellen und Kraftwerke sowie die wachsende Stromproduktion aus erneuerbaren Energien immer volatiler. Batterietechnologien und Pumpspeicherkraftwerke schaffen neue Speichermöglichkeiten. Hinzu kommen zusätzliche Verbraucher wie Elektrofahrzeuge, Wärmepumpen und Rechenzentren. Dies stellt neue Anforderungen an das Stromnetz und ist eine Herausforderung für den sicheren Netzbetrieb. Zudem erreicht ein Grossteil der Leitungen im Übertragungsnetz der Schweiz in den nächsten Jahrzehnten das Ende seiner technischen Lebensdauer und muss deshalb erneuert werden. Damit das Übertragungsnetz zukünftigen Bedürfnissen gerecht wird, muss es langfristig weiterentwickelt werden. Dafür erstellt Swissgrid periodisch einen Mehrjahresplan: das «Strategische Netz».

Die Energiewelt von morgen

Die Stromwirtschaft befindet sich im Umbruch. Die Energiewende, intelligente Technologien und die sich wandelnden politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen stellen

die Energieunternehmen vor neue Herausforderungen. Die Netzbetreiberin Swissgrid spielt als Bindeglied zwischen Stromproduktion und Verbrauch heute und auch in Zukunft eine zentrale Rolle.



Forschung am Hochspannungslabor der ETH Zürich

Dank Digitalisierung fit für die Energiewende

Wie lässt sich Strom unter hoher Spannung möglichst zuverlässig, verlustfrei, kosteneffizient, landschafts- und umweltverträglich transportieren? Damit das Übertragungsnetz den Anforderungen der Zukunft gewachsen ist, setzt Swissgrid auf geprüfte und bewährte Technologien, beobachtet den Technologiemarkt und beteiligt sich an Innovationsprozessen und Pilotprojekten.

Zu weiterführenden Informationen: Forschung und Entwicklung bei Swissgrid



Die Energiewende stellt das Schweizer Stromnetz vor neue Herausforderungen. Damit das Übertragungsnetz den Anforderungen der Zukunft gewachsen ist, braucht es Forschung und Entwicklung. Zusammen mit Hochschulen entwickelt Swissgrid neue Technologien und Methoden, die für die effiziente und sichere Übertragung der Energie erforderlich sind.



Erdkabel oder Freileitung? Reden wir darüber.

Buchen Sie jetzt eine Führung in unserem Besucherzentrum in Niederwil (AG) und diskutieren Sie mit uns über die Chancen und Herausforderungen von Erdkabeln und Freileitungen im Höchstspannungsnetz.