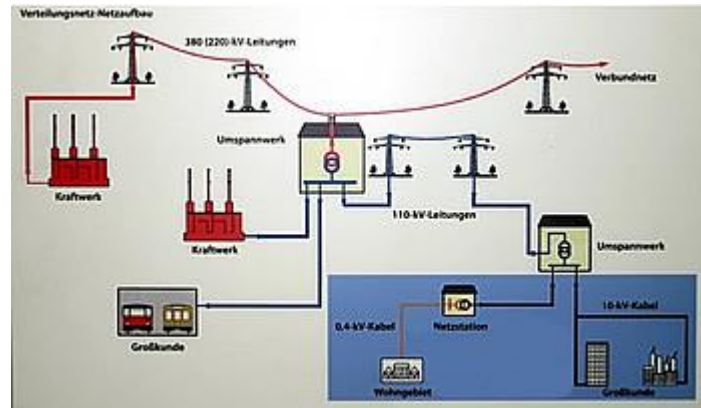


# NETZTECHNIK

Die elektrischen Energienetze dienen dazu, die in den Kraftwerken erzeugte Elektroenergie zu den Energieanwendern zu transportieren. Die dazu erforderlichen elektrischen Anlagen der Übertragungs- und Verteilungsnetze bestehen aus folgenden Hauptkomponenten:



**Aufbau eines Elektroenergie-Versorgungssystems**

- Leitungen (Kabel oder Freileitungen) dienen dem Transport der Elektroenergie
- Schaltanlagen werden benötigt, um die Leitungen durch Schaltgeräte miteinander verbinden oder voneinander trennen zu können
- Transformatoren setzen die Spannung auf die für die Transportaufgabe gewählte Netzspannung herauf oder herab
- Ortsnetz- und Übergabestationen speisen in die Netze ein, aus denen die Kunden die benötigte Elektroenergie entnehmen



**Leitungsmast einer 110-kV-Doppel-Freileitung mit zusätzlichen Mobilfunkantennen**

Die Schutzeinrichtungen der Netze überwachen alle elektrischen Anlagen, erkennen Überlastungen, Kurzschlüsse und andere Fehlerzustände und sorgen dafür, dass diese durch Aktivierung der Schaltgeräte in den Schaltanlagen selektiv abgeschaltet werden.



**Netztransformator in einer Freiluftschaltanlage**

# SCHALTANLAGEN

## Was sind Schaltanlagen?

Das Elektroenergiesystem besteht aus Generatoren, Leitungen, Transformatoren und Verbrauchsanlagen. Um diese miteinander verbinden bzw. voneinander trennen zu können, werden Schaltgeräte benötigt. Eine Schaltanlage umfasst eine oder mehrere Sammelschienen und eine Vielzahl von Schaltgeräten. Man unterscheidet i.W.

- Trennschalter  
Trennschalter haben die Aufgabe, eine Netzkomponente zuverlässig und sichtbar von unter Spannung stehenden Anlagenteilen abzutrennen, z.B., damit daran gearbeitet werden kann. Trennschalter dürfen nur im stromlosen Zustand geschaltet werden, da sie keine Einrichtungen zur Löschung des Schaltlichtbogens haben.
- Leistungsschalter  
Leistungsschalter sind in der Lage, Betriebs- und Fehlerströme (z.B. Kurzschlussströme) ein- und auszuschalten.

In den Schaltanlagen werden Kombinationen von Trenn- und Leistungsschaltern so mit der Sammelschiene verbunden, dass Leitungen, Transformatoren oder andere Komponenten angeschlossen werden können. Die Schaltgeräte ermöglichen es, bei Bedarf den Schaltzustand des Netzes vor Ort oder durch Fernsteuerung anzupassen. In den „Schaltfeldern“ sind außerdem Strom- und Spannungswandler zu Mess-, Verrechnungs- und Schutzzwecken eingebaut. Damit ist eine lückenlose Überwachung des Betriebszustandes möglich, und im Fehlerfall kann der betroffene Anlagenteil – und nur dieser – automatisch abgeschaltet werden. Diese Möglichkeit der selektiven Abschaltung ist wichtig, um bei Kurzschlüssen das Ausmaß des Schadens zu begrenzen und eine hohe Versorgungszuverlässigkeit zu gewährleisten.

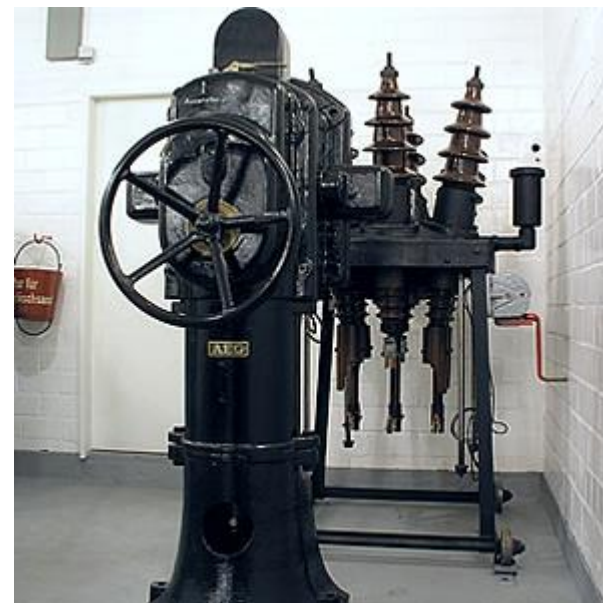
## Leistungsschalter



**Leistungsschalter für 110 kV (Löschprinzip: Ölströmung)**

Die technische Weiterentwicklung der Leistungsschalter führte zur Anwendung weiterer Methoden zur Löschung des Lichtbogens: Kühlung des Lichtbogens durch Ölströmung, durch Expansion eines Löschmittels, durch Druckluft oder durch Schwefel-hexafluorid-Gas (SF<sub>6</sub>), das auch als Isoliermedium in gekapselten gasisolierten Schaltanlagen verwendet wird. In modernen Mittelspannungsschaltanlagen werden häufig Vakuumschalter eingesetzt, bei denen die Schaltkammer evakuiert und damit die Lichtbogenstrecke entionisiert wird.

Leistungsschalter sind Geräte, die in der Regel mehrere Jahrzehnte im Einsatz sind. Sie wurden im Laufe der technischen Entwicklung immer komplizierter, und gleichzeitig wurden ihre Abmessungen immer kleiner. Kernstück aller Leistungsschalter sind Einrichtungen zur Unterbrechung des bei der Abschaltung von Betriebs- und Fehlerströmen auftretenden Schaltlichtbogens in Verbindung mit sehr schnell arbeitenden mechanischen Kraftantrieben. Am Anfang der technischen Entwicklung der modernen Drehstromversorgung (um 1910) standen Ölkessel-Leistungsschalter. Kontakttrennung und Lichtbogenlöschung erfolgten in einem mit Isolieröl gefüllten Kessel.



**Ölkessel-Leistungsschalter für 30 kV (ca. 1912)**



# TRANSFORMATOREN

## Was sind Transformatoren?

Transformatoren (Umspanner) dienen in Wechsel- und Drehstromnetzen einerseits zur Transformation auf hohe Spannungen, um bei der Energiefortleitung über große Entfernungen die Verluste niedrig zu halten, andererseits der Herabsetzung der Spannung auf die von den Verbrauchsgeräten benötigten Werte. Spezielle Transformatoren, so genannte Messwandler, dienen der Herabsetzung von Spannungen und Strömen auf ein Niveau (z.B. 100 V, 5 A), das von üblichen Messgeräten verarbeitet werden kann.

Die physikalische Grundlage des Transformators ist das

Faraday'sche Induktionsgesetz, nach dem bei Änderung des magnetischen Flusses durch eine Leiterschleife in dieser ein Induktionsstrom entsteht. Erzeugt man die Änderung des magnetischen Flusses durch einen von Wechselstrom durchflossenen Elektromagneten (Primärwicklung des Transformators), so kann man einer zweiten von diesem Wechselfeld durchfluteten Spule (Sekundärwicklung des Transformators) die der Primärwicklung zugeführte elektrische Energie auf dem gewünschten Spannungsniveau wieder entnehmen.

Das Bild zeigt das stark vereinfachte Wirkungsschema eines Transformators für Einphasen-Wechselstrom. In der linken Hälfte des Bildes ist die Primärseite und in der rechten Hälfte die Sekundärseite des Transformators zu sehen.

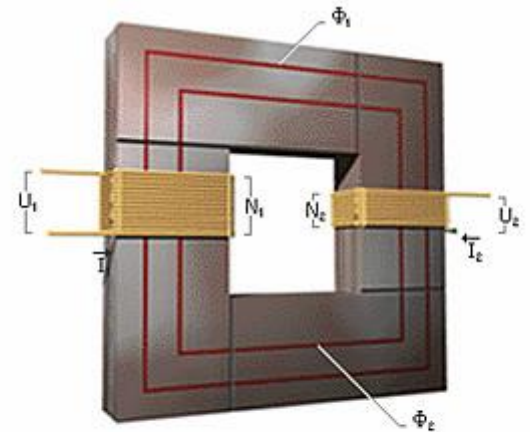
Es gilt:  $U_1 / U_2 = N_1 / N_2$   
Diese Energieübertragung erfolgt mit sehr hohem Wirkungsgrad (98-99%).

Transformatoren finden Anwendung von kleinsten Leistungsbereichen in der Nachrichtentechnik und Elektronik bis hin zu Großtransformatoren in der Energieübertragungstechnik, in der Industrie z.B. zur Stahl-, Kupfer- oder Aluminiumherstellung und in der Verkehrstechnik (elektrische Bahnen).

### Transformator-Bauformen

Die Bauformen der Transformatoren werden nach der Konstruktion der Eisenkerne und der darauf angebrachten Wicklungen unterschieden. Die Eisenkerne werden aus dünnen, elektrisch gegeneinander isolierten Blechen geschichtet; bei Transformatoren für höhere Frequenzen, z.B. in Elektronik-Geräten, werden meist Ferritkerne verwendet. Kleintransformatoren für den Einsatz in der Elektrogeräteindustrie werden als so genannte Manteltransformatoren konzipiert. Bei dieser Konstruktion werden die Wicklungen auf dem mittleren, mit doppeltem Querschnitt ausgelegten, Schenkel aufgebracht.

Im Energieübertragungsbereich werden so genannte Kerntransformatoren verwendet. Bei dieser Konstruktion trägt jeder Eisenschkel, dessen Querschnitt einem Kreis nachgebildet wird, die konzentrisch angeordneten Unter- und Oberspannungswicklungen. Nachdem diese montiert sind, wird das obere Eisenjoch eingeschachtelt und damit der magnetische Kreis geschlossen.



N = Windungszahl  
U = Spannung  
I = Stromstärke  
Φ = Magnetische Flüsse

### Transformator-Prinzip, schematisch



Blick in einen aufgeschnittenen Netztransformator

und Oberspannungswicklungen. Nachdem diese montiert sind, wird das obere Eisenjoch eingeschachtelt und damit der magnetische Kreis geschlossen.

## Die Entwicklung der Transformatortechnik

Nach der Entdeckung der elektromagnetischen Induktion im Jahre 1831 durch M. Faraday und J. Henry fand das Induktionsgesetz erste praktische Anwendung bei „Funkeninduktoren“, die mit Hilfe von Unterbrechern niedrige Gleichspannungen in hohe Wechselspannungen umwandeln und damit als Vorläufer der Transformatoren zu betrachten sind. Weitere Anwendungen erfolgten auf Basis eines Patents von L. Gaulard und J.D. Gibbs von 1882 auf ihren so genannten „Sekundärgenerator“, der ab 1883 dazu verwendet wurde Beleuchtungsanlagen zunächst in London und in den darauf folgenden Jahren in Italien und Frankreich zu betreiben.

Die ersten technisch brauchbaren Transformatoren wurden 1884/85 von O.T. Bláthy, M. Déry und K. Zipernowsky in Budapest entwickelt und patentrechtlich geschützt. Nach Probeeinsätzen anlässlich von Ausstellungen im Jahre 1885, wurden bereits 1886 mehrere Anlagen in Betrieb genommen. In den Folgejahren bestimmten Patentrechtsstreitigkeiten mit unterschiedlichen Ergebnissen in den einzelnen Rechtsräumen die weitere Entwicklung in den einzelnen Ländern. Die ungarische Firma Ganz entwickelte verschiedene Bauformen der Magnetkreise (Eisenbandkerne, U-Blechkerne). Auf Basis der Patente wurde in verschiedenen Ländern Europas weiter entwickelt. Mit steigenden Anforderungen an die Übertragungsleistungen mussten Isolierung und Kühlung der Transformatoren verbessert werden. Hierzu wurden die aktiven Teile in einen mit Öl gefüllten Kessel eingebracht.

Mit dieser Technik wurde 1891 im Rahmen der „Internationalen Elektrischen Ausstellung“ zu Frankfurt am Main von Oskar von Miller eine 15-kV-Drehstromübertragungsstrecke mit einer Leistungsfähigkeit von 75 kW über 175 km zwischen Lauffen am Neckar und Frankfurt am Main aufgebaut. Diese Modellstrecke war der Durchbruch für die Drehstromübertragung in elektrischen Versorgungsnetzen.

Die weitere Entwicklung in der Transformatorentechnik wurde getrieben durch den rasch ansteigenden Bedarf an elektrischer Energie in Industrie, Verkehr und Gewerbe sowie im privaten Bereich. Zur Übertragung immer größerer Leistungen mussten die Übertragungsspannungen ständig erhöht und die Transformatoren entsprechend ausgelegt werden. Dies hatte Einfluss auf die verwendeten Werkstoffe und die Konstruktion: Durch Einsatz verbesserter Eisenbleche konnten die Leerlaufverluste minimiert werden und durch die Verwendung besonderer Kühlkonstruktionen (Kühlrippen, Radiatoren, Zwangskühlungsverfahren) konnte die Abfuhr der Verlustwärme verbessert werden.

In Transformatoren werden Mineralöle und synthetische Öle als Isolier- und Kühlflüssigkeit eingesetzt. Der während des Betriebs der Transformatoren im Öl einsetzende Alterungsprozess wird durch regelmäßige Probeentnahmen und Laboruntersuchungen überwacht.

Die Entwicklung des Transformatorbaus wurde nicht nur durch die Anforderungen der elektrischen Versorgungsnetze bestimmt, sondern auch durch Anwendungen in Industrie und Verkehr. Genannt seien hier z.B. Schweißtransformatoren, Transformatoren für Lichtbogenöfen, für elektrische Lokomotiven etc. Um den jeweiligen spezifischen Anforderungen entsprechen zu können entstand eine Vielzahl von Konstruktions-Varianten. Als Beispiel sei hier die Entwicklung von so genannten Stufenschaltwerken genannt, die es ermöglichen auch unter Last das Übersetzungsverhältnis des Transformators zu verändern.

Kontinuierlich wurde der Einsatz besserer Kühl- und Isoliermedien untersucht. Zeitweise wurden Askarele eingesetzt, die jedoch im Brandfall toxische Zersetzungsprodukte entwickeln und deshalb nicht mehr verwendet werden. Heute werden neben Mineralöl auch synthetische Flüssigkeiten eingesetzt.

Transformatoren ohne Isolieröl werden Trockentransformatoren genannt. Eine besondere Bauform des Trockentransformators ist die spezielle Ausführung als Gießharztransformator, bei dem die Wicklungen unter Vakuum in Gießharz eingebettet werden. Solche Transformatoren werden mit Leistungen von 100 bis 2.500 kVA produziert. Sie werden überall dort eingesetzt, wo ölgefüllte Transformatoren aufgrund von Umweltschutz- oder Brandschutzanforderungen nicht betrieben werden dürfen, z.B. in Versammlungsstätten.

Im Zuge der Entwicklung von gasisolierten Schaltanlagen wurden auch Versuche gemacht, gasförmige Isoliermedien, z.B. Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) einzusetzen. Wegen der Klima-relevanz des  $\text{SF}_6$  mussten diese Transformatoren hermetisch dicht verschlossen werden und die Dichtigkeit musste permanent überwacht werden. Wegen des damit verbundenen hohen Wartungsaufwands konnten sich  $\text{SF}_6$ -isolierte Transformatoren nicht durchsetzen.

## Transformiertechnik im Energie-Museum-Berlin

Im Energie-Museum werden aus Platz- und Gewichtsgründen nur Transformatoren ausgestellt, wie sie in den Verteilungsnetzen eingesetzt wurden und werden. Große Transformatoren, z.B. Netzkuppeltransformatoren, die die 110-kV-Verteilungsnetze mit dem 400-kV-Übertragungsnetz verbinden, bekommt man in Berlin ohne Weiteres nicht zu sehen, da sie aus Lärmschutzgründen fast immer in besonderen Räumen der Schaltanlagegebäude aufgestellt sind. Vom Museum aus sind allerdings auf dem dem Museum benachbarten Umspannwerksgelände einige in Betrieb befindliche Großtransformatoren zu sehen.

Besonders sei auf die Schnittmodelle von Netztransformatoren hingewiesen, die Einblicke in den inneren Aufbau ermöglichen. Die Fertigung von Transformatoren wird in einer Bilderserie dargestellt.

Neben typischen Netztransformatoren werden in der Ausstellung auch einige Spezialtransformatoren gezeigt.



**Litfaßsäulen-Transformator**

# LEITUNGEN

## Leitungen

Leitungen dienen der Übertragung elektrischer Energie. Sie stellen die Verbindung zwischen den Kraftwerken und den Energieanwendern in Industrie, Gewerbe, Haushalten usw. her. Um eine möglichst verlustarme Energieübertragung zu erreichen, erfolgt die Übertragung in Netzen mit unterschiedlichen Spannungen, die durch Transformatoren miteinander verbunden sind.

Die Leitungen können als Freileitung oder als Kabel ausgeführt werden. Bei Freileitungen werden die elektrischen Leiter an Isolatoren aufgehängt, die an Masten befestigt sind. Die Isolierung der Leiter untereinander erfolgt durch die Luft. Durch deren Isolationsvermögen sind die erforderlichen Abstände gegeben. Die Geometrie der Freileitung wird durch die verwendete Mastkonstruktion bestimmt.



**400-kV-Freileitung**



**Kabelsortiment**

Bei Kabeln besteht die Isolierung aus festen oder flüssigen Stoffen, die direkt den stromführenden Leiter umgeben. Das Kabel wird durch einen leitfähigen Mantel abgeschlossen, der zugleich das Eindringen von Feuchtigkeit zuverlässig verhindern muss. Je nach Einsatzort des Kabels folgen Bewehrungen als Schutz gegen mechanische Beschädigungen und schließlich ein Korrosionsschutzmantel.

Neben den Energiekabeln und -leitungen werden spezielle Kabel zur Übertragung von Messwerten sowie von Signalen für den Anlagenschutz sowie Steuerungs-, Überwachungs- und Regelaufgaben benötigt. Die Übertragung solcher Informationen macht es möglich, das gesamte Netz eines Netzbetreiber-Unternehmens von einer zentralen Stelle aus zu überwachen und zu steuern und das Wartungs- und Entstörungspersonal gezielt einzusetzen.

In Berlin werden bis heute fast ausschließlich Kabel verwendet. Bereits der erste Konzessionsvertrag der Stadt Berlin mit der A.G.StEW (Städtische Elektrizitätswerke Aktiengesellschaft Berlin) sah vor, dass im Stadtgebiet nur unterirdische Leitungen eingesetzt werden dürfen.



## Die Entwicklung der Kabeltechnik

Um 1850 wurde das erste Kabel als Nachrichtenkabel hergestellt. Es hatte eine Isolierung aus Guttapercha, einer Kautschukart.

Erst 30 Jahre später, um 1880, wurden erste Energiekabel entwickelt, ebenfalls mit Guttapercha-Isolierung. In der Folge wurden Isolierungen als Mehrschicht-Dielektrikum aus gewickelten Papierbändern eingeführt. Die Papierbänder wurden im Vakuum getrocknet und dann mit harzhaltigen Massen getränkt. Solche, auch heute noch im Einsatz befindliche Kabel nannte man Massekabel. Die Kabel wurden mit einem nahtlosen Bleimantel versehen, der als Schutz gegen Feuchtigkeit diente. Zur besseren elektrischen Feldsteuerung (Vermeidung von Feldstärkespitzen) bei Hochspannungskabeln führte Martin Höchstädter um 1910 eine leitende Beschichtung der Isolierung mit metallisiertem Papier (Höchstädter-Folie) ein.

Ein wichtiger Schritt in Richtung höherer Übertragungsspannungen erfolgte um 1920 mit dem Einsatz von mit dünnflüssigem Isolieröl getränkten Papieren. Solche Kabel werden bis heute für Betriebsspannungen bis zu 500 kV hergestellt.

Alle diese Kabel waren relativ schwierig zu montieren und erforderten einen hohen Wartungsaufwand, z.B. an den Verbindungsmuffen und Endverschlüssen. Hinzu kam das Problem, dass bei Beschädigungen Öl ins Erdreich oder sogar ins Grundwasser gelangen konnte. Deshalb wurde intensiv an der Entwicklung von Kabeln mit einschichtigen Isolierungen aus synthetischen Kunststoffen gearbeitet. Bereits um 1950 wurden Polyvinylchlorid-isolierte Kabel (PVC) gefertigt, die aber wegen der hohen dielektrischen Verluste des PVC nur für Niederspannung geeignet waren. Dieses Problem konnte jedoch bald mit Isolierungen aus Polyethylen (PE) gelöst werden. Um die Isolierung thermisch höher belastbar zu machen, wurde ca. 1960 die Vernetzung des Polyethylen (VPE) mittels unterschiedlicher Verfahren eingeführt. VPE-Kabel werden heute für Betriebsspannungen bis zu 500 kV eingesetzt.

Kunststoffkabel gewannen gegenüber den Masse- und Ölkabeln immer mehr an Bedeutung. Heute werden bis auf Ausnahmefälle kunststoffisolierte Kabel eingesetzt, wobei als Isolierung je nach den speziellen Anforderungen meistens PVC, PE oder VPE gewählt wird.

## Kabeltechnik im Energie-Museum Berlin

Die Kabeltechnik hat innerhalb des Energie-Museums Berlin eine besondere Bedeutung. In Berlin waren über viele Jahrzehnte alle bedeutenden Kabelhersteller ansässig, die die Entwicklung der Energiekabeltechnik zusammen mit der Bewag vorantrieben. Da die Abteilung „Kabeltechnik“ der Bewag schon nach dem 1. Weltkrieg mit dem Sammeln kabeltechnischer Objekte begann, kann das Museum heute eine Vielzahl von Kabelmodellen und Garnituren aller Spannungsebenen zeigen, die teilweise weit über 100 Jahre alt sind. Fast alle diese Kabel waren in Berlin – zumindest versuchsweise – im Einsatz.

Es beginnt mit den Kabeln und Garnituren der Gleichstromkabelnetze aus den Anfangsjahren der städtischen Stromversorgung und endet mit der modernsten Technik, den 400-kV-Kunststoffkabelanlagen. Die große Zahl der Ausstellungstücke wird ergänzt durch Nachbildungen und Fotos.

Die Energiekabeltechnik im Museum wird ergänzt durch die Fernmeldekabeltechnik. Auch in diesem Bereich kann die technische Entwicklung anhand einer Vielzahl von Ausstellungstücken nachempfunden werden.



30-kV-Kabelgarnituren

# STATIONSTECHNIK

## Was ist Stationstechnik?

Als Stationen oder Schaltstationen bezeichnet man die Teile elektrischer Netze, in denen an einem bestimmten Ort die Übertragungs- und/oder Verteilungsleitungen an eine Schaltanlage angeschlossen werden. Dient die Station auch der Übertragung elektrischer Energie zwischen einem überlagerten und einem unterlagerten Netz, so sind auch Transformatoren erforderlich. Stationen dieser Art werden als „Umspannstation“ oder „Umspannwerk“ bezeichnet. Stationen enthalten darüber hinaus Einrichtungen, die der Netzsicherheit und der Netzführung dienen, z.B. Schutz- und Messeinrichtungen. In städtischen Netzen werden die Stationen meist in Gebäude eingebaut.

Stationen können entsprechend der Art des Netzes, der Spannungsebene, der Zweckbestimmung, der Bauweise etc. bezeichnet werden. In Deutschland sind regional sehr unterschiedliche Bezeichnungen üblich. In Berlin gab es in den Höchst- und Hochspannungsnetzen keine Schaltstationen. Deshalb wurden die Stationen dieser Netze einheitlich als „Umspannwerk“ bezeichnet. Schaltstationen im Mittelspannungsnetz wurden „Stützpunkt“ genannt, und die die Niederspannungsnetze speisenden Stationen der Mittelspannungsnetze wurden „Netzstation“ oder einfach „Station“ genannt.



**Transformator einer Netzstation**

In einer solchen Station wird die Spannung des Mittelspannungsnetzes (in Berlin 10 kV) auf die Gebrauchsspannung (3\*230/400 V) transformiert. Die wesentlichen elektrischen Komponenten sind die Mittelspannungsschaltanlage, der Transformator, die Niederspannungsanlage und die Schutzeinrichtungen. Die Niederspannungsanlage besteht aus dem Einspeiseschalter und der Niederspannungs-Hauptverteilung, von der die Leitungen des Niederspannungsnetzes abgehen.





**Niederspannung-Hauptverteilung einer Netzstation**

Die Schaltanlagen werden benötigt, um Leitungsverbindungen herzustellen oder zu unterbrechen. Dazu werden Kombinationen von Schaltern so mit einer Sammelschiene verbunden, dass die Leitungen, Transformatoren oder andere Komponenten an- und abgeschaltet werden können. Auf diese Weise kann der Schaltzustand des Netzes verändert werden. Eine Unterbrechung (Abschaltung) kann aber auch betrieblich zu Instandhaltungs- oder Prüfzwecken erforderlich sein oder infolge einer Störung (z.B. Kurzschluss, Erdschluss etc.). Im Störfall erfolgt die Abschaltung automatisch durch den Schutz.

Bei den verwendeten Schaltgeräten unterscheidet man

**Leistungsschalter:** Sie sind in der Lage, eine Verbindung auch im Kurzschlussfall zu unterbrechen, d.h. sie können sehr große Ströme sicher abschalten.

**Lasttrennschalter:** Sie dienen der betrieblichen Unterbrechung einer Verbindung, d.h. sie können Ströme bis zu einem definierten Nennwert abschalten.

**Trennschalter:** Sie dienen dazu, eine bereits abgeschaltete Verbindung sicher abzutrennen und eine sichtbare Trennstelle herzustellen.



**Leistungsschalter für 10 kV**

## Die Entwicklung der Stationstechnik

Für die Entwicklung der Stationstechnik war in erster Linie die technische Entwicklung der einzelnen Komponenten, insbesondere der Schaltgeräte, maßgebend. Anfangs standen als Isolation für die Anlagen nur Luft und Porzellan zur Verfügung, während die Schaltgeräte Öl als Isolier- und Lichtbogenlöschmittel nutzten. Damit waren große Abmessungen der Anlage vorgegeben und die erforderlichen Räumlichkeiten in Kellerräumen oder auch freistehenden Gebäuden entsprechend groß. Durch geschickte Konstruktion konnte aber schon mit dieser Technik kompakt gebaut werden, wie die auf dem Außengelände des Museums ausgestellte Litfaßsäulenstation zeigt.

Mit dem Einsatz von Kunststoffen konnten die Hochspannungsanlagen immer kleiner gebaut werden. Gleichzeitig wurden die spannungsführenden (aktiven) Teile nicht mehr mit Drahtgittergeflecht sondern durch Vollblechkonstruktionen abgeschottet. Die konsequente Anwendung von Gießharzkunststoffen ermöglichte schließlich die Entwicklung von Kompaktschaltanlagen, die einen wesentlich geringeren Raumbedarf haben.



Netzstation in Litfaßsäule



6-kV-Schaltanlage einer Netzstation

Infolge dessen konnten auch die Abmessungen der notwendigen Baukörper wesentlich verringert werden, so dass diese sogar industriell vorgefertigt, mit den elektrischen Komponenten einschließlich Transformator ausgerüstet und betriebsfertig zum Aufstellungsort geliefert werden können. Bei diesen Fertigstationen unterscheidet man begehbare „Garagenstationen“ und nicht begehbare „Kompaktstationen“.





**Kompaktstation auf dem Außengelände des Museums**

Fehler in den elektrischen Anlagen der Stationen gehen meist mit Lichtbögen einher, in denen Temperaturen über 2.000 °C auftreten können. Bei der Entwicklung der Stationen wurde deshalb ein besonderes Augenmerk darauf gerichtet, das Bedienungspersonal dieser Anlagen und evtl. in der Nähe befindliche Passanten optimal zu schützen.

Die Wirksamkeit entsprechender Maßnahmen muss in so genannten Störlichtbogenprüfungen nachgewiesen werden, deren Randbedingungen in den einschlägigen Normen festgelegt sind. Diese Prüfungen kann man mit den „Crash-Tests“ in der Automobilindustrie vergleichen. Derart geprüfte Anlagen werden als „typgeprüfte, fabrikfertige Anlagen“ bezeichnet.

Die in Gießharz ausgeführten Anlagen, die seit Ende der 1960er Jahre insbesondere in Kompaktstationen zum Einsatz kamen, zeigten im Betrieb den Nachteil, dass äußere Einflüsse wie Feuchtigkeit, Temperatur, Staub etc. den zuverlässigen Betrieb stark beeinträchtigen konnten.

Als wesentlich robuster erwiesen sich die seit Beginn der 1980er Jahre entwickelten, hermetisch abgeschlossen in Stahl- oder Aluminiumbehälter eingebauten Schaltgeräte, bei denen Gasmischungen als Isolier- und Lichtbogenlöschmittel verwendet werden.

Heute werden je nach Einsatzbedingungen luftisolierte-, blechgekapselte und gasisolierte Anlagen eingesetzt.

### **Stationstechnik im Energie-Museum Berlin**

Im Energie-Museum werden Schaltanlagen aus Netzstationen und komplette Stationen gezeigt, in denen von der Mittelspannung (6 kV, 10 kV oder 20 kV) auf die europaweit einheitliche Niederspannung (3\*230/400 V) transformiert wird.

Auf dem Freigelände ist die erwähnte Litfaßsäulen-Station ausgestellt, in der man die einzelnen Komponenten erkennen und ihre Funktionen gut nachvollziehen kann, außerdem eine Beton-Fertigstation und ein Kabelverteilerschrank („OVK = Oberirdischer Verteilerkasten“).

Im Museumsgebäude werden Schaltanlagen unterschiedlicher Entwicklungsstufen gezeigt, anhand derer man die Entwicklung des Raumbedarfs gut erkennen kann. Außerdem sind Transformatoren und Schaltgeräte zu besichtigen.