



Bild: Swissgrid

# Wie viel Erdkabel verträgt das Übertragungsnetz?

## Überlegungen für einen schnellen Netzausbau

6

dossier | energienetze

**Radomír Novotný**

Das Schweizer Übertragungsnetz sorgt nicht nur in der Schweiz für eine hohe Netzstabilität, sondern leistet durch den Anschluss ans europäische Netz auch international einen wichtigen Dienst. Ein grosser Teil der historisch gewachsenen Infrastruktur ist aber in die Jahre gekommen und muss in den nächsten Jahren erneuert werden. Zudem stellt auch die Energiewende eine Herausforderung dar, denn der Verbrauch dürfte durch die Elektrifizierung von bisher fossil betriebenen Komponenten von den aktuellen 60 TWh auf 90 TWh in 2050 steigen. Wärmepumpen, Elektromobilität und neue Rechenzentren werden das Stromnetz zusätzlich an die Belastungsgrenzen bringen. Auch die

Zunahme an dezentral einspeisenden Solarstromerzeugern könnte die Situation der Verteilnetze und die des Übertragungsnetzes noch verschärfen.

Um die Versorgungssicherheit der Schweiz langfristig zu gewährleisten, ist ein rechtzeitiger Ausbau des Netzes nötig. Für die Modernisierung des Übertragungsnetzes laufen im «Strategischen Netz 2040» aktuell 31 Netzprojekte, die sich in unterschiedlichen Umsetzungsstadien befinden (Bild 1).

### **Den Ausbau beschleunigen**

Aus diversen Gründen geschieht die Elektrifizierung der Mobilität und der Wärmebereitstellung in Gebäuden sowie der Zubau

IN  
KÜRZE



dezentral einspeisender Erzeugungsanlagen schneller als der Aus- und Umbau des Netzes. Im Bereich des Übertragungsnetzes sind für diesen Umstand unter anderem die aktuellen Bewilligungsverfahren verantwortlich. Um die Situation zu entschärfen, hat der Bundesrat 2024 eine Vernehmlassung zur sogenannten Netzexpress-Vorlage (Änderung des Energiegesetzes zur Beschleunigung beim Aus- und Umbau der Stromnetze) durchgeführt, die es ermöglichen soll, das Netz genügend schnell auf die neue Situation anzupassen. Die Kommission für Umwelt, Raumplanung und Energie des Nationalrates hat am 21. Oktober 2025 den Freileitungsgrundsatz wieder in die Netzexpress-Vorlage aufgenommen. Dieser schreibt vor, dass Stromleitungen des Übertragungsnetzes als Freileitungen zu erstellen sind. Nur bei technischen Vorteilen, wenn es kostengünstiger ist oder der verfassungsmässige Moorschutz dies verlangt, soll es weiterhin möglich sein, eine Höchstspannungsleitung als Erdkabel auszuführen.

Beim Netzexpress stehen die Freileitungen im Vordergrund, denn sie können schneller gebaut werden, wenn Erdkabel nicht in jedem Fall, sondern nur in Ausnahmefällen geprüft werden. Zudem sind Freileitungen bis zu einem Faktor 10 günstiger, halten doppelt so lange und lassen sich schneller reparieren. Auch bezüglich Netzstabilität, Versorgungssicherheit und Ökobilanz bieten Freileitungen klare Vorteile (Bild 2).

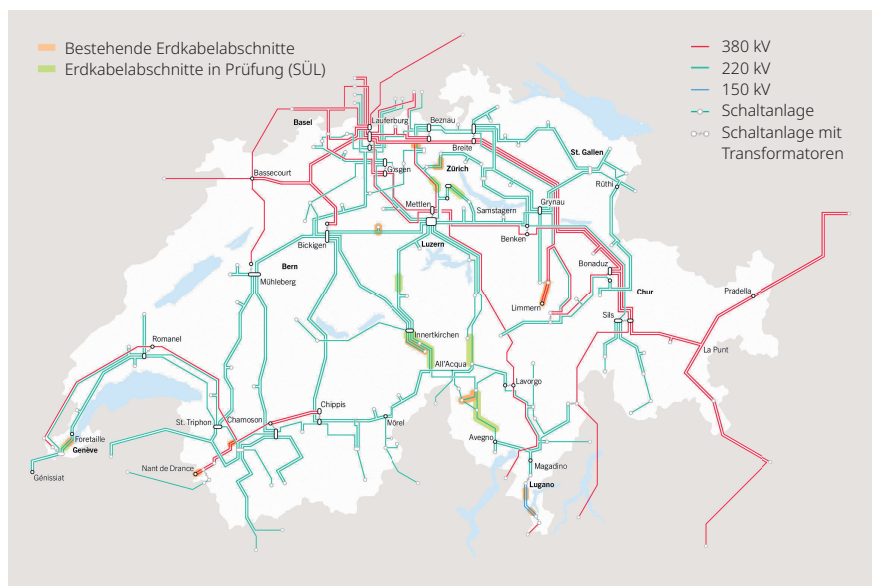
### Freileitung oder Kabel?

Für das Höchstspannungsnetz wird die Frage, ob Erdkabel verlegt (Bild 3) oder Freileitungen gebaut werden sollen, in der Bevölkerung schon länger diskutiert. Die praktisch unsichtbar verlegten Erdkabel werden dabei im Allgemeinen eher akzeptiert als Freileitungen.

Mit der Kabelstudie Schweiz hat Swisgrid im Februar 2025 eine eigene, auf die konkrete Netzsituation der Schweiz fokussierte Studie veröffentlicht. Eines der Ziele der Studie ist die Ermöglichung eines möglichst schnellen, nachhaltigen und ökonomischen Ausbaus des Schweizer Übertragungsnetzes. Dabei soll der heutige Prozess vereinfacht werden. Aktuell erarbeitet der Netzbetreiber nämlich zuerst bei allen Netzprojekten mögliche Arbeitskorridore für Erdkabel- und Freileitungsvarianten. Anschliessend emp-

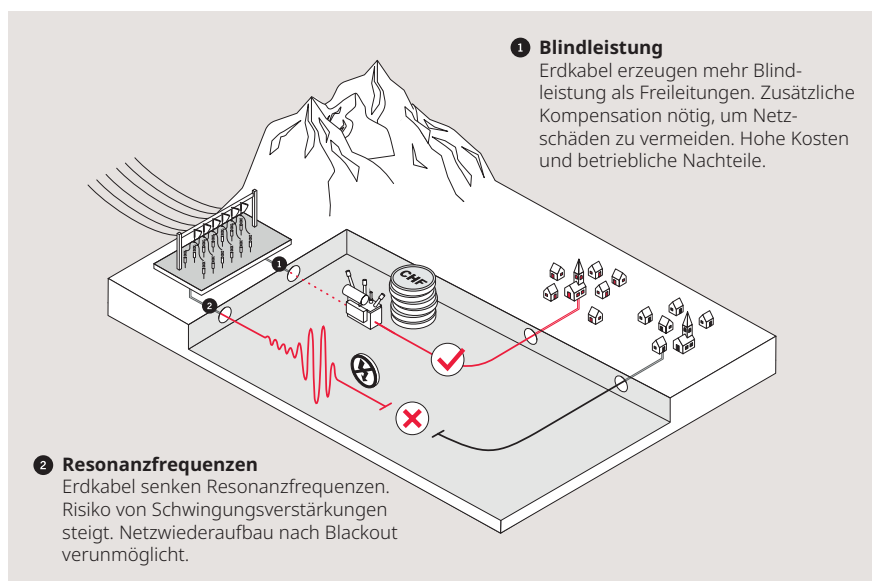
fehlt eine vom BFE eingesetzte Begleitgruppe unter Berücksichtigung der Aspekte Raumentwicklung, Technik, Umwelt und Kosten, welche Technologie eingesetzt werden soll. Schliesslich setzt der Bundesrat den Planungskorridor und die Übertragungstechnologie fest und Swisgrid arbeitet ein Bauprojekt aus.

Beim Entscheid für oder gegen eine Erdverkabelung oder eine Freileitung werden alle Interessen umfassend berücksichtigt, wobei teilweise jene, die sich zuerst gemeldet haben, einen Zuschlag für die Kabelvariante erhalten. Dies ist aber aus Netz- und Systemperspektive nicht optimal, denn bei diesem Prozess wird nicht das Gesamtsystem betrachtet. Der Anteil an Erdkabeln nimmt dadurch stark zu, und der Netzbetreiber ist mit grösseren technischen



**Bild 1** Schweizer Netzkarte mit allen gebauten und behördlich festgelegten Erdkabelabschnitten.

Bild: Swisgrid



**Bild 2** Herausforderungen im Betrieb von Erdkabeln in Höchstspannungsnetzen.

Bild: Swisgrid



**Bild 3** Die Verlegung eines Erdkabels.

Bild: Swissgrid



**Bild 4** Ein Shunt Reactor (50 Mvar) zur Kompensation von Blindleistung.

Bild: Hitachi Energy

und betrieblichen Herausforderungen konfrontiert. Heute sind 42 km Erdkabel verlegt und zusätzlich 250 km behördlich festgelegt.

Mit der Kabelstudie Schweiz will Swissgrid dieser Verschärfung der Netzsituation durch die Erdkabel entgegenwirken und belastbare Entscheidungsgrundlagen für künftige Netzprojekte finden. Die Studie soll zu einem breit abgestützten Konsens führen, der ein Vorgehen ermöglicht, das auf verschiedenen Szenarien basiert. Sie befasst sich mit der Blindleistungskompensation, präsentiert elektromagnetische Studien und behandelt den Netzwiederaufbau. Dabei werden drei Szenarien untersucht und verglichen: Szenario 1 umfasst die heute vorhandenen Kabel (42 km), bei Szenario 2 kommen zusätzlich die bereits geplanten oder im Bau befindlichen 250 km Kabel hinzu und Szenario 3 ist rein hypothetisch und umfasst eine grosse Anzahl an Kabeln, rund 1200 km.

### Blindleistungskompensation

Der erste Teil der Studie erläutert einen zentralen Unterschied zwischen Kabeln und Freileitungen: den kapazitiven Ladestrom. Dieser ist bei Kabeln viel grösser als in einer gleich langen Freileitung mit vergleichbarer Übertragungsleistung. Bereits heute überschreiten manchmal gewisse Spannungen wegen dem Blindleistungsüberschuss die Grenzwerte, auch wenn sämtliche Kraftwerke die Blindleistung maximal zu kompensieren versuchen.

Nebst der Kompensation der Blindleistung durch die Kraftwerke gibt es weitere Kompensationsmöglichkeiten, beispielsweise Blindleistungskompensationsanlagen (BLK), Static Var Compensators (SVC) und Statcoms. Die BLK (Bild 4) sind die einfachste Art der Kompensation, da es sich bei ihnen um Induktivitäten handelt, die dem kapazitiven Verhalten der Kabel entgegenwirken. Am weitesten verbreitet sind ölisierte und luftisierte BLK.

Durch einen Netzausbau mit Kabeln würden in gewissen Gebieten mehrere Kompensationselemente benötigt, was einen Ausbau gewisser Unterwerke erfordern würde. Die Studie schätzt, dass die nötigen Kompensationselemente für Szenario 1 rund 30 Mio. CHF, für Szenario 2 rund 182 Mio. CHF und für Szenario 3 über 1300 Mio. CHF kosten würden.

### Resonanzfrequenzen

Das Tückische an Netzen mit Kapazitäten und Induktivitäten ist ihre Neigung zu Resonanzen bei bestimmten Frequenzen. Diese werden beispielsweise durch Schaltvorgänge mit hohem Oberschwingungsanteil ausgelöst. Mit Frequenzscans können die Resonanzfrequenzen von Netzen bestimmt werden. Dabei wird ein Strom von 1 A mit einer bestimmten Frequenz in einen interessierenden Punkt eingespeist und das Spannungsverhalten gemessen. Aus der gemessenen Spannung lässt sich anschliessend die Oberschwingungsimpedanz ermitteln. Solche Scans zeigen auf, dass mit zunehmendem Kabelanteil die Resonanzfrequenzen sinken. Der Vergleich der drei Szenarien zeigt auf, dass nur in Szenario 3 problematische Resonanzen auftreten können. Zwei in bestimmten Netzkonfigurationen kritische 380-kV-Unterwerke wurden dabei identifiziert: Romanel und Magadino.

Ein weiteres Phänomen in Stromnetzen mit Kabeln ist die Verstärkung der Oberschwingungen, die durch nichtlineare Lasten wie drehzahlvariable

Antriebe und Leistungselektronik verursacht werden. In Bereichen mit hoher Kabeldichte können sich Oberschwingungen gut ausbreiten und werden mehrfach verstärkt, was die Versorgungsspannung verschlechtert. Die Oberschwingungsverstärkung führt zudem zu einem Anstieg der Total Harmonic Distortion (THD), die sich unerwünscht auf den Betrieb des Systems auswirkt. Dabei können beispielsweise gewisse Netzkomponenten überhitzt werden, Rauschen bei Transformatoren und rotierenden Massen hörbar werden, der Motor vibrieren oder die Kondensatorbank ausfallen.

Eine Schwierigkeit ist dabei, dass es nicht möglich ist, die Auswirkungen spezifischer Kabelprojekte auf die harmonische Verstärkung zu prognostizieren. Es ist deshalb zwingend nötig, für jedes neue Kabelprojekt Studien mit Variationen der Konfiguration durchzuführen, die aufzeigen, wie die Oberschwingungen verstärkt werden. Kabel können sich sogar auf die Oberschwingungsverstärkung in weit entfernten Gebieten auswirken. Beispielsweise hätte das 220-kV-Kabel Altgass-Samstagern einen Einfluss auf die Oberschwingungsverstärkung im Tessin: Bei einer Verlegung des Kabels würde die 7. Harmonische in Bavona, Peccia und Caveragno bei einer 220-kV-Einspeisung in Mettlen kritisch werden. Dies sind überraschende Zusammenhänge.

### Netzwiederaufbau

Ein Aspekt, bei dem Erdkabel ebenfalls zu unerwünschten Auswirkungen führen, ist der Netzwiederaufbau. In der Schweiz gibt es die vier Aufbauzellen Süd, West, Mitte und Ost, die bei einem Blackout unabhängig voneinander mit dem Netzaufbau beginnen und anschliessend miteinander synchronisiert werden. Kabel erschweren oder verunmöglichen diesen Prozess, denn die Generatoren werden durch den

hohen kapazitiven Ladestrom stark belastet. Diese Problematik geht auf die Resonanzeffekte zurück und kann nicht vollumfänglich kompensiert werden.

### Fazit

Die neue Studie kommt zum Schluss, dass aufgrund ihrer spezifischen physikalischen Eigenschaften Erdkabel den stabilen Netzbetrieb und die Störungsbehebung erschweren. Ihre Blindleistung lässt sich zwar kompensieren, erfordert aber zusätzliche Komponenten, die Investitionen und Platz brauchen. Um die resonanzbedingte Oberschwingungsverstärkung in akzeptablen Grenzen halten zu können, müssen zudem individuelle Studien durchgeführt werden, die zeigen, wo Kabel eingesetzt werden können und wo nicht. Schliesslich muss berücksichtigt werden, welche Auswirkungen Kabel auf den Netzwiederaufbau haben.

In der Bevölkerung mag das Erdkabel eine höhere Akzeptanz geniessen, weil Freileitungen das Landschaftsbild beeinträchtigen. Aber wenn alle Aspekte – inklusive der Ökobilanz – betrachtet werden, liegen die Vorteile auf der Seite der Freileitungen. Diskussionen zum Netzausbau sollten somit nicht nur mit allen Beteiligten aus der Bevölkerung und der Netzbetreiber geführt werden, sondern auch unter Berücksichtigung aller für ein nachhaltiges und umweltschonendes Energienetz relevanten technischen und ästhetischen Aspekte.

### Literatur

> Kabelstudie Schweiz, Swissgrid, 2025.

### Link

> [www.swissgrid.ch/grenzen-der-technik](http://www.swissgrid.ch/grenzen-der-technik).

### Autor

**Radomír Novotný** ist Chefredaktor des Bulletin.ch.

> Electrosuisse, 8320 Fehraltorf

> [radomir.novotny@electrosuisse.ch](mailto:radomir.novotny@electrosuisse.ch)

ANZEIGE

9

dossier | energienetze

**b2 electronics**

**HVA68TD & PDTD68**

VLF-Teilentladungs-Diagnosesystem für Mittelspannungskabel mit integrierter Tangens Delta-Einheit

[www.b2hv.com](http://www.b2hv.com)

Folgen Sie uns auf:

Das perfekte Duo!

QR Code