

Wichtige Elemente im Übertragungsnetz

# Schaltanlagen und Transformatoren



# Das Schweizer Übertragungsnetz

Mit einer Länge von insgesamt über 6700 Kilometer, 125 Unterwerken 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 (kV) in die regionalen und lokalen Verteilnetze zu transportieren, von wo aus sie zu den Verbraucherinnen und Verbrauchern gelangt.



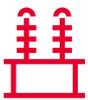
**6700 km**

Höchstspannungsleitungen



**147**

Schaltanlagen



**21**

Transformatoren



**12 000**

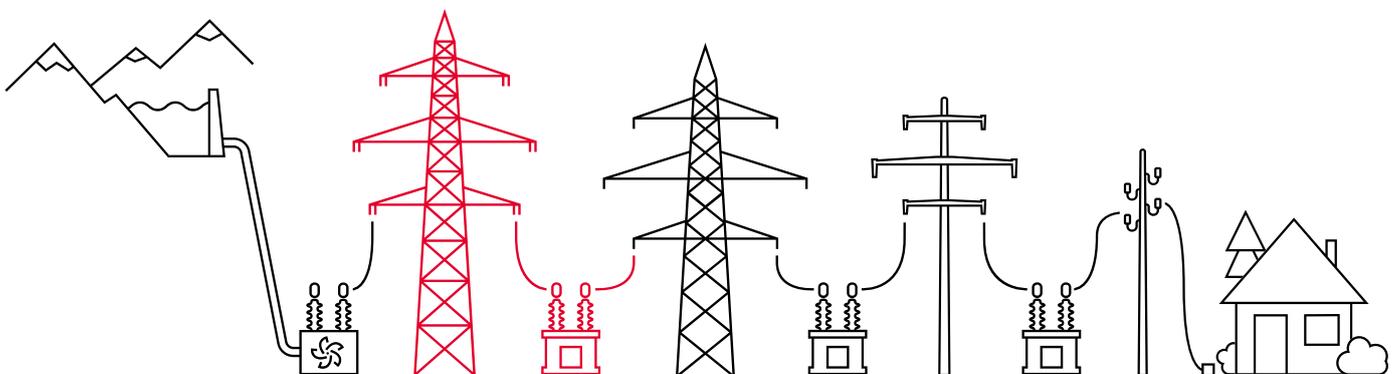
Inspektionen pro Jahr

# Unterwerke und Schaltanlagen

Unterwerke gehören zu den wichtigsten Elementen im Höchstspannungsnetz, denn sie sind die Knotenpunkte des Stromnetzes. Unterwerke bestehen aus Transformatoren und Schaltanlagen. Das Höchstspannungsnetz von Swissgrid umfasst 125 Unterwerke, in denen 147 Schaltanlagen und 21 Transformatoren untergebracht sind. Jedes Unterwerk hat also eine Schaltanlage, aber nicht alle Unterwerke haben einen Transformator.

Die Schaltanlagen in den Unterwerken verbinden die Höchstspannungsleitungen miteinander. Durch Schalthandlungen können die Operateurinnen und Operateure in den Swissgrid Kontrollzentren in Aarau und Prilly die Leitungen trennen oder verbinden. So werden die Energieflüsse gesteuert, Überlastungen verhindert und Leitungen können für Revisionsarbeiten ausgeschaltet werden. Die Unterwerke verfügen auch über installierte Schutzsysteme. Diese schalten im Fehlerfall (z.B. Blitzeinschlag in eine Leitung) die betroffenen Netzteile gezielt ab.

Einige Schaltanlagen von Swissgrid verfügen auch über einen sogenannten Transformator. Dieser reduziert oder erhöht die Spannung und verbindet so das Höchstspannungsnetz mit den Verteilnetzen und Erzeugungsanlagen. Der elektrische Strom fließt auf seinem Weg von den Erzeugern zu den Verbraucherinnen und Verbrauchern über viele Stationen. Die Schaltanlagen sind also wie Stromkreuzungen, bei denen unterschiedliche Strassen aufeinandertreffen. Der Wandel im Energiesystem stellt neue Herausforderungen an das Höchstspannungsnetz. Swissgrid macht deshalb ihre Unterwerke und Schaltanlagen fit für die Zukunft.



Bis der Strom schliesslich bei uns zu Hause in die Steckdose gelangt, muss die Spannung um das Tausendfache (von 380 000 Volt resp. 220 000 Volt auf 400 resp. 230 Volt) reduziert werden. Das geschieht über mehrere Stufen beziehungsweise unterschiedliche Netzebenen. Von den Kraftwerken und aus dem Ausland fließt der Strom mit 380 kV beziehungsweise 220 kV Spannung ins Übertragungsnetz. Diese Stufe nennt man Höchstspannungsebene.

# Unterwerke und Umwelt

## Elektromagnetische Felder

Elektrische und magnetische Felder umgeben uns zu Hause, bei der Arbeit und auch in der Natur. Unsere Haushaltsgeräte beispielsweise benötigen Strom und dieser erzeugt elektrische und magnetische Felder. Auch Freileitungen und die Betriebsmittel eines Unterwerks sind von elektrischen und magnetischen Feldern umgeben. Deshalb unterliegen die Unterwerke im Netzgebiet von Swissgrid strengen Richtlinien und Prüfungen, welche die Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf Mensch, Tier und Umwelt regeln.

## Geräuschemissionen

Elektrische Entladungen an den Oberflächen der Betriebsmittel eines Unterwerks können Geräusche verursachen. Gelegentlich bemerkt man in der Nähe solcher Anlagen ein leises Knistern, das je nach Wetterlage – etwa bei Regen oder Schnee – verstärkt werden kann. In Fachkreisen wird dieses Phänomen Koronaentladung genannt. Deshalb unterliegen die Unterwerke von Swissgrid den gesetzlichen Vorgaben für Lärmemissionen, die den Einfluss auf Mensch und Umwelt regeln.

## Landschaftspflege, Gewässerschutz, Umweltschutz: UW Mühleberg

Im Zuge der Erneuerung des Unterwerks Mühleberg konnte dank dem Ersatz der Freiluftschaltanlagen durch eine Innenraumschaltanlage eine Fläche in der Grösse von vier Fussballfeldern renaturiert, das heisst in ökologisch wertvollen Lebensraum für Pflanzen und Tiere umgewandelt werden.

So fanden Tümpel, Ast- und Steinhäufen als Lebensräume für Amphibien und Reptilien auf dem Gelände des Unterwerks Platz. Dies gewährleistet über die Anlage hinaus eine wichtige Vernetzung mit Feuchtgebieten in der Umgebung. Bestehende Bauelemente wie überschüttete Fundamente wurden zum neuen Daheim für Kleinsäuger, alte Betonschächte bieten nun Platz für den Winterschlaf und das ehemalige Trafogebäude beherbergt jetzt Fledermäuse. Die neu errichteten Bauten wurden schlicht gehalten und farblich so abgestimmt, dass sie sich möglichst gut sowohl in die bestehende Anlagenstruktur, aber auch in die umgebende Landschaft integrieren.



Synergien zwischen dem Anlagenbau und der Umwelt – die Erfolgsgeschichte des UW Mühleberg

# Baumassnahmen in Unterwerken

Im Zuge der Energiewende ändern sich die Anforderungen an das Höchstspannungsnetz. Das Schweizer Übertragungsnetz gehört heute zu den sichersten und stabilsten der Welt. Aber es bestehen 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 eine nachhaltige Energiezukunft für die Schweiz.

## Baubewilligung

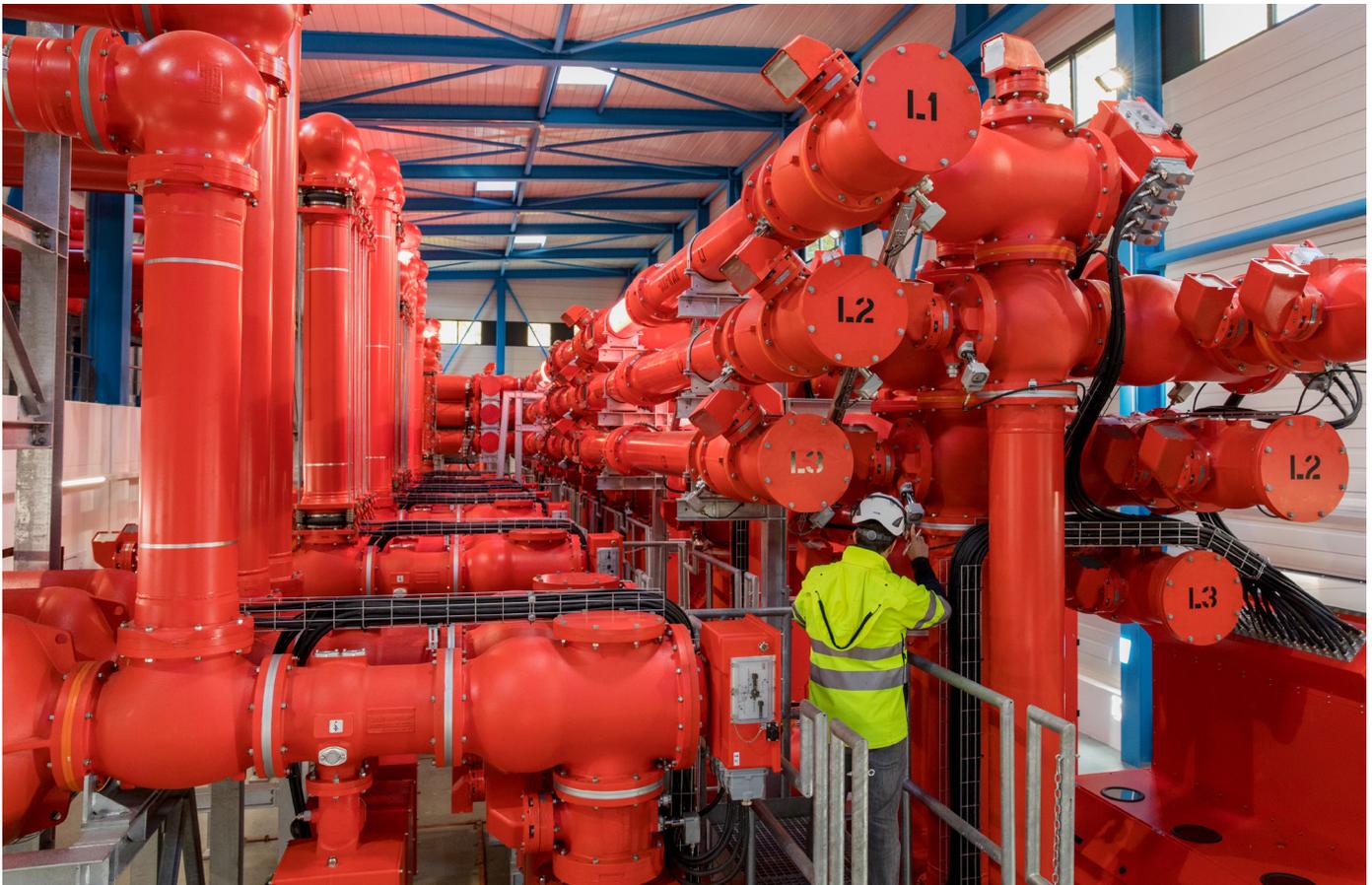
Wie bei den Leitungsprojekten unterliegen auch die Unterwerke den Bewilligungsverfahren des Bundes. Die Bewilligung für eine Erneuerung, einen Ersatzbau oder einen Transformator wird vom Eidgenössischen Starkstrominspektorat (ESTI) oder im Falle eines Gerichtsverfahrens von den Gerichten erteilt. Die Genehmigungszeiten für Unterwerke sind in der Regel kürzer als für Leitungen, da es weniger Einsprüche gibt.

## Betrieb und Unterhalt

Um ein sicheres nationales Netz zu gewährleisten und die Schweiz mit Energie zu versorgen, führt Swissgrid jedes Jahr mehr als 12 000 Inspektionen ihrer Anlagen durch. Wie bei den Höchstspannungsleitungen sind auch bei den Schaltanlagen ständige Wartungen und Inspektionen erforderlich.

Die Komponenten luftisolierter Schaltanlagenteile sind der Witterung ständig ausgesetzt. Deshalb erfordern sie einen erhöhten Reinigungs- und Wartungsaufwand als gasisolierte Schaltanlagen.

Auch der Transformator muss gewartet werden: Die Qualität des Isolieröls wird laufend beobachtet und bei Bedarf gewechselt.



Drucküberprüfung einer Kammer der gasisolierten 220-kV-Schaltanlage in Romanel

# Technologien der Schaltanlagen

Die Primärtechnik des Übertragungsnetzes bezeichnet grundsätzlich die Betriebsmittel wie Leistungsschalter, Transformatoren oder Generatoren, die im Betrieb den hohen Strömen und Spannungen ausgesetzt sind und die Energie übertragen. Die Sekundärtechnik hingegen besteht aus Elementen wie Schaltschränken und Kommunikationssystemen. Diese Elemente müssen von den Teilen der Anlage, die unter Höchstspannung stehen, isoliert werden. Im Höchstspannungsnetz werden verschiedene Isoliermedien in Schaltanlagen eingesetzt: beispielsweise Gase wie Luft, Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) oder Gasgemische.

## Luftisolierte Schaltanlagen

Schaltanlagen, in denen Luft als Isoliermedium zwischen den einzelnen Anlagenteilen genutzt wird, heissen luftisolierte Schaltanlagen (AIS – air insulated switchgear). Aufgrund der elektrischen Eigenschaften von Luft – im Gegensatz z.B. von SF<sub>6</sub> – benötigen diese Anlagen viel Platz und sind somit wesentlich grösser als gasisolierte Schaltanlagen.

## Gasisolierte Schaltanlagen

Gasisolierte Schaltanlagen (GIS – gas insulated switchgear) sind vollständig gasdicht gekapselte Schaltanlagen, in denen unter anderem das Gas SF<sub>6</sub> als Isoliermedium dient. Das farb- und geruchlose Gas ist für Mensch und Tier ungefährlich, besitzt aber ein hohes Treibhauspotenzial. Im Vergleich zur Luft besitzt das Gas bessere Isoliereigenschaften. Das ermöglicht es, den Abstand zwischen den einzelnen Elementen zu verkleinern. Die Anlagen sind somit kompakter als luftisolierte Schaltanlagen und besser geschützt vor äusseren Einflüssen.

## Auf Nummer sicher gehen – Redundanzen

Redundanz hat im Höchstspannungsnetz eine bedeutende Rolle. Damit die Überlastung eines Netzelements verhindert wird, wendet Swissgrid die sogenannte n-1-Regel an. Diese besagt, dass – falls irgendwo ein Netzelement ausfällt – alle anderen Netzelemente im Höchstspannungsnetz noch über genügend Kapazität verfügen müssen, um die zusätzliche Energie zu übertragen. Durch die flexible Verschaltung der Leitungen in den Unterwerken lässt sich der Fluss der elektrischen Energie steuern. Das hilft dabei, die Überlastung einzelner Leitungsabschnitte zu vermeiden.

## Blindleistung

Swissgrid Schaltanlagen haben eine weitere wichtige Funktion: Sie stabilisieren das Spannungsniveau im Netz. Beim Transport von Wechselstrom bauen sich permanent magnetische und elektrische Felder auf und ab – das ist eine physikalische Eigenschaft des Stroms. Dafür wird die sogenannte Blindleistung benötigt. Die Blindleistung und der dazu nötige Blindstrom werden zur Erzeugung elektrostatischer oder elektromagnetischer Felder benötigt. Da sich diese Felder im Takt der Wechselfrequenz kontinuierlich auf- und wieder abbauen, pendelt die Energie kontinuierlich zwischen Erzeuger und elektrischem Verbraucher. Diese Energie kann nicht genutzt bzw. nicht in eine andere Energieform umgewandelt werden. So belastet diese Leistung das Stromversorgungsnetz, auf dem der Blindstrom zusätzlich zum Wirkstrom transportiert werden muss, und die Generatoren oder den Transformator, wo die Blindleistung erzeugt wird.



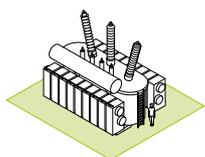
Beispiel einer gasisolierten Schaltanlage: Durch die kompakte Bauweise kann die benötigte Geländefläche um rund ein Drittel reduziert werden.

# Aufbau und Anlagentechnik

Obwohl es unterschiedliche Bauformen gibt, sind doch alle Schaltanlagen von Swissgrid nach einem ähnlichen Prinzip gebaut. Jedes Betriebsmittel innerhalb einer Schaltanlage erfüllt eine wichtige Funktion. Je nach Einsatzort und Aufgabe unterscheiden sich die Betriebsmittel in Form und Grösse. Sie sorgen dafür, dass die gesamte Anlage sicher und zuverlässig betrieben werden kann.

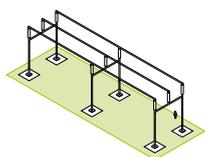
## Einzelne Bauteile

### 1 Transformator



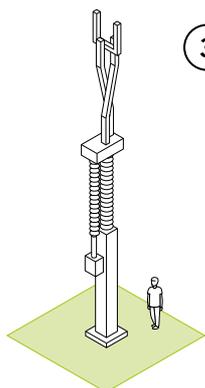
Der Transformator ist das Herzstück des Netzes. Transformatoren erhöhen oder reduzieren die Spannung von elektrischer Energie bzw. den Strom. Denn je höher die Spannung ist, desto geringer sind die Verluste entlang der Stromleitungen. Das Höchstspannungsnetz hat eine hohe Spannung, um Energie möglichst verlustarm über grosse Entfernungen zu transportieren. Die 21 Swissgrid Transformatoren verbinden das 380-kV- mit dem 220-kV-Netz. Bis die von den Kraftwerken produzierte Energie für die Endverbraucherinnen und Endverbraucher nutzbar ist, wird die Spannung auf 400 oder 230 Volt reduziert.

### 2 Sammelschiene



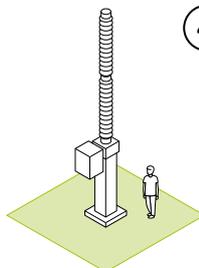
Eine Sammelschiene dient der Verbindung der in einem Unterwerk zusammentreffenden Höchstspannungsleitungen. Über die sogenannten Schaltfelder kann die Energie der verschiedenen Höchstspannungsleitungen über die Sammelschienen verteilt werden, wodurch der Leistungsfluss im Netz gesteuert wird.

### 3 Trennschalter



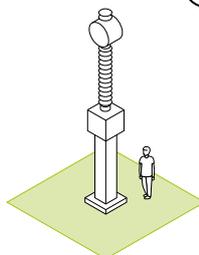
Der Trennschalter trennt den Freileitungsstromkreis und die Schaltanlage sichtbar voneinander. Durch das Trennen ist das Netzelement ohne Spannung, die tatsächliche Abschaltung übernimmt aber der Leistungsschalter.

### 4 Leistungsschalter



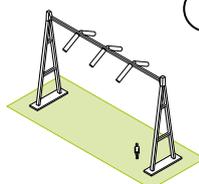
Die Leistungsschalter ermöglichen das Zu- oder Abschalten von Elementen des elektrischen Netzes. Das heisst, sie können Leitungen oder Kraftwerke vom Netz trennen und damit spannungsfrei machen oder mit dem Netz verbinden. Leistungsschalter und Trennschalter werden von den Netzleitstellen aus gesteuert.

### 5 Messwandler

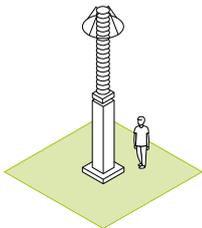


Messwandler gehören zu den Kontrollinstrumenten der Schaltanlage. Sie messen die Spannung sowie die Stromstärke. Die Messwerte werden an die örtlich installierten Schutz- und Leiteinrichtungen sowie an die Netzleitstellen von Swissgrid in Aarau und Prilly übermittelt. Die dortigen Fachleute von Swissgrid erkennen, unter anderem anhand dieser Werte, die aktuelle Netzsituation. Bei Bedarf können die notwendigen Massnahmen eingeleitet werden.

### 6 Abspanngerüst

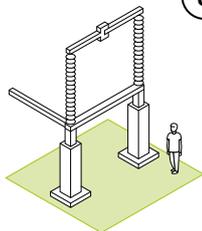


Das Abspanngerüst ist ein in Gitterkonstruktion ausgeführtes Portal, an dem die Seile der Freileitungen befestigt und abgespannt und so stabilisiert werden. Diese Konstruktion trägt das Eigengewicht der Seile und nimmt die Kräfte auf, die durch Wind und Eis auf die Seile wirken.



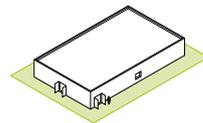
### 7 Überspannungsableiter

Der Überspannungsableiter schützt die wesentlichen Bauteile der Schaltanlage vor zu hohen elektrischen Spannungen, die beispielsweise bei einem Blitzschlag auftreten können. So bewahrt er Anlagenteile wie etwa die Transformatoren vor Schäden, ohne die Versorgung zu unterbrechen.



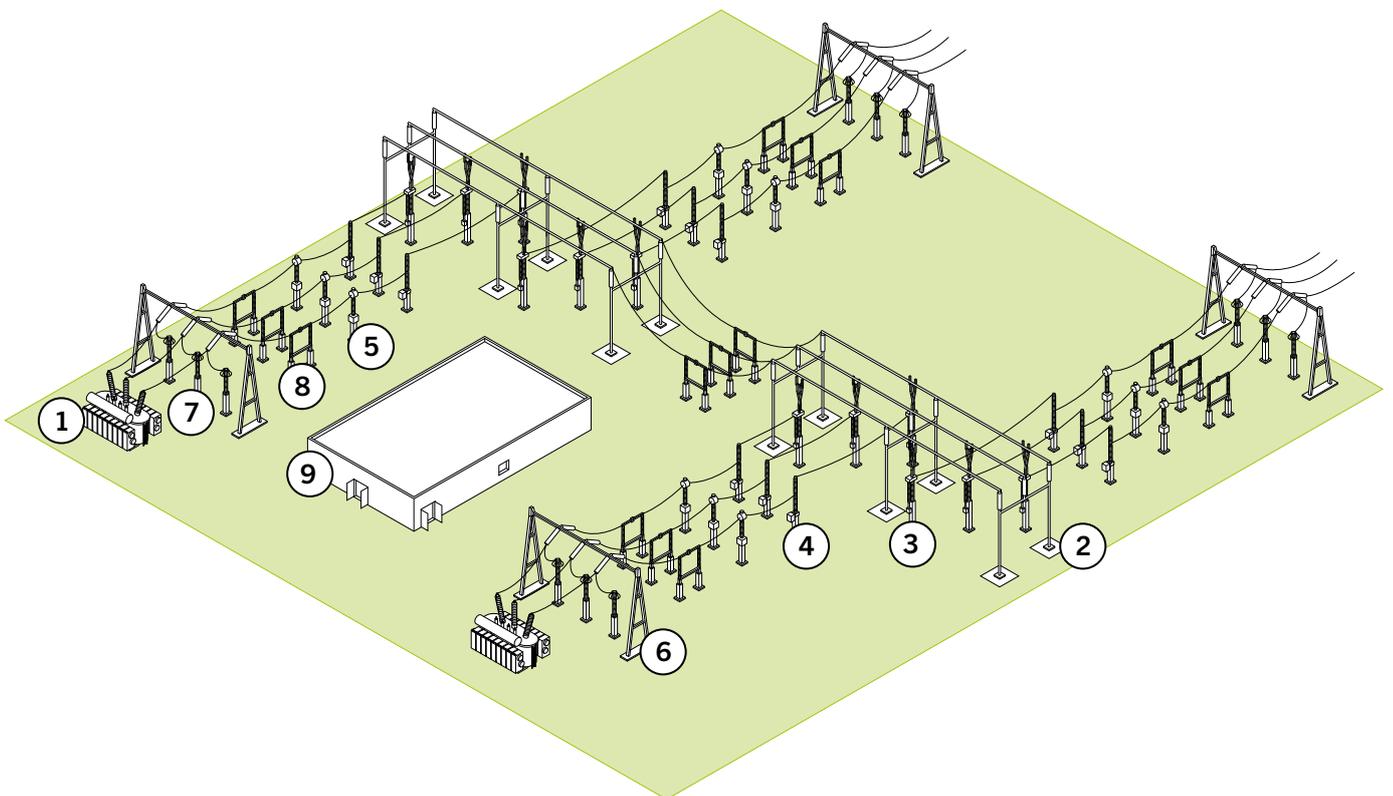
### 8 Erdungsschalter

Ein Erdungsschalter erdet einen abgeschalteten und damit spannungsfreien Anlagenteil. Er verhindert, dass es durch Aufladung der ausgeschalteten Teile zu Gefährdungen kommt. In Kombination mit den Leitungstrennschaltern lässt sich dadurch eine sichere Arbeitsumgebung in der Schaltanlage schaffen.



### 9 Betriebsgebäude / Notfallgenerator

Im Betriebsgebäude befindet sich die Schutz-, Leit- und Nachrichtentechnik. Hier laufen die Messwerte der gesamten Schaltanlage zusammen, sodass alle Elemente sehr schnell gesteuert und kontrolliert werden können. Diese Daten werden auch an die Leitstellen von Swissgrid in Aarau und Prilly übertragen. Ausserdem beherbergt das Betriebsgebäude eine eigene Stromversorgung inklusive Batterieanlagen. Sie tragen dazu bei, den störungsfreien Betrieb der Schaltanlage jederzeit zu gewährleisten.



Grafische Darstellung eines Unterwerks mit Transformatoren: Die Unterwerke werden von den Netzleitstellen in Aarau und Prilly aus gesteuert. Bei Bedarf können die Anlagenverantwortlichen aber die Kontrolle über die Unterwerke übernehmen und die Abschaltung vor Ort durchführen.



Vertiefen Sie Ihr Wissen online:  
Technologien im Leitungsbau

Swissgrid AG  
Bleichemattstrasse 31, 5001 Aarau, Schweiz  
T +41 58 580 21 11, [info@swissgrid.ch](mailto:info@swissgrid.ch), [www.swissgrid.ch](http://www.swissgrid.ch)

**swissgrid**