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: 93 (2002)

Heft: 21

Artikel: Alterungsverhalten von Mittelspannungskabeln

Autor: Zimmerli, Roland

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855472

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: 14.07.2025

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

Alterungsverhalten von Mittelspannungskabeln

Diagnosesysteme für kunststoff- und papierisolierte Kabel

Für den Unterhalt der Stromnetze und die Planung von Investitionen ist es notwendig, dass die Betreiber den Alterungszustand ihrer Kabelsysteme möglichst genau und kostengünstig bestimmen können. Kunststoff- und papierisolierte Kabel erfordern dabei in der Regel unterschiedliche Messmethoden. Dieser Beitrag erklärt das Verhalten der unterschiedlichen Isolationstypen und stellt ein Messsystem vor, dass sich sowohl für kunststoff- als auch für papierisolierte Mittelspannungskabel eignet.

Bei der Beschaffung von Energiekabeln der Mittel- und Hochspannungsebene gehen die Betreiber davon aus, dass diese Systeme eine Lebensdauer von

Roland Zimmerli

30 bis 40 Jahren erreichen. Die Betriebstauglichkeit dieser Kabelsysteme beeinflusst die Qualität der Stromversorgung direkt. Entsprechend ausgeprägt ist das Bedürfnis der Betreiber, den Zustand ihrer Kabelanlagen zuverlässig zu bestimmen.

Aufschluss über den Kabelzustand sollen Vor-Ort-Messungen erbringen. Dabei ist es für den Betreiber wünschenswert, nicht nur mittels Prüfung eine pauschale Ja/Nein-Aussage über die Betriebstüchtigkeit zu erhalten, sondern mittels spezifischer Diagnosemethoden über den aktuellen Alterungszustand der Kabel und damit verbunden über die zu erwartende Restlebensdauer des Kabelsystems Aufschluss zu erhalten.

Kunststoffisolierte Kabel

Alterung von Kunststoffisolationen

Kunststoffisolierte Mittelspannungskabel unterliegen bezüglich dielektrischer Festigkeit einer kontinuierlichen Alterung. Dieses Alterungsverhalten wird stark beeinflusst durch die verwendeten Kunststoffe, die Reinheit der verwendeten Materialien, das Herstellungsverfahren, den konstruktiven Kabelaufbau, die betrieblichen Randbedingungen wie maximal auftretende Lastströme, Überspannungen und den Einfluss von Wasser.

Selbst bei idealen Herstellungs- und Betriebsbedingungen unterliegt die Kabelisolation einer werkstoffbedingten Alterung. Die zeitliche Abhängigkeit der dielektrischen Festigkeiten vom Lebensalter eines Kunststoffkabels lässt sich durch Formel 1 darstellen.

$$t \cdot E^{N} = \text{konst} \qquad (1)$$

Dabei bedeuten E die Festigkeit der Isolation – ausgedrückt durch die elektrische Feldstärke – und N den Lebensdauerkoeffizienten, der vom Material und von der Art der Isolierung abhängig ist. Grafisch dargestellt entspricht dies bei doppelt logarithmischem Koordinatensystem einem linearen Alterungsverlauf (Bild 1).

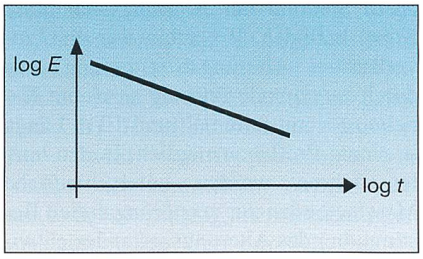

Bild 1 Festigkeit der Isolation in Abhängigkeit des Alters

Forcierte Alterung

Ende der 40er-Jahre des letzten Jahrhunderts wurden in der Schweiz die ersten kunststoffisolierten Mittelspannungskabel mit unvernetztem Polyäthylen (PE) als Isolationswerkstoff hergestellt. Schon in den 50er-Jahren wurden in Japan unerklärliche Durchschläge an Unterwasserpumpen registriert. Zahlreiche weitere Probleme an Polyäthylen-Isolationssystemen traten in der Folge weltweit auf.

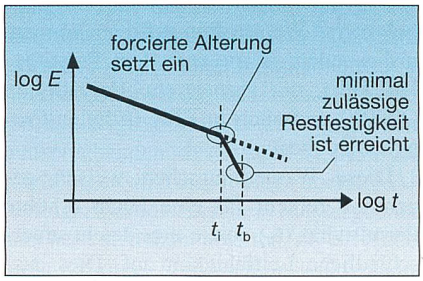

Bild 2 Forcierte Alterung ab dem Zeitpunkt t_i

Generell lässt sich das dabei festgestellte Verhalten wie folgt beschreiben: Bis zu einem bestimmten Zeitpunkt t_i folgt die Alterung der Isolation der natürlichen Alterung des Werkstoffes. Ab diesem Zeitpunkt erfolgt dann eine forcierte Alterung, die rasch fortschreitet und zum Zeitpunkt t_b zum Versagen der Isolation und zum Durchschlag führt (Bild 2).

An kunststoffisolierten Mittelspannungskabeln mit unvernetzter PE-Isolation, die hauptsächlich zu Beginn der 70-er-Jahre in grösseren Mengen produziert wurden, zeigte sich, dass schwergewichtig unter dem Einfluss von Feuchtigkeit, Wärme und elektrischem Wechselfeld die Alterung der Isolation (Reduktion der dielektrischen Festigkeit E) ab dem Zeitpunkt t_i sehr schnell fortschreiten kann. Systematische Untersuchungen von vorzeitig gealterten PE-Isolationen zeigten bei der Analyse in der Regel baumförmige Strukturen, die mit den Begriffen «Wasserbäumchen» (englisch «Water Trees») beschrieben wurden.

Die Alterungsmechanismen wurden über Jahre hinweg von verschiedensten

Firmen und Instituten untersucht. Die folgende Grobunterscheidung hat sich im Laufe der Zeit etabliert:

- *Water Trees*: Sammelbegriff für diffuse, buschförmige Strukturen in der Isolation, die unter Einwirkung eines elektrischen Wechselfeldes im Beisein von Wasser wachsen.
- *Vented Trees*: Bäumchen, die von einer Störstelle an der Halbleiter-Oberfläche (Rauhigkeit, Fremdteilchen) in Feldrichtung in die Isolation hineinwachsen.
- *Bow Tie Trees*: ihr Ursprung liegt an einer Störstelle im Innern der Isolation (Fremdpartikel, Hohlräume, bei der Extrusion vorvernetzte Teilbereiche); sie wachsen symmetrisch auf beide Seiten parallel zum elektrischen Feld.
- *Electrical Tree*: Ausgehend von Hohlräumen in der Isolation oder als Folge intensiver Vented- oder Bow Tie Tree.

Verschiedenste Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Alterung auf Grund von Wasserbäumchen in den meisten polymeren Werkstoffen auftreten können, insbesondere in unvernetztem Polyäthylen (PE), in vernetztem Polyäthylen (XLPE) und auch in EPR (Ethylen-Propylen-Rubber).

Diese Wasserbäumchen weisen gegenüber reinem PE eine leicht erhöhte Permitivität (ε_r) sowie eine leicht unterschiedliche Leitfähigkeit auf. Dies äussert sich in einem leicht unterschiedlichen Verlustfaktor tan(δ). Die Wasserbäumchen beeinflussen ausserdem die Raumladungsbildung bei Anliegen eines äusseren elektrischen Feldes.

Öl-Papier-isolierte Kabel

Die Öl/Haftmasse-Papier-isolierten Mittelspannungskabel zeigen gegenüber kunststoffisolierten Mittelspannungskabel ein gänzlich abweichendes Alterungsverhalten. Bei imprägnierten Papierkabeln spielen Reinheit und Verarbeitungsaufwand der Isolierkomponenten eine entscheidende Rolle. Dabei reagiert zunächst der Verlustfaktor tan(δ) durch einen kräftigen Anstieg auf Fremdstoffspuren im Dielektrikum. In der Folge wird dann auch die elektrische Festigkeit beeinträchtigt, da hohe Verluste in der Isolation die Entwicklung eines Wärmedurchschlages begünstigen.

Als besonders gefährlich hat sich Feuchtigkeit erwiesen, da sie sämtliche Isoliereigenschaften des imprägnierten Dielektrikums negativ beeinflusst: Gleichstromleitung und Verlustfaktor nehmen zu, Teilentladungseinsetz- und Durchschlagfeldstärke werden kleiner.

Feuchtigkeit muss daher bereits bei der Herstellung konsequent aus den Komponenten der Isolierung, dem Papier und dem Tränkmittel entfernt werden. Ebenso muss sichergestellt werden, dass während des Betriebes keine Feuchtigkeit in die Isolierung diffundieren kann. Kritisch allein ist nicht nur das Kabel, sondern auch Muffen oder Endverschlüsse.

Bei papierisolierten Kabeln besteht grundsätzlich das Risiko, dass bei thermisch hoher Belastung der Isolation das Tränkmittel sich so stark ausdehnt, dass eine Aufweitung des Bleimantels stattfindet. Diese Aufweitung bleibt auch bei der nachfolgenden Abkühlung bestehen. Dies führt dazu, dass sich in der Isolation Blasen (Vakuolen) bilden können. Oberhalb einer bestimmten dielektrischen Belastung kann es in diesen Vakuolen zu Ionisation und Vorentladungen kommen. Unter deren Einfluss können langfristig sowohl das umgebende Tränkmittel als auch das Papier geschädigt werden. Als Begleiterscheinung zeigt sich ein ausgeprägter Verlustfaktoranstieg.

In den Verteilnetzen werden die Kabel in der Regel nie in ihrem thermischen Grenzbereich betrieben. Ebenfalls sorgen die Hersteller durch geeignete Konstruktionen dafür, dass das Risiko der Vakuolenbildung relativ gering ist. Gesamthaft betrachtet ist somit primär das Problem der Feuchtigkeit in der Isolation von Bedeutung. Dieser Feuchtigkeitsgehalt wirkt sich direkt auf den Verlustfaktor tan(δ) aus.

Diagnose des Alterungszustandes

Für die Netzbetreiber ist es im Hinblick auf Netzbetrieb und Investitionsplanung von Bedeutung zu wissen, ob in ihrem Netz Kabel mit kritischem Alterungszustand vorhanden sind und in welchem Stadium der Alterung sich diese Kabel befinden. Bis anhin war eine zuverlässige Alterungsbestimmung nur durch zerstörende Prüfung an einem Kabelmuster mit minimal rund 10 m Länge in einem Prüflabor möglich. In den letzten Jahren wurden unterschiedliche Messmethoden zur zerstörungsfreien Bestimmung des Alterungszustandes entwickelt. Diese werden nachfolgend vorgestellt.

Messungen an kunststoffisolierten Kabeln

Eine Teilentladungsmessung ist primär geeignet, singuläre Fehlstellen in der Isolation festzustellen. Für die Bestimmung des allgemeinen Alterungszustandes einer Isolation eignen sich Methoden, die auf der Bestimmung der Veränderung der Polarisationseigenschaften und der Raumladungsverhältnisse in der Isolation oder der Veränderung des tan(δ) basieren [1].

Der Zustand kann prinzipiell im Zeitbereich oder im Frequenzbereich untersucht werden. Grundsätzlich ist eine Überführung der Ergebnisse in den jeweils anderen Bereich denkbar, jedoch sind die entsprechenden Zusammenhänge noch nicht restlos geklärt.

Die bekannten Analysemethoden, auf denen auch kommerzielle Messsysteme basieren [2], lassen sich wie folgt ordnen:

Methoden im Zeitbereich

- Isotherme Relaxationsstromanalyse (IRC-Analyse): Das zu untersuchende Kabel wird typischerweise während 30 Minuten mit 1 kV DC aufgeladen. Im Anschluss daran wird das Kabel für kurze Zeit (5 Sekunden) kurzgeschlossen. Danach wird über 30 Minuten der abklingende Depolarisationsstrom gemessen. Der Stromverlauf wird durch drei exponentiell abklingende Funktionen approximiert. Daraus wird ein sogenannter Alterungsbeiwert A – auch A-Faktor genannt – hergeleitet. Die Grösse dieses Faktors bildet die Basis der Beurteilung des Alterungszustandes.
- Wiederkehrspannungsmethode (CD-Verfahren): Diese Methode wertet die Abhängigkeit der Wiederkehrspannung von der angelegten DC-Prüf-Ladespannung aus. Typischerweise wird das Kabel mit einer variablen DC-Ladespannung über 5 Minuten formiert, danach 2 Sekunden kurzgeschlossen. Im Anschluss daran wird über 10 bis 40 Minuten die Wiederkehrspannung gemessen. Typischerweise gelangen Ladespannungsniveaus von 0,5/1,0/1,5 und $2{,}0 \cdot U_0$ zur Anwendung. Aus den Wiederkehrspannungs-Maximalwerten bei der Ladespannung von $1 \cdot U_0$ und $2 \cdot U_0$ wird der Linearitätsfaktor, der so genannte L-Faktor hergeleitet. Die Abweichung von der Linearität ist ein Mass für die Alterung.
- Depolarisationsladungsmessung (CDA-Verfahren): Bei diesem Verfahren wird die Kabelisolation mittels langsamer Impulsspannung mehrfach mit DC kurzzeitig vorbelastet. Gemessen wird dabei das Verhältnis von der Depolarisationsladung zur Gesamtladung bei Ladespannungsamplituden von 1 kV und 10 kV. Aus diesem Verhältnis lässt sich auf den Alterungszustand schliessen.

Methoden im Frequenzbereich

Verschiedenste Untersuchungen haben gezeigt, dass eine Verlustfaktormessung bei 50 Hz wenig aussagekräftig ist und

zudem als Vor-Ort-Messung technisch aufwändig zu realisieren ist. Jedoch hat sich gezeigt, dass bei tiefen Frequenzen (z.B. 0,1 Hz) der Verlustfaktor tan(δ) stark auf alterungsbedingte Veränderungen reagiert. Die Beurteilung des Zustandes der Isolation beruht auf dem Vergleich des Verlustfaktors tan(δ) bei einer Prüfspannung $1 \cdot U_0$ und bei $2 \cdot U_0$ bei einer Prüffrequenz von jeweils 0,1 Hz.

Messungen an Öl-Papier-Kabeln

Wie bereits geschildert, stellt die Anwesenheit von Feuchtigkeit in der Isolation das Hauptrisiko bei Öl-Papier-isolierten Kabeln dar. Diese Feuchtigkeit wirkt sich direkt auf den Verlustfaktor tan(δ) aus. Entsprechend ist die Messung des Verlustfaktors grundsätzlich die geeignetste Diagnosemethode für die qualitative Bestimmung des Alterungszustandes.

Erweiterte Erkenntnisse lassen sich gewinnen, wenn der Verlustfaktor bei unterschiedlichen Frequenzen und Prüfspannungen bestimmt wird. Entsprechend wird auch die Verlustfaktormessung schon seit Jahrzehnten angewendet. Mit der Verfügbarkeit moderner numerischer Verfahren und Systeme liessen sich die Verlustfaktormessungen jedoch wesentlich vereinfachen und vielschichtiger gestalten.

Kombinierte Methode für Kunststoff und Öl-Papier

Vergleichende Messungen an kunststoffisolierten Kabeln mit kommerziellen Messgeräten haben gezeigt [2], dass nicht alle Systeme direkt vergleichbare Aussagen über den Alterungszustand eines Kabels liefern. Deshalb hat die Firma Programma Electric ein Messsystem entwickelt (Typ IDA200), das verschiedene der weiter oben geschilderten Messmethoden kombiniert und entsprechend zuverlässigere Aussagen über den Alterungszustand der geprüften Kabel ohne Zerstörung oder Schädigung derselben zulässt.

Bei diesem Messsystem muss das zu prüfende Kabel vom Netz freigeschaltet werden. Das Messsystem erzeugt die sinusförmige Prüfspannung aus der Netz-Speisespannung. Bei verschiedenen Spannungen in einem weiten Frequenzbereich von 0,01 Hz bis 500 Hz wird jeweils die Kapazität C (mit Real- und Imaginärteil) und der Verlustfaktor tan(δ) in einer automatischen Prüfsequenz bestimmt. Die Messung bei einer spezifischen Frequenz erfolgt jeweils mit geringer Bandbreite und ist somit relativ unempfindlich gegen Störeinflüsse.

Bei Öl-Papier-isolierten Mittelspannungskabeln (z.B. Typ PPb) genügt für zuverlässige Aussagen die Verwendung einer Prüfspannung bis 200 V.

Bei kunststoffisolierten Mittelspannungskabeln (Typ XLPE, PE, EPR) wird üblicherweise eine Prüfspannung bis zu U_0 des Kabels angewendet. Messungen an über 200 unterschiedlichen Kabelstrecken haben gezeigt, dass eine Korrelation zwischen der effektiv vorhandenen Durchschlagsspannung (d.h. der Restfestigkeit der Kabelisolation) und der mittels IDA200 ermittelten Kennwerte besteht.

Durch die Auswertung der dabei gemessenen Abhängigkeiten von der Prüfspannung und der Prüffrequenz der C- und tan(δ)-Werte kann auf den Alterungszustand des geprüften Kabels geschlossen werden.

Messungen mit IDA200 an kunststoffisolierten Kabeln

Eine vertiefte Beschreibung der Hintergründe der nachfolgend beschriebenen Auswertemethode ist in [3] enthalten. Bei kunststoffisolierten Kabeln werden üblicherweise C – mit Real- und Imaginäranteil, ε' bzw. ε'' der Permittivität ε – und tan(δ) bei den 5 Prüfspannungswerten $0{,}25 \cdot U_0$, $0{,}5 \cdot U_0$, $0{,}75 \cdot U_0$, U_0 und nochmals $0{,}5 \cdot U_0$ im Frequenzbereich von der systembedingt grösstmöglichen Frequenz (rund 500 Hz) hinunter bis zu 0,1 Hz erfasst.

Zeigen sich bereits bei tiefen Prüfspannungspegeln von z.B. $0{,}5 \cdot U_0$ Abnormitäten, werden die Prüfungen bei höheren Prüfspannungswerten nicht mehr durchgeführt, um keinen Durchschlag des Kabels zu riskieren.

Den Grad und die Art der Alterung lassen sich aus dem Verhalten primär von ε'', aber auch von ε' und tan(δ) in Abhängigkeit vom Prüfspannungspegel und von der Prüffrequenz f herleiten.

Messungen mit IDA200 an papierisolierten Kabeln

Als Ausdruck der Alterung der Isolation kann aus den Messungen an PPb-Kabeln ein Mass für den Feuchtigkeitsgehalt (mc) der Isolation bestimmt werden. Dabei wird vom frequenzabhängigen Verlauf des ermittelten Verlustfaktors tan(δ) der als $\tan(\delta)_{min}$ bezeichnete minimal auftretende Wert ermittelt. Für die Ermittlung des Feuchtigkeitsgehaltes der Öl-Papier-Isolation durch das Messsystem IDA200 ist eine auf Basis zahlreicher Messungen empirisch ermittelte Formel anzuwenden:

$$mc = 15{,}3 + 2{,}53 \cdot \ln(\tan(\delta)_{min}) \qquad (2)$$

Aus dem so ermittelten Feuchtigkeitsgehalt mc kann dann der Zustand der Isolation wie folgt beurteilt werden:

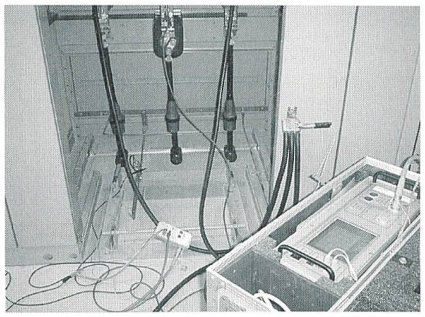

Bild 3 Mittelspannungsschaltfeld mit den drei Endverschlüssen

Messsystem IDA 200 im Vordergrund. Die Prüfspannung wird zwischen Phasenleiter und Kabelschirm eingespeist.

- trocken: mc ≤ 0,5%
- mittel: 0,5% < mc ≤ 2%
- feucht: mc > 2%.

Bestimmung der Restlebensdauer

Wie bei allen anderen Messverfahren gilt jedoch auch hier, dass von den Messungen keine direkte Angabe der Restlebensdauer des Kabels in Jahren erwartet werden kann, sondern lediglich eine qualitative Beurteilung des Kabels in vier Stufen. Je grösser die Erfahrung mit dem entsprechenden Messsystem ist, desto zuverlässiger wird die Aussage über den Alterungszustand. Aus den Messergebnissen lässt sich dann ableiten, ob ein Kabel eine erhöhte Durchschlagswahrscheinlichkeit aufweist und deshalb innerhalb der nächsten Jahre im Rahmen der Investitions- und Unterhaltsplanung ersetzt werden sollte.

Ergebnisse von Kabelprüfungen

Das Vorgehen bei der Bestimmung des Alterungszustandes von papierisolierten Mittelspannungskabeln mittels des Prüfsystems Programma IDA 200 wird nachfolgend an einem Beispiel kurz aufgezeigt: Im August 2001 wurden im 15-kV-Netz des EW Urseren, Andermatt, Messungen an zwei verschiedenen papierisolierten Mittelspannungskabeln vom Typ PPb durchgeführt.

Aus der vom IDA200 ermittelten Abhängigkeit des Verlustfaktors von der Frequenz f wird der Minimalwert des Verlustfaktors $\tan(\delta)_{min}$ bestimmt. Daraus lässt sich der Feuchtegehalt mc gemäss (2) ableiten.

Die eine im Jahr 1970 erstellte untersuchte Kabelstrecke mit einem Leiterquerschnitt von 70 mm² weist eine Länge von 170 m auf (Kabel A). Das Kabel B mit einem Leiterquerschnitt von 95 mm² und einer Länge von rund 380 m stammt

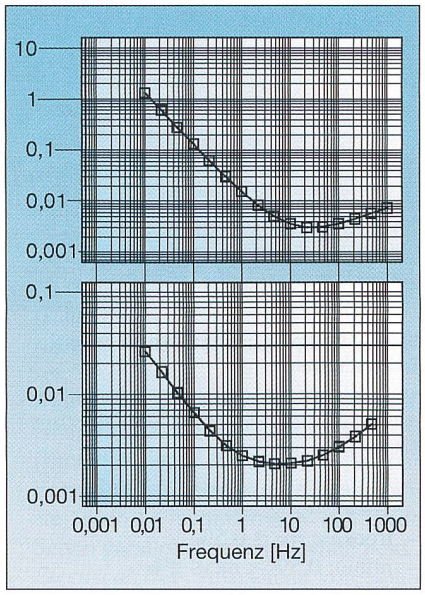

Bild 4 Messkurven zur Bestimmung des minimalen Verlustfaktors der Kabelabschnitte A (oben) und B (unten)

ebenfalls aus dem Jahr 1970. Einen Eindruck vom relativ einfachen Prüfaufbau zeigt Bild 3.

Grundsätzlich wird bei jedem Kabel jede Phase einzeln gemessen. Die beiden anderen Phasen werden kurzgeschlossen und geerdet. Bild 4 zeigt die Messkurven der Kabelabschnitte A und B. Gezeigt sind die Frequenzabhängigkeiten des Verlustfaktors tan(d) bei einer Prüfspannung von 200 V. Gemäss der vorgängig beschriebenen Methode zur Herleitung des Feuchtigkeitsgehaltes mc aus dem Minimalwert des Verlustfaktors ergibt sich:

- Kabelstrecke A: $\tan(\delta)_{min} = 0{,}00308 \Rightarrow$ mc = 0,669% $\Rightarrow$ Zustand: mittel
- Kabelstrecke B: $\tan(\delta)_{min} = 0{,}00205 \Rightarrow$ mc = -0,360% $\Rightarrow$ Zustand: trocken

Daraus ist ersichtlich, dass bei den beiden Kabelstrecken bezüglich des Feuchtigkeitsgehaltes mc deutliche Unterschiede bestehen. Die Kabelverbindung A ist in einem schlechteren Zustand als die Verbindung B, die man als nahezu neuwertig beurteilen kann.

Bei der Verbindung A zeigten sich bei allen drei Phasen ähnliche Alterungseffekte. Diese Kabelstrecke zeigt entsprechend den durchgeführten Messungen einen mittleren Alterungszustand. Dieser ist als solcher nicht als kritisch zu beurteilen. Sinnvoll ist es jedoch, in etwa fünf Jahren eine neue Messung durchzuführen, um festzustellen, ob eine weitere Verschlechterung eingetreten ist und ob eine Auswechslung des Kabels geplant werden muss.

Zusammenfassung

Mit dem Diagnosesystem Programma IDA200 steht ein Messsystem zur Diagnose des Alterungszustands sowohl von kunststoffisolierten als auch von papierisolierten Kabeln zur Verfügung, das dank dem kompakten System- und Messaufbau eine relativ einfache, zuverlässige und aussagekräftige Aussage über den Alterungszustand der Kabelisolation ermöglicht.

Durch entsprechende Messungen an älteren Mittelspannungskabeln erhalten die Netzbetreiber zuverlässige Grundlagen zur Beurteilung des Kabelalterungszustandes, des damit verbundenen Ausfallrisikos und der sich daraus ergebenden Investitionsplanung.

Referenzen

[1] *Hvidsten, Faremo, Benjaminsen, Ildstad:* Condition Assessment of Water Treed Service Aged XLPE Cables by Dielectric Response Measurements. Cigré-Session 2000, Group 21, Paper 21-201.

[2] *Plath, Kalkner, Krage:* Vergleich von Diagnosesystemen zur Beurteilung des Alterungszustandes PE/VPE-isolierter Mittelspannungskabel. Elektrizitätswirtschaft Jg. 96(1997), Heft 20.

[3] *P. Werelius:* Power Cable Diagnostics by Dielectric Spectroscopy. 2000 IEEE/PES Winter Meeting, Singapore, January 2000.

Weiterführende Literatur

Gäfvert, Adeen, Tapper, Ghasemi, Jönssen: Dielectric Spectroscopy in Time and Frequency Domain Applied to Diagnostics of Power Transformers. 6th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, June 2000.

Malewski, Kobi, Kopaczynski, Lemke, Werelius: Instruments for HV Insulation testing in Substations. Cigré-Session 2000, Group 33, Paper 12/33-06

Schufft, Hauschild, Schierig: Vor-Ort-Prüfung und Diagnose mit Wechselspannung variabler Frequenz an Mittelspannungskabeln. VDEW-Kabeltagung Nürnberg, Dez. 2001

Adresse des Autors

Roland Zimmerli, Zimmerli Energie-Technik AG, CH-4812 Mühlethal, postmaster@zetag.ch

La tenue au vieillissement de câbles moyenne tension

Systèmes de diagnostic pour câbles isolés par matières synthétiques et papier

En vue de l'entretien des réseaux électriques et de la planification des investissements, les exploitants doivent pouvoir déterminer le plus précisément et économiquement possible l'état de vieillissement de leurs systèmes de câbles. Les câbles à isolement en matières synthétiques et en papier exigent généralement des méthodes de mesure différentes. L'article explique le comportement des divers types d'isolement et présente un système de mesure convenant aux câbles moyenne tension isolés tant aux matières synthétiques qu'au papier.

electrosuisse
Electrosuisse auf dem Internet / Electrosuisse sur l'Internet:
www.electrosuisse.ch