

# 6 Stromversorgung

## 6.1 Hochspannungsnetze

VDE 0101-1 u. -2, VDE-AR-N 4120

Unter *Hochspannung* werden nach dem Internationalen Elektrotechnischen Wörterbuch (IEV) nach allgemeiner Bedeutung alle Spannungsebenen oberhalb der Niederspannung und speziell in Elektrizitätsversorgungssystemen die Gesamtheit der höheren Spannungsebenen verstanden, die der Fortleitung großer Mengen elektrischer Energie dienen. Oberhalb der Niederspannung bedeutet danach eine Nennwechselspannung  $> 1$  kV. Ebenfalls nach dem IEV wird als *Mittelspannung* die Gesamtheit aller Spannungsebenen zwischen Nieder- und Hochspannung bezeichnet, was natürlich ein Widerspruch ist. Angemerkt wird, dass die Grenze zwischen Mittel- und Hochspannung je nach örtlichen und historischen Gegebenheiten von 30 kV bis 100 kV reicht. Nach den „Technischen Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Mittelspannungsnetz – TAB Mittelspannung 2008“, herausgegeben vom BDEW (vorherige Herausgeber: VDEW, VDN) ist ein Mittelspannungsnetz ein Netz mit einer Nennspannung  $> 1$  kV bis  $< 60$  kV. Die „TAB Mittelspannung 2008“ soll abgelöst werden durch eine vom FNN herausgegebene VDE-Anwendungsregel VDE-AR-N 4110 „Technische Anschlussregeln für die Mittelspannung“. Ein Entwurf soll bis Ende 2015 veröffentlicht werden. In verschiedenen VDE-Bestimmungen werden die Grenzen wieder anders angegeben. Nach der neuesten Norm DIN EN 50160 vom Febr. 2011 werden die Grenzen der Mittelspannung mit  $> 1$  kV und  $\leq 36$  kV, die der Hochspannung mit  $> 36$  kV und  $\leq 150$  kV angegeben. Nach der vom Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN) erarbeiteten neuen Anwendungsrichtlinie VDE-AR-N 4201 „Netzdokumentation“ von Nov. 2010 wiederum wird als Spannungsbereich für das Mittelspannungsnetz zwischen  $> 1$  kV und  $< 100$  kV genannt. Da diese VDE-Anwendungsrichtlinie im Nov. 2010 erschienen ist, kann dieser Bereich als für Deutschland neuester Stand der Technik angesehen werden. Ungeachtet dieser unterschiedlichen Bereiche der Mittel- und Hochspannung wird in diesem Buch für elektrische Anlagen mit einer Nennwechselspannung  $> 1$  kV (Nennfrequenz bis 60 Hz) der allgemeine Begriff

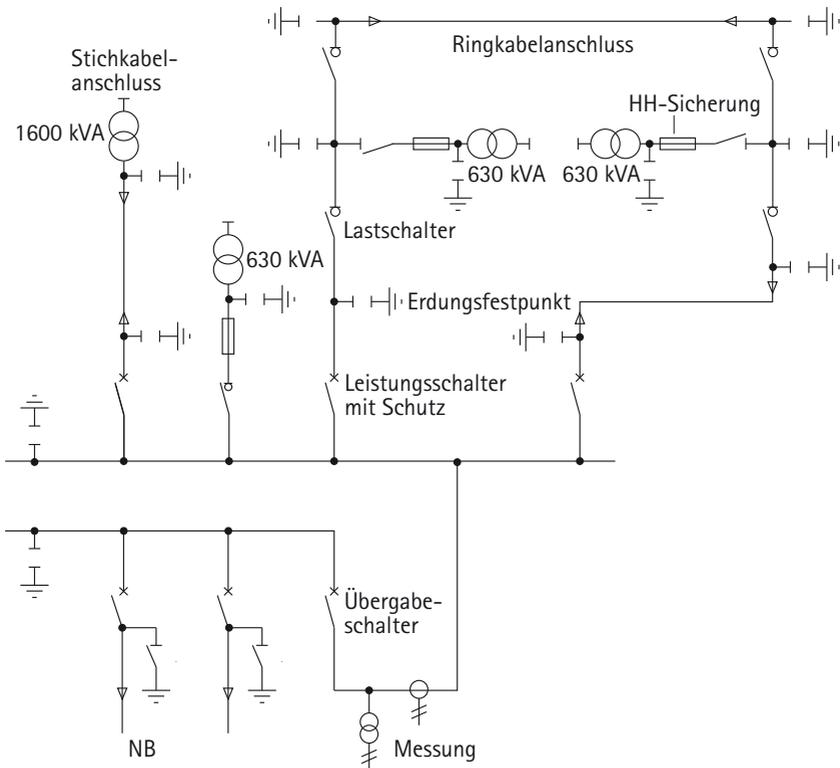
Hochspannung verwendet, zumal in der am 01.12.2014 in Kraft getretenen neuen Ausgabe der VDE-Bestimmung 0101-1 der Begriff *Hochspannung* als „Wechselspannung größer 1 000 V“ angegeben ist.

Großbauten werden aus wirtschaftlichen Gründen meist aus dem Hochspannungsnetz der Netzbetreiber (NBs) gespeist. Diese Netze sind, abgesehen von wenigen Ausnahmen, meist Hochspannungsnetze mit Nennspannungen von 10 kV oder 20 kV. Während in den Großstädten in der Regel Hochspannungsnetze mit 10 kV betrieben werden, hat in der Regionalversorgung das 20-kV-Netz den Vorzug. In der Industrie werden für Hochspannungsmotoren eigene Hochspannungsnetze errichtet.

Die Planung eines abnehmereigenen Hochspannungsnetzes sollte in enger Zusammenarbeit mit dem NB erfolgen. VDE 0101-1 u. -2, die EltBauV (s. Abschn. 1.2.8) und die Auflagen des NB müssen bei der Planung beachtet werden. Die VDE-Bestimmung 0101 mit dem Titel „Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV“ wurde zum 01.11.2011 aufgeteilt in VDE 0101-1 mit dem Titel „Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV – Teil 1: Allgemeine Bestimmungen“ und in VDE 0101-2 mit dem Titel „Erdung von Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1 kV“. Regelungen dieses neuen Teils 2 waren vorher in der VDE-Bestimmung 0141 mit dem allgemeinen Titel „Erdungen für Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV“ enthalten. Da dieser Aspekt der Erdung von Starkstromanlagen nun in VDE 0101-2 enthalten ist und in der aktuellen VDE-Bestimmung 0141 nur noch Anforderungen an die Erdung spezieller Starkstromanlagen enthalten sind (z. B. für Starkstrom-Freileitungen > 1 kV, für elektrische Anlagen in Tagebauen, Steinbrüchen), heißt der Titel von VDE 0141 nun etwas eingeschränkt „Erdungen für spezielle Starkstromanlagen mit Nennspannungen über 1 kV“. Der aktuelle Teil 1 der VDE 0101 ist am 01.12.2014 neu in Kraft getreten und enthält die Anforderungen aus der VDE-Bestimmung 0100-736 mit dem Untertitel „Niederspannungsstromkreise in Hochspannungsschaltfeldern“. Diese VDE-Bestimmung aus der VDE 0100-Reihe wurde deswegen ersatzlos zurückgezogen.

Ein übersichtlicher Netzaufbau, Wirtschaftlichkeit durch hochspannungsseitigen Energietransport in die Lastschwerpunkte, Versorgungs- und Betriebssicherheit durch Selektivität und Redundanz, Wartungsfreundlichkeit und leichte Anpassung an Veränderungen, z. B. bei Laständerungen, sind weitere wichtige Planungsgrundsätze. Das **Bild 6.1** zeigt mehrere je nach Anforderungen brauchbare Varianten von Hochspannungsnetzen.

Bei der Planung und Errichtung von Hochspannungsanlagen sind die Technischen Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Mittelspannungsnetz (aktuelle Ausgabe „TAB Mittelspannung 2008“) zu beachten, u. a. Anforderungen an den



**Bild 6.1:** Anschlussmöglichkeiten der Transformatoren an das Hochspannungsnetz

Netzanschluss (u. a. Ermittlung des Netzanschlusses, Anschlussart (Kabel, Freileitung, Einschleifung, Stichanschluss), Bemessung der Netzbetriebsmittel, Betriebsspannung, Netzurückwirkungen), die Übergabestation (u. a. bauliche Ausführung, Berücksichtigung elektrischer und elektromagnetischer Felder, elektrischer Teil (Isolation, Kurzschlussfestigkeit, Schutz gegen Störlichtbögen, Überspannungsableiter, Schaltanlagen, Sternpunktbehandlung, Sekundärtechnik, Erdungsanlage)), Hinweisschilder und Zubehör.

Die meisten 10-kV- und 20-kV-Netze werden mit *Erdschlusslöschung* betrieben, d. h., der Sternpunkt des Netzes ist über eine Kompensationsspule mit Erde verbunden. Ausgedehnte verkabelte Netze haben auch eine Erdschlusskompensation mit vorübergehender niederohmiger Erdung. Durch die vorübergehende niederohmige Erdung lassen sich Erdschlüsse in Schnellzeit abschalten.

Die *Isolierung des Sternpunkts* ist nur für Netze kleinerer Ausdehnung mit Betriebsspannungen unter 20 kV von Bedeutung. Jedes galvanisch getrennte Netz mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlusskompensation muss mit einer Erdschlussüberwachung versehen sein, die einen Erdschluss unverzüglich erkennen lässt.

Betriebe der Industrie und des Großgewerbes, die einen sehr hohen Verbrauch an elektrischer Energie haben, werden in der Regel direkt aus dem 110-kV-Hochspannungsnetz versorgt. Dazu sind u. a. die neuen Anschlussbedingungen Hochspannung zu beachten, die am 01.01.2015 als VDE-Anwendungsregel VDE-AR-N 4120 „Technische Bedingungen für den Anschluss und Betrieb von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz (TAB Hochspannung)“ erschienen sind. Die Anwendungsregel ist für neue Hochspannungsanlagen spätestens bis zum 01.01.2017 umzusetzen.

### 6.1.1 Transformatorenstationen

Innerhalb von Gebäuden sollten aus brandschutztechnischen Gründen Transformatoren und Schaltanlagen für Nennspannung über 1 kV in jeweils eigenen elektrischen Betriebsräumen untergebracht werden. Transformatoren mit der Kühlmittelart O (Öltransformatoren) sind gegen Nachbarräume feuerbeständig, Türen feuerhemmend, zu trennen. In Gebäuden im Geltungsbereich der EltBauV (s. Abschn. 1.2.8) gilt dies für alle Transformatoren. Angaben für Anfrage und Bestellung von Leistungstransformatoren (Drehstrom- und Einphasentransformatoren, Öl- und Trockentransformatoren) sind in VDE 0532-76-1:2012-03 Anhang A zu finden. Über die Installation und Sicherheit von Trockentransformatoren werden Angaben in VDE 0532-76-11:2005-04 gemacht. Grenzmaße für ölgefüllte Drehstrom-Verteilungstransformatoren sind VDE 0532-222-1:2007-12, Bilder 1, 2 und 5 zu entnehmen.

Für Transformatoren mit Bemessungsleistungen unter 630 kVA sollten die Abmessungen des 630-kVA-Transformators zugrunde gelegt werden, um spätere Leistungserhöhungen zu ermöglichen. Analog dazu sollten die Stationen für Transformatoren mit Bemessungsleistungen von 800 kVA bis 1 600 kVA nach den Maßen des 1 600-kVA-Transformators bemessen werden. Die lichte Höhe des Betriebsraums soll mindestens die Höhe des Transformators zuzüglich 500 mm sein.

*Zuluft- und Abluftöffnungen* führen die Verlustwärme der Transformatoren ab. Die Zuluft soll in Bodennähe zugeführt, die Abluft nach oben abgeführt werden. Natürliche Lüftung ist zu bevorzugen. Die erforderliche Abluftöffnung muss z. B. bei einem 630-kVA-Transformator etwa  $1 \text{ m}^2$  betragen, bei einem Höhenunterschied zwischen Zuluft und Abluft von 2 500 mm. Für die Zuluftöffnung gilt ein Abschlag von 10 %, im vorliegenden Fall reicht eine Öffnung von  $0,9 \text{ m}^2$ . Sind die Öffnungen

nicht nur mit einem Gitter, sondern mit Jalousien versehen, müssen sie bis um den Faktor 2 größer gewählt werden.

Transformatoren mit Isolier- bzw. Kühlflüssigkeit benötigen eine *Auffangwanne*. Bei höchstens drei Transformatoren mit weniger als jeweils 1 000 l Flüssigkeit ist als Auffangwanne ein undurchlässiger Fußboden mit entsprechend hohen Schwellen zulässig. Öldichte Auffangwannen bzw. Fußböden sind solche mit verdichtetem Beton oder einem Dichtungsputz aus Zementmörtel. Auffangwannen bzw. Sammelgruben für mehrere Transformatoren müssen nur die Flüssigkeit des größten Transformators aufnehmen können.

## 6

Weitere Hinweise über die bauliche Ausführung von Transformatorstationen konnten bisher den Arbeitsblättern J 11 und J 21 Teile 1 bis 3, herausgegeben von der Arbeitsgemeinschaft Industriebau (AGI) entnommen werden (s. Abschn. A1.6 u. A2). Die Arbeitsblätter sind zurückgezogen worden, sodass sie nur noch in Eigenverantwortung angewendet werden können und gegebenenfalls nur der fachlichen Information und als Basiswissen dienen. Die Inhalte sind zwar nicht falsch, aber nicht mehr aktuell. Die Herausgeber können leider keinen Zeitpunkt angeben, wann die AGI-Arbeitsblätter wieder auf aktuellem Stand erscheinen.

Die *Transformatoren* (Reihe VDE 0532) werden nach der Kühlmittelart eingeteilt in *Trockentransformatoren* (bisher auch gebräuchliche Bezeichnung: Gießharztransformatoren) und *flüssigkeits- oder ölgefüllte Transformatoren*. Als Kühlmittel für Trocken- oder Gießharztransformatoren dient Luft (Kurzzeichen A). Flüssigkeitsgefüllte Transformatoren werden unterteilt in solche mit Mineralöl oder synthetischer Isolierflüssigkeit mit einem Brennpunkt  $\leq 300\text{ °C}$  (Kennzeichen O) und solche mit Isolierflüssigkeit mit einem Brennpunkt  $\geq 300\text{ °C}$  (Kennzeichen K). Askarele bzw. polychlorierte Biphenyle (PCB) stehen als Kühlmittel nicht mehr zur Verfügung. Innerhalb von Gebäuden sollten aus Gründen des Brandschutzes vorzugsweise Transformatoren mit dem Kühlmittel A oder K verwendet werden. Transformatoren mit dem Kühlmittel O (Öltransformatoren) dürfen sich in Gebäuden im Geltungsbereich der EltBauV (s. Abschn. 1.2.8) nicht in Geschossen befinden, deren Fußboden mehr als 4 m unter der festgelegten Geländeoberfläche liegt. Sie dürfen auch nicht in Geschossen über dem Erdgeschoss liegen.

Ansonsten wird die Auswahl der Transformatoren durch die Anforderungen des Netzes bestimmt. Für die Festlegung der *Bemessungsleistung* ist der zu erwartende höchste Wirkleistungsbedarf maßgebend, aus dem über einen zu ermittelnden Leistungsfaktor  $\cos \varphi$  die benötigte Transformatorbemessungsleistung  $S_N$  errechnet wird. Um den Spannungsfall niedrig zu halten, ist bis zu einer Bemessungsleistung von 630 kVA eine Bemessungskurzschlussspannung von 4 % üblich. Zu bevorzugen sind Transformatoren mit den Bemessungsleistungen 100 kVA, 160 kVA, 250 kVA, 400 kVA und 630 kVA. Bei größerer Leistung empfiehlt sich mit Rücksicht auf die

sich ergebende Kurzschlussbeanspruchung eine Bemessungskurzschlussspannung von 6 %. Bevorzugt werden die Bemessungsleistungen 1 000 kVA und 1 600 kVA. In Abhängigkeit von der Schaltung der Stränge der beiden Wicklungen und deren Phasenlage zueinander werden die Transformatoren in *Schaltgruppen* eingeteilt. Die bevorzugte Schaltgruppe für Verteilertransformatoren von Orts- und Industrienetzen ist:

Dyn5 bei einer Bemessungsleistung von 250 kVA...2 500 kVA und  
Yzn5 bis zu einer Bemessungsleistung von 200 kVA.

Die Kurzzeichen bedeuten:

- D Oberspannungsseite in Dreieckschaltung,
- y Unterspannungsseite in Sternschaltung
- n herausgeführter Sternpunkt,
- 5 Phasenverschiebung  $5 \times 30^\circ = 150^\circ$  zwischen den Wicklungen,
- Y Oberspannungsseite in Sternschaltung,
- z Unterspannungsseite in Zickzackschaltung.

Zur Anpassung an die örtlichen Spannungsverhältnisse erhalten die Oberspannungswicklungen Anzapfungen, mit denen durch Umstellen oder Umklemmen die Nennspannung um z. B.  $\pm 4\%$  verändert werden kann.

Zum Schutz der Transformatoren gegen die Auswirkungen von Kurzschluss und Überlast s. Abschnitt 6.1.3.

## 6.1.2 Hochspannungsschaltanlagen

Reihe VDE 0671

Die Räume sind so zu bemessen, dass die verbleibenden Gänge vor Schaltanlagen mindestens 800 mm breit sind. Die Mindestgangbreite darf durch fest angebrachte Antriebe, Schaltwagen in Trennstellung o. dgl. nicht unterschritten werden. Vor gekapselten Anlagen genügt eine Gangbreite von 500 mm. Die Türen von Schaltzellen oder Schaltfeldern sollten grundsätzlich in der Fluchtrichtung schließen. Schaltfeldtüren müssen in Fluchtrichtung zuschlagen, wenn bei geöffneter Tür die verbleibende Gangbreite nicht mindestens 500 mm beträgt. Zugangstüren müssen grundsätzlich nach außen aufschlagen und über Sicherheitsschlösser verfügen, die als sog. Panikschlösser ausgeführt sind, d. h., die Türen müssen sich auch im abgeschlossenen Zustand von innen öffnen lassen. Fenster sind z. B. zu vergittern, um einen Einstieg zu erschweren. Nach der EltBauVO (s. Abschn. 1.2.8) dürfen in

elektrischen Betriebsräumen nur Leitungen und Einrichtungen vorhanden sein, die zum Betrieb der jeweiligen elektrischen Anlagen erforderlich sind. Rohrleitungen und andere Einrichtungen dürfen nach VDE 0101-1 die elektrische Anlage auch im Schadensfall nicht gefährden. Ausführliche Anforderungen an SF<sub>6</sub>-isolierte elektrische Anlagen und an Räume mit diesen Anlagen können VDE 0101-1:2014-12 Abschnitt 8.8 entnommen werden. Empfehlungen für den Gebrauch und den Umgang mit SF<sub>6</sub>-Gas sind in der separaten Norm VDE 0671-4:2014-06 enthalten.

Für die bauliche Ausführung von Übergabe- und Unterstationen konnte bisher das Arbeitsblatt J 12, herausgegeben von der Arbeitsgemeinschaft Industriebau (AGI), herangezogen werden, das weitere wertvolle Hinweise enthalten hat (Bezugsquelle, s. Abschn. A1.6 u. A2). Dieses Arbeitsblatt, wie auch weitere Arbeitsblätter für elektrotechnische Anlagen, sind fast alle von der AGI zurückgezogen worden, sodass sie nur noch in Eigenverantwortung angewendet werden können (s. o.).

Als Schaltanlagen werden heute fast ausschließlich *gekapselte, typgeprüfte Anlagen* nach VDE 0671-200 bis -202 eingesetzt (metallgekapselte Schaltanlagen ≤ 52 kV (Teil 200), isolierstoffgekapselte Schaltanlagen ≤ 52 kV (Teil 201), fabrikfertige Schaltanlagen für Hochspannung/Niederspannung (Teil 202)). Für die Hochspannungs- und Niederspannungsschaltanlagen empfehlen sich getrennte Räume. Oft fordern NBs eine räumliche Trennung der Einspeisefelder von den übrigen Anlagen durch separate Zugänge. Für Hilfsanlagen, wie Batterien, Druckluft, sind geeignete Räume vorzusehen.

Für die vielfältigen Aufgaben der Schaltanlagen stehen verschiedene typgeprüfte und fabrikfertige Systeme zur Verfügung. Sie unterscheiden sich im Geräteeinbau, in der Isolierung und der Art der Umhüllung. Schaltanlagen mit fest eingebauten Geräten bestehen aus mehreren aneinander gebauten Schaltfeldern, in die alle für eine Schaltanlage erforderlichen Betriebsmittel fest eingebaut sind. Im Gegensatz dazu tragen bei Schaltanlagen mit herausziehbaren Geräten die Leistungsschalter oder Lastschalter Einfahrkontakte, durch deren Lösen eine Trennstrecke hergestellt wird.

Anlagen für kleinere Installationsnetze werden mit Einfachsammelschiene aufgebaut. Umfangreiche Schaltanlagen können mit Doppelsammelschiene ausgerüstet werden. Dies bringt Vorteile in der Versorgungssicherheit, z. B. in Verbindung mit einer Eigenenerzeugung, Lastabwurfschaltung, Trennung kritischer Verbraucher und dgl. Für den Sammelschienenwechsel ohne Unterbrechung der Energieversorgung ist dann eine Querkupplung erforderlich.

### 6.1.3 Schutz bei Kurzschluss und Überlast. Selektivität

Kurzschlussströme sind i. Allg. durch Überstromschutzeinrichtungen so zu begrenzen, dass alle Anlagenteile den thermischen und dynamischen Beanspruchungen standhalten. Kabel und isolierte Leitungen, die nicht im Erdreich verlegt sind, müssen zudem einen Schutz gegen zu hohe Erwärmung erhalten, wenn mit einer Überlastung gerechnet werden muss. Transformatoren mit der Kühlmittelart K oder A, die in Gebäuden außerhalb von separaten feuersicheren Räumen untergebracht sind, sind mit schnell wirkenden Schutzeinrichtungen zu schützen, die das Abschalten im Fehlerfall bewirken.

#### Transformatorabzweige

Transformatorabzweige werden im Regelfall durch *Hochspannungs-Hochleistungs-(HH-)Sicherungen* in Verbindung mit Lasttrennschaltern oder durch *Leistungsschalter* gegen die Auswirkungen eines Kurzschlusses geschützt. Leistungsschalter wird man bei Transformator-Bemessungsleistungen ab 800 kVA und bei häufigem Schalten den Vorzug geben. Auch die Selektivitätsverhältnisse können Leistungsschalter erfordern. Für die Dimensionierung der HH-Sicherung gilt: Der kleinstzulässige Bemessungsstrom der HH-Sicherungen wird durch die Rush-Ströme beim Einschalten des Transformators bestimmt. Er liegt beim etwa 2-fachen des Transformator-Bemessungsstroms. Der größtzulässige Bemessungsstrom der HH-Sicherungen hängt von der Höhe der Kurzschlussströme bei einem Kurzschluss unmittelbar vor den dem Transformator nachgeordneten Überstromschutzeinrichtungen ab. In der Regel liegt der größtzulässige Bemessungsstrom der HH-Sicherung beim etwa 5-fachen des Transformator-Bemessungsstroms. Zwischen den genannten Grenzwerten kann der Sicherungseinsatz nach der Selektivität ausgewählt werden. Bei den Leistungsschaltern als Schutz gegen die Auswirkung von Kurzschlussströmen ist zu unterscheiden zwischen solchen mit Primärauslösern und solchen mit Sekundärauslösern.

Den einfachsten Schutz bilden *Primärauslöser*, die direkt am Leistungsschalter angebaut sind und vom Kurzschlussstrom durchflossen werden. Mit Primärauslösern lassen sich Stichleitungen und Transformatoren gegen die Auswirkungen von Kurzschluss und Überlast schützen. Primärauslöser werden in der Regel nur für Leistungsschalter bis 630 A Bemessungsstrom angeboten. Ihre Kurzschlussfestigkeit ist zudem eingeschränkt, sodass sie nur begrenzt Anwendung finden.

*Sekundärauslöser* verstärken die ihnen elektrisch oder mechanisch zugeführten Auslöseimpulse und geben diese an die Aus-Verklüftung weiter, die das Ausschalten des Schalters bewirkt. In Verbindung mit Schutzrelais, die an Stromwandler angeschlossen werden, können alle Schutzaufgaben, unabhängig von der Höhe

der Kurzschlussströme und der Bemessungsbetriebsströme der erforderlichen Leistungsschalter, erfüllt werden.

Mit derartig ausgestatteten Leistungsschaltern lässt sich dann auch leicht die Selektivität zu nachgeschalteten NH-Sicherungen bzw. Leistungsschaltern auf der Niederspannungsseite herstellen. Bei Fehlern auf der Niederspannungsseite, die aufgrund der Transformatorimpedanz zu eng begrenzten Kurzschlussströmen auf der Hochspannungsseite führen, spricht der Hochspannungs-Leistungsschalter erst mit einer Verzögerung von z. B. 0,5 s an. Die dem Transformator nachgeordnete Schutzeinrichtung muss dagegen schneller reagieren. Kurzschlüsse auf der Hochspannungsseite führen zu höheren Fehlerströmen, die dann unverzüglich abgeschaltet werden, um die Anlagenkomponenten thermisch geringer zu belasten. Der Überlastschutz kann bei Transformatoren erfolgen:

- spannungsseitig durch auf den Bemessungsstrom des Transformators abgestimmte NH-Sicherungseinsätze oder durch thermisch verzögerte Überstromauslöser,
- durch eine in den Transformator eingebaute Temperaturüberwachung, die zur Meldung bzw. selbsttätigen Auslösung eines Schalters bei Erreichen der zulässigen Grenztemperatur führt.

Flüssigkeitstransformatoren mit einer Bemessungsleistung ab 250 kVA werden zudem meist mit einem *Buchholzrelais* ausgestattet, welches bei Störungen und Schäden, wie Gasentwicklung oder Flüssigkeitsverlust, Meldung gibt.

### **Kabel und Leitungen**

In Reihe geschaltete Hochspannungs-Leistungsschalter entlang einer Stickleitung gewährleisten die Selektivität durch gestaffelte Kommandozeiten ihrer Überstromzeitschutzeinrichtungen.

Bei Paralleleinspeisung und zum Schutz von Ringleitungen eignet sich besonders der *Leitungs-Differenzialschutz*. Jeder Streckenabschnitt muss dabei beidseitig mit Leistungsschaltern und Stromwandlern versehen werden. Der Leitungs-Differenzialschutz ist ein Stromvergleichsschutz mit außerordentlich kurzen Kommandozeiten (10...20 ms), der bei einem Fehler in einem Streckenabschnitt diesen selektiv aus der Ringleitung herausschaltet.