Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 73 (1982)

Heft: 24

Artikel: Kabelherstellung, Zubehör und Installationstechnik

Autor: Schmidt, B.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905047

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

5. Schlussgedanken

Betrachtet man die elektrischen Hochspannungskabel vom Standpunkt der Stromleitungs-, der Spannungshaltung bzw. der Schutzfunktion aus, so ergeben sich interessante Kriterien für die Klassierung. Hinweise auf Vorgänge im Dielektrikum, die vom physikalischen Standpunkt aus nicht ideal sind, dürfen nicht als Wertung des einen oder andern Kabeltyps verstanden werden.

Die Forderung nach Wirtschaftlichkeit ist immer auch eine Forderung nach einem optimalen Kompromiss. Ein Kompromiss ist aber nur dann echt, wenn genau klar ist, auf was verzichtet werden muss und was dafür eingehandelt wird.

Adresse des Autors
B. Capol, Im Moos 8, 5200 Windisch.

Kabelherstellung, Zubehör und Installationstechnik

Von B. Schmidt

Die physikalischen Grundlagen der Kabeltechnik, die die Herstellungsverfahren und die Qualitätskontrollen bestimmen, werden beschrieben.

L'article suivant présente les bases physiques de la technique des câbles, bases qui déterminent le procédé de production et les contrôles de qualité.

1. Einleitung

Die Fabrikation wird definiert als Gesamtheit von Methoden, Verfahren und Vorsichtsmassnahmen, die für die industrielle Herstellung eines den gestellten Anforderungen gerecht werdenden Produktes angewendet werden. Ausserdem gibt eine ständige Überwachung des Ablaufs der Herstellungsprozesse erst die Sicherheit, dass das Produkt die verlangten Qualitäten aufweist.

Das elektrische Kabel unterscheidet sich in einigen Punkten wesentlich von anderen Teilen einer elektrischen Anlage, erstens durch seine Abmessungen (sehr grosse Länge bei bescheidenem Durchmesser), was sich auf die Herstellungsverfahren auswirkt, im weiteren dadurch, dass das fertige Produkt durch die Verlegung und die Montage zusätzlichen mechanischen Beanspruchungen wie Biegung und Zug ausgesetzt wird, die bei Nichtbeachtung gewisser Vorsichtsmassnahmen dessen Qualität stark beeinträchtigen können. Nachfolgend werden einige wichtige Fabrikationsgänge begründet und die erforderlichen Vorsichtsmassnahmen aufgezeigt.

2. Leiter

Der Leiter eines Hochspannungskabels unterscheidet sich in zwei Kriterien vom Leiter eines anderen Energiekabels: Erstens in der angewendeten Sorgfalt der Sauberkeit, dass keine Fremdkörper eingeschlossen werden, und zweitens in der fehlerfrei glatten Oberfläche, dass in der Berührungsfläche zwischen Leiter und Halbleiter keinerlei Unregelmässigkeit auftritt. Durch das Glätten der Oberfläche erreicht man eine gewisse Erhöhung des Füllfaktors des Leiterseils. Der Füllfaktor ist das Verhältnis zwischen dem effektiven Kupferquerschnitt und dem Querschnitt des den Leiter umhüllenden Zylinders; er kann Werte bis 0,85 erreichen.

3. Isolation der Ölkabel

Die Sorgfalt beginnt bereits bei der Auswahl und der Kontrolle der vom Hersteller gelieferten Ware. Bei der Auswahl und der bestmöglichen Anordnung der verschiedenen Papierqualitäten bleibt es dem Kabelhersteller überlassen, durch gründliche Untersuchung aller Einflussfaktoren den besten Kompromiss unter den sich teilweise zuwiderlaufenden Eigenschaften der Isolationspapiere zu finden und anzuwenden (Fig. 1). Dasselbe gilt für die Anordnung der Papiere, das heisst die Bestimmung der Abstände zwischen

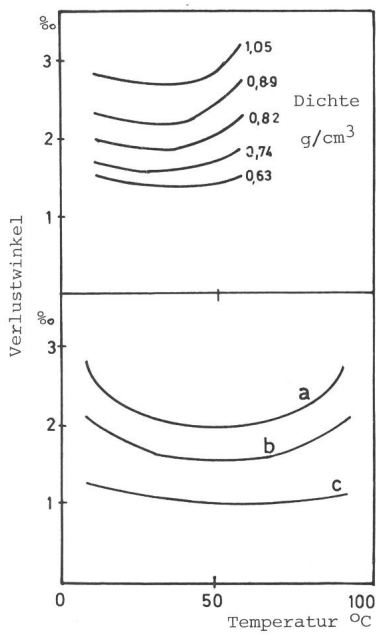

Fig. 1 Verlustwinkel des imprägnierten Papiers
a) feucht
b) trocken
c) sehr trocken

den einzelnen Windungen, was die beschädigungsfreie Biegemöglichkeit des Kabels beeinflusst, sowie auch für den Trocknungsprozess, der bei Temperaturen von ungefähr 120 °C unter Vakuum mehrere Tage in Anspruch nimmt. Auch das Öl, mit dem das Kabel nach dem Trocknen gefüllt wird, muss für den vorgesehenen Zweck vorbereitet werden. Die beim Entgasen und beim Trocknen angewendeten Temperaturen sollen so gewählt werden, dass sie die Vorgänge begünstigen, ohne die Eigenschaften des Öls zu beeinträchtigen. Selbstverständlich ist der Verlauf aller dieser Operationen zu überwachen; geeignete Methoden stehen zur Verfügung.

4. Extrudierte Isolationen

Hierzu gehören das thermoplastische Polyäthylen (PE), das vernetzte Polyäthylen (XLPE) und der Äthylen-Propylen-Kautschuk (EPR). Alle drei Materialien werden bei der Anlieferung auf die Bestellungskonformität untersucht. Beim PE, das ein einheitlicher Werkstoff ist, wird lediglich die Viskosität bei der Schmelztemperatur gemessen. Beim XLPE wird der erwartete Anteil des Vernetzungsmittels bestimmt.

Vermehrte Sorgfalt erheischt die Kontrolle des EPR, das ein Gemisch von mehreren Bestandteilen ist, mit vielen Möglichkeiten von Dosierfehlern. Die Viskosität in Abhängigkeit von der Temperatur, die Vernetzungszeit, die Dielektrizitätskonstante, der Verlustwinkel und der Isolationswiderstand sind charakteristische Eigenschaften, deren Überwachung erlaubt, ein Endprodukt von gewünschter Qualität herzustellen. Für die Halbleiter, die zwischen den Leiter und die Isolation sowie zwischen die Isolation und die Abschirmung eingebaut werden, existieren ähnliche Überwachungsprozeduren; hinzu kommt aber noch die Messung des spezifischen Widerstandes.

5. Extrusion

Die Verarbeitung der Materialien für die Isolation und jene für die Halbleiter erfolgt mit Hilfe von Schneckenpressen (Extrudern), wobei jedes Material an mehreren Orten im Durchlauf durch die Maschine charakteristische Eigenschaften aufweisen muss. Zur Überwachung und Steuerung der Entwicklung dieser Eigenschaften konnten auf Grund sehr eingehender Studien über die Vorgänge geeignete Methoden und Einrichtungen erarbeitet werden. Um der Forderung nach fremdkörperfreien Isolations- und Halbleiterschichten nachzukommen, sind zwischen dem Ende der Schneckenwelle, die das Material durch die Aufheiz- und die Plastifizierungszone treibt und dabei durchknetet, und dem eigentlichen Extruderkopf sehr feinmaschige Filter eingebaut. Auf Maschinen moderner Konzeption können heute zwei oder gar drei verschiedene Materialien konzentrisch übereinander aufgebracht werden (etwa innerer Halbleiter, Isolation und äusserer Halbleiter). Wegen dem den Polymeren eigenen grossen Schwindmass muss das Abkühlen des aus dem Extruderkopf austretenden Kabels mit einer im voraus bestimmten Geschwindigkeit erfolgen, um innere Spannungen und die Bildung von Hohlräumen zu vermeiden.

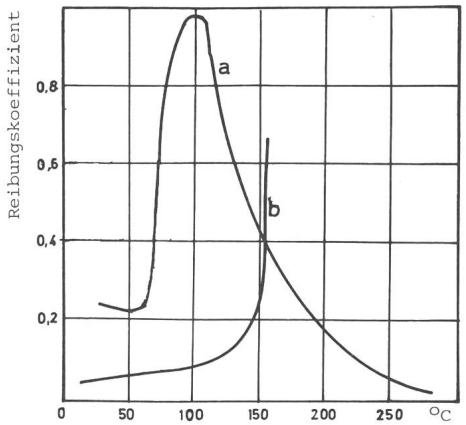

Fig. 2 Reibungskoeffizient zwischen Kunststoff und Stahl
a) Polyäthylen
b) PVC

6. Vernetzung

Für Kabel mit Isolations- und Halbleitermaterialien aus XLPE und EPR wird zwischen dem Extrudieren und dem Abkühlen der Vorgang der Vernetzung (auch Vulkanisation genannt) angeordnet (Fig. 3). Für Hochspannungskabel ist die chemische Vernetzung praktisch die einzig angewendete Methode. Bei dieser Methode wird dem Granulat vom Hersteller bereits das Vernetzungsmittel beigemengt.

Bei einer Temperatur, die etwas über der Extrudiertemperatur liegen muss, bewirkt dieses Mittel eine Vernetzung der Molekülketten. Damit unter der Einwirkung der Vernetzungstemperatur keine freiwerdenden Gase das Material schwammartig aufblähen können, erfolgt die Vernetzung unter Druck. Die Dicke der Isolation mit ihrer beschränkten Wärmeleitfähigkeit bestimmt die Zeit des Verbleibens im Wärme- und Druckraum. Sowohl beim Vernetzungsprozess als auch bei der direkt daran anschliessenden Abkühlphase erlaubt nur genaue Kenntnis aller Parameter das Aufstellen eines Zeitplans, der wiederum Voraussetzung für die Herstellung eines qualitativ einwandfreien Produktes ist.

In der Praxis wird als Vernetzungsraum meist ein nach der Kettenlinie gebogenes Rohr benützt, das vom Kabel auf der Gefällstrecke frei hängend durchlaufen wird, wobei das

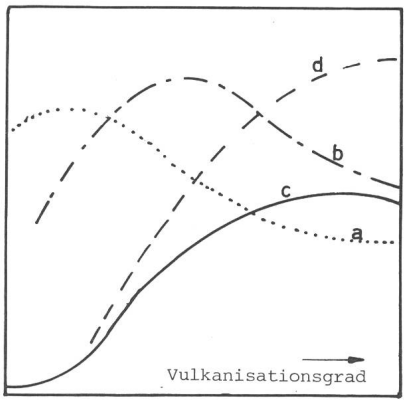

Fig. 3 Einfluss des Vulkanisationsgrades von vernetztem Polyäthylen auf seine mechanischen Eigenschaften
a) Dehnung
b) Einreissfestigkeit
c) Zugfestigkeit
d) Formbeständigkeit

obere Ende des Rohres an den letzten Extruderkopf angeschlossen ist. Nach Beendigung des Herstellungsprozesses wird mittels visueller Kontrollen, Musterentnahmen und Prüfungen untersucht, ob das eben fertiggewordene Kabel auch wirklich die gewünschten qualitativen Eigenschaften aufweist. Mit Hilfe der Messung der Teilentladung kann auch der für das Verhalten des Kabels im Betrieb sehr wichtige Zustand der Berührungsflächen zwischen der Isolation und dem Halbleiter gut überprüft werden. Ebenfalls mit der Teilentladungsmessung können allfällig in der Isolation eingeschlossene Hohlräume festgestellt werden. Bei der Fabrikationskontrolle von Kabeln mit extrudierter Isolation spielt dieses sehr empfindliche Messsystem eine wichtige Rolle, während bei Ölkabeln die Verlustwinkelmessung aussagekräftig ist. Jede Methode ist spezifisch für einen Kabeltyp und wertlos für den anderen. Daraus geht hervor, dass die Wahl der Schlussprüfung in erster Linie vom Kabeltyp bestimmt wird.

Für ein Ölkabel ist die absolute Dichtheit des Mantels lebenswichtig. Diese Dichtheit wird mit einer unter kontrolliertem Druck gehaltenen Ölreserve dauernd überwacht. Diese Einrichtung erlaubt eine Nachspeisung bei geringen Verlusten, wobei der Druckabfall signalisiert wird. Eine derartige dauernde Überwachung gibt es bei Kabeln mit extrudierter Isolation nicht. Das fertige Kabel mit extrudierter Isolation muss deshalb mit ganz besonderer Sorgfalt auf etwa vorhandene, selbst versteckte, Fabrikationsfehler untersucht werden.

Trotz aller Kontrollen der Werkstoffe und der Fabrikationsphasen und trotz der vom Rohstofflieferanten angewandten und während der Verarbeitung weiter beobachteten Sorgfalt in bezug auf Sauberkeit bleibt doch eine, wenn auch geringe Möglichkeit, dass ein isolierender oder leitender Fremdkörper in der Isolation eingeschlossen wird (ein längs durch die Filtermaschen geschlüpftes Haar oder ein aus dem Inneren des Extruderkopfes stammendes Metallteilchen). Hier bietet die Prüfung, mit Wechselspannung von einem wesentlich höheren Wert als der vorgesehenen Betriebsspannung, eine zusätzliche Garantie.

7. Metallmäntel

Der klassische Bleimantel für Ölkabel wird mit der kontinuierlichen Bleipresse auf das Kabel aufgebracht. Diese Presse arbeitet wie eine Extrudermaschine, wobei allerdings das Material in flüssigem Zustand (bei einer Temperatur von 350–400 °C je nach Legierung) vom Schmelzofen her der Schnecke zufliesst und dann auf etwa 220–240 °C zu einer zähflüssigen Masse abgekühlt wird. Der Schneckenzylinder wird zum Erleichtern des Materialvorschubes mit Rinnen versehen.

Um das einwandfreie Ineinanderfliessen des Bleis im Kopf der Presse zu einem homogenen Mantel zu ermöglichen, wird das Blei hier auf 280 °C aufgeheizt. Nach dem Austritt des Kabels aus der Presse wird der Bleimantel brüsk abgekühlt, wodurch die Vergrösserung der kleinen Kristalle unterbunden werden kann. Bei richtiger Einstellung der verschiedenen Temperaturen erhält man ein den gestellten Anforderungen gerecht werdendes Produkt, dessen Regelmässigkeit sowie die Grösse der Kristalle durch Probenentnahme überwacht werden. Die Sauberkeit des zu verarbeitenden Materials ist hier dadurch gewährleistet, dass allfällig vorhandene Unreinheiten im Bleibad obenauf schwimmen und leicht vom Eintritt in die Presse ferngehalten werden können.

Bei der Herstellung von längsgeschweissten Wellmänteln aus Kupfer, Aluminium oder Stahl sind bedeutend strengere Anforderungen zu beachten. Ein sorgfältig gereinigtes Metallband erhält, kurz bevor es zum Rohr geformt und verschweisst wird, durch Wegschneiden der beidseitigen Ränder die genaue, erforderliche Breite, was gleichzeitig zwei einwandfrei saubere Schnittkanten gewährleistet. Das Band wird um das Kabel herum zum Rohr geformt (mit vergrössertem Durchmesser) und anschliessend ohne Zusatzwerkstoff unter Schutzgas (Helium und Argon) elektrisch verschweisst. Ein System von Zangen befördert das Kabel zum Wellkopf, der mit den Wellen den Mantel wieder mit dem darin liegenden Kabel in Berührung bringt.

Erfahrungsgemäss ist eine gute Schweissung solider als das umgebende Grundmaterial. Neben den üblichen metallographischen Kontrollen wird durch einen Innendruckversuch mit Pressluft festgestellt, dass keine auf einen Schweissfehler zurückzuführende Poren vorhanden sind.

8. Verlegung und Montage

Die zulässigen Beanspruchungen bezüglich Zugkräfte, Krümmungsradien und Temperatur sind bekannt und richten sich nach der Bauart des Kabels und der Armierung. Etwas komplizierter wird die Bestimmung und Beherrschung der Beanspruchungen und Bewegungen des Kabels, die durch die vielen betriebsbedingten Aufheiz- und Abkühlzyklen hervorgerufen werden.

Theoretisch verlängert sich ein Kupferleiter von 1000 m bei einer Temperaturerhöhung von 60 °C um einen Meter. Temperaturschwankungen von 60 °C und mehr sind durchaus möglich, und Kabel sind oft mehrere Kilometer lang. Das Problem wird dadurch noch etwas komplizierter, weil der Ausdehnungskoeffizient der Isoliermaterialien bedeutend grösser ist als jener der Leitermetalle. In der Praxis werden die temperaturbedingten Längeänderungen der Kabel teilweise durch die Kurven des Trassees und teilweise auch durch natürliche oder beabsichtigte Verankerungen aufgefangen, wobei eine leicht kurvenreiche Verlegung in Erde als fast ideal angesehen werden kann.

Enge Rohre, in die die Kabel eingezogen werden, bewirken, dass die ganze Ausdehnung auf das untere Ende übertragen wird. Ist eine solche Verlegung nicht zu umgehen, so muss das Kabel an geeigneten Stellen gut verankert werden. Das Kabel hat die Neigung, nach dem tiefer gelegenen Ende zu kriechen, und Dilatationskräfte können, je nach Steifigkeit des Kabels, bedeutende Werte annehmen. Kann das Kabel wellenförmig an einer Mauer aufgehängt werden, so können diese Kräfte unschädlich gemacht werden. Die dilatationsbedingten Änderungen des Durchhanges können berechnet und damit bei guter Kenntnis der Biegsamkeit des Kabels der optimale Abstand der Aufhängepunkte bestimmt werden.

Ebenso wichtig wie die Beachtung der Längsdehnung ist jene der radialen Dehnung, bei der die Berechnung durch gegenseitige Beeinflussung der Bauelemente des Kabels erschwert wird. Ein Teil der radialen Ausdehnung kann von

der Isolationsschicht infolge ihrer Elastizität aufgenommen werden. Die Temperaturen in den einzelnen Schichten hängen nicht nur von der Leitertemperatur, sondern auch von den Abkühlungsverhältnissen, die auf der ganzen Kabellänge stark ändern können, ab. Bei normalen Betriebsverhältnissen kann der Durchmesser bei einer 110-kV-XLPE-Isolation ungefähr 1,5 mm ändern, bei einem analogen EPR-Kabel um 30–40% weniger. Allfällig verwendete Befestigungsbriden müssen je nach der Bauart des Kabels mehr oder weniger elastisch sein, um das Kabel nicht einzuschnüren, aber auch um ein Wegkriechen des äusseren Mantels unter dem Radialdruck zu vermeiden. Dadurch kann es unter Umständen erforderlich werden, dass mehr Briden mit weniger Radialdruck oder grössere Briden verwendet werden. Briden am Anfang und am Ende einer Richtungsänderung im Kabelverlauf sollten dilatationsbedingte Richtungsänderungen des Kabels aufnehmen können, was bei elastischen Briden im allgemeinen der Fall ist.

9. Muffen

Ein Kabel ist ein industriell hergestelltes Produkt. Bei einer Muffe handelt es sich um ein handwerklich angefertigtes Kabel, dessen Qualität von der Geschicklichkeit der ausführenden Person und von der aufgewendeten Sorgfalt abhängt.

Bei einem Ölkabel werden vorerst die miteinander verlöteten Leiter mit Schmirgeltuch geglättet, dass keine Unregelmässigkeiten der Oberfläche bestehen bleiben. Von Hand werden nun Papierbänder aufgewickelt, die zum Schutz gegen Feuchtigkeit mit einem gleichzeitig als Gleitmittel dienenden dickflüssigen Öl imprägniert sind, das sich mit dem Öl des Kabels verträgt. Diese Arbeit ist, um die Feuchtigkeitsaufnahme möglichst gering zu halten, in möglichst trockener Luft auszuführen. Zur Kontrolle, ob die Wickelpapiere Feuchtigkeit enthalten, wird ein Musterstück entweder in kochendes Öl getaucht oder angezündet. Entsteht dabei Schaum, so enthält das Papier Feuchtigkeit. Der fertigen Muffe muss die während der Montage aufgenommene Feuchtigkeit entzogen werden. Bei einem Ölkabel für 130 kV zum Beispiel wird die Muffe während fünf Stunden auf 70 °C erwärmt und anschliessend bei gleicher Temperatur während fünf Stunden unter einem Vakuum von 0,1 mm Hg gehalten. Nachher wird die Muffe mit Öl, das auf dem Platze sorgfältig in einem hiezu gebauten Aggregat entgast und getrocknet wurde, gefüllt.

Muffen für kunststoffisolierte Kabel werden auf ähnliche Weise hergestellt. Die Wickelbänder bestehen hier aus einem sehr wenig hygroskopischen, oft aber selbstvulkanisierenden Material, das keiner nachfolgenden Trocknung bedarf, das aber beim Wickeln bedeutende Zugkräfte aushalten muss, damit keine Luftblasen eingeschlossen werden. Bei der Berechnung einer solchen Muffe ist dem Umstand Rechnung zu tragen, dass für die Isolation ein Material verwendet wird, das vom Isolationsmaterial des Kabels verschieden ist und auch eine andere Dielektrizitätskonstante aufweist. Bei den Muffen sowohl für kunststoffisolierte Kabel als auch für Ölkabel werden der innere und äussere Halbleiter wie die Isolation von Hand hergestellt.

Es besteht auch die Möglichkeit, die Isolationsschicht in der Muffe mit Bändern aus dem gleichen Material wie die Kabelisolation zu wickeln. Durch nachträgliche Anwendung derselben Drücke und Temperaturen wie bei der Kabelfabrikation können das PE geschmolzen, der EPR und das XLPE vernetzt werden, wodurch eine gleichartige Isolation wie diejenige des Kabels entsteht, mit der sie in der Berührungsfläche verschweisst ist, was sich auf die Feldverteilung günstig auswirkt. Die Probleme der möglichst genauen Nachahmung und der Überwachung des Ablaufs des Schmelz- bzw. Vernetzungsvorganges, die zur Vermeidung interner Spannungen oder schlechter Vernetzung notwendig ist, können mit Hilfe von Überwachungsgeräten gemeistert werden.

10. Endverschlüsse

Über die ganze Länge des Kabels, die Muffen eingeschlossen, ist das Feld zwischen den beiden konzentrisch angeordneten Elektroden, Leiter und Metallmantel eindeutig bestimmt und sehr regelmässig. Am Ende des Kabels, wo nur der Metallmantel aufhört, nicht aber der Leiter, muss dafür gesorgt werden, dass der maximale Gradient selbst bei Überspannung oder bei einer Stosswelle von hohem Niveau in annehmbaren Grenzen bleibt. Bei Kabeln sehr hoher Spannung werden zweierlei Techniken angewandt.

Bei der einen gibt man dem Metallmantel am Ende eine Form, die den Gradienten auf dem gewünschten Wert hält; man erhält dabei einen Deflektor von charakteristischer und bekannter Form, deren genaue Berechnung relativ kompliziert ist. Im Raum zwischen Leiter und Deflektor befinden sich im allgemeinen mehrere Volumina mit voneinander abweichenden Dielektrizitätskonstanten und bisweilen sehr verschiedenen Durchschlagsfestigkeiten in Längs- und in radialer Richtung. Dies trifft im besonderen für Ölkabel zu, bei denen der Deflektor in Funktion des Tangentialgradienten gegeben ist, während bei den anderen Kabeln der Gradient senkrecht zur Elektrode massgebend ist. Dabei muss auch die Feldverteilung über die ganze Länge des äusseren Isolators überprüft werden, um Überschläge unterhalb der festgelegten Werte zu vermeiden.

Derartige Berechnungen ergeben bei Kabeln sehr hoher Spannung oft Deflektoren mit sehr grossen Durchmessern, was besonders bei Endverschlüssen mit Porzellanisolatoren, die dem Öldruck standhalten müssen, zu schweren und teuren Einheiten von übermässigen Abmessungen führt. Die Verwendung von konzentrischen Elektroden erlaubt eine der verlangten elektrischen Festigkeit des Endverschlusses entsprechende kapazitive Verteilung des Feldes. Die Endverschlüsse werden dadurch wohl etwas länger, ihr Durchmesser dagegen bedeutend kleiner.

Bei den Ölkabeln werden sowohl Deflektoren als auch Kondensatorelemente als aus Papier vorfabrizierte, zylindrische Bauelemente während der Montage auf die Kabelisolation aufgeschoben. Diese Teile sind bereits getrocknet und mit dickflüssigem Öl imprägniert, das beim Aufschieben auf die Isolation als Schmiermittel wirkt. Die Vorfabrikation erlaubt eine präzisere Herstellung dieser Teile und ergibt auch eine kürzere Montagezeit mit nur sehr geringer Feuchtigkeitsaufnahme, was wiederum den Trocknungsprozess des fertigen Endverschlusses durch Wegfall des Aufheizens vereinfacht. So genügt es, den Endverschluss

eines 130-kV-Ölkabels während 12 Stunden unter einem Vakuum von 0,1 mm Hg zu halten, bevor er mit einwandfrei entgastem Öl gefüllt wird.

Bei Kunststoffkabeln wird der Deflektor nicht mehr analog der Muffe gewickelt. Im allgemeinen bevorzugt man aus Silikonharz oder EPR-Mischungen vorfabrizierte Teile, die rasch auf die Kabelisolation aufgeschoben werden können. Die Elastizität der Materialien bewirkt, dass zwischen der Isolation und dem aufgeschobenen Teil kein Hohlraum bleibt.

Der klassische Endverschluss wird an seiner Basis befestigt und so zu einem Fixpunkt. Es ist darauf zu achten, dass vom abgehenden Stromleiter, selbst im Falle eines Kurzschlusses keine unzulässigen Kräfte auf den Körper des Endverschlusses ausgeübt werden. Unterhalb des Endverschlusses ist das Kabel so zu befestigen, dass auch hier keine schädlichen, durch thermische Dilatation hervorgerufene Kräfte auf die Verbindungsstelle Kabel-Endverschluss auftreten. Dagegen können leichte, ganz aus Kunststoff bestehende Endverschlüsse, einschliesslich Isolator, mechanisch als Teil des Kabels angesehen werden und müssen nicht besonders befestigt werden. Dadurch wird der ganze Übergang vom Kabel auf den abgehenden Stromleiter biegsam.

11. Prüfung nach Verlegung und Montage

Weil das Kabel die Prüfungen in der Fabrik bestanden hat, muss es nach Abschluss der Installationsarbeiten (Verlegung und Montage) nur auf beschädigungsfreie Behandlung und auf fachgerechte Ausführung der Muffen und Endverschlüsse geprüft werden. Da meistens Prüfgeräte für eine Wechselspannungsprüfung mit der grossen benötigten Blindleistung nicht zur Verfügung stehen, wird mit hoher Gleichspannung geprüft. Dabei ist zu beachten, dass das elektrische Feld bei der Wechselspannungsprüfung in Funktion der Teilkapazitäten, bei der Gleichspannungsprüfung dagegen in Funktion der Isolationswiderstände verteilt wird.

Je nach Material und Gestaltung können sich hier besonders in den Zubehören bedeutende Unterschiede ergeben. Während den ersten Minuten einer Gleichspannungsprüfung ist die Feldverteilung wegen Übergangserscheinungen der örtlichen Ladungen praktisch kapazitiv wie bei der Wechselspannungsprüfung.

Es gibt somit keine zahlenmässig erfassbare Beziehung zwischen den Spannungswerten der Gleichspannungs- und der Wechselspannungsprüfung mit gleicher Wirkung. Die meisten Normen geben für die Gleichspannungsprüfung das Dreieinhalb- bis Vierfache der Betriebsspannung an. Dieser auf der Erfahrung beruhende Wert vermeidet einerseits Beschädigungen, die durch eine schlechte Feldverteilung hervorgerufen werden könnten, erlaubt es aber andererseits nur, grobe Montagefehler oder bedeutende Beschädigungen anlässlich der Kabelverlegung zu entdecken. In der Tat sind die ersten Tage des normalen Betriebes mit Wechselspannung als beste Prüfung zu werten.

Adresse des Autors
B. Schmidt, Câbleries et Tréfileries de Cossonay SA, 1305 Cossonay-Gare.

Kabel und Freileitung im System

Von A. Meier

Die steigenden Netzbelastungen bedingen grössere Kabelquerschnitte. Dreileiterkabel verschwinden mehr und mehr auf der Spannungsebene von 60 kV. Die Ölkabel müssen, teilweise aus Gewässerschutzgründen, den Kunststoffkabeln weichen. Auch die Verlegeart geht neue Wege, die ehemals klassische Erdverlegung muss der Rohrblockanlage weichen. Damit verbunden sind aber verschiedene Probleme, wie: Dilatation, Wandern der Kabel und damit auch die Fixierung der Kabel in ihrer Lage. Zudem treten auch bei Kabeln Störungen auf, was die Entwicklung neuer Kabelfehlerortungsgeräte bedingt.

Les charges des réseaux sans cesse croissantes exigent des sections de câbles toujours plus grandes. Des câbles à trois conducteurs disparaissent peu à peu sur le niveau de tension 60 kV. Pour des raisons concernant partiellement la protection des eaux, les câbles à huile doivent céder la place aux câbles en matière synthétique. Le type d'installation a également changé et l'installation souterraine classique doit céder la place au système de tuyaux en bloc. Ceci entraîne néanmoins divers problèmes, à savoir la dilatation, le déplacement des câbles, donc leur fixation dans la position requise. Les câbles sont en outre sujets à des perturbations, ce qui exige le développement de nouveaux détecteurs de perturbations pour câble.

1. Elektrotechnische Aspekte und betriebliches Verhalten

Bei der Freileitung besteht die Isolation weitgehend aus Luft, und nur an wenigen Stellen, an den Masten, muss eine eigentliche Isolation angebracht werden. Bei den Kabeln dagegen ist auf der gesamten Länge eine hochwertige Isolation erforderlich. Diese Isolation der Kabel stellt aber nicht nur eine elektrische Isolation dar, sondern ist gleichzeitig eine Wärmeisolation, was sich besonders auf die Übertragungsfähigkeit auswirkt.

Dies sei am folgenden Beispiel erläutert:

Eine 110-kV-Freileitung mit einem $3 \times 1 \times 400$ mm² Aldrey-Seil, weist eine thermische Dauergrenzbelastung von etwa 1000 A auf. Für die gleiche Belastung wären zwei mal drei parallele Kabel von 2 ($3 \times 1 \times 500$ mm²) Cu notwendig. Zieht man noch in Betracht, dass Kupfer einen etwa 1,8mal höheren Leitwert hat als Aldrey, so ergibt sich ein Querschnittsverhältnis von etwa 1:4. Aus wirtschaftlichen Überlegungen wird aber kaum eine Kabelanlage in diesem Masse erstellt werden können. Zwangsläufig ergibt sich daraus aber eine Einschränkung der Belastbarkeit der Kabelstrek-