



Kabelprüfung an einem 110-kV-Kabelsystem.

Prüfempfehlung für Kabelstrecken

Ergebnis von 38 Jahren Vor-Ort-Prüferfahrung | Um sicherzustellen, dass Hochspannungskabelsysteme korrekt montiert und betriebssicher sind, werden Vor-Ort-Prüfungen durchgeführt. Eine Statistik, die auf 38 Jahren Prüferfahrung basiert, bestätigt nun die praktizierten Prüfbedingungen. Es konnte in 3,9% der geprüften Systeme ein potenziell folgenschwerer Durchschlag im Betrieb verhindert werden.

DOMINIC KLEGER, MARIO GOBELI, THOMAS HEIZMANN, MICHAEL WALTER

Die zunehmende Dichte der Wohnbevölkerung und der technischen Infrastruktur in der Schweiz führt dazu, dass immer mehr Kabelstrecken installiert werden. Kabel sind zwar deutlich teurer als Freileitungen, haben aber Vorteile in der Verfügbarkeit, da beispielsweise keine direkten Blitzeinschläge in Kabelleitungen auftreten können.

Über Jahrzehnte durfte die FKH mit Vor-Ort-Prüfungen zur Qualitätssicherung dieser Kabelstrecken beitragen [1-7]. In diesem Artikel wird die Statistik aus 38 Jahren Kabelprüfung ausgewertet, und es werden die in der Schweiz praktizierten Prüfempfehlungen für neue und gealterte Kabel von 45 kV bis 380 kV Nennspannung begründet.

Bei grösseren Längen werden Kabelsysteme in Teilstrecken unterteilt, die mittels Muffen verbunden werden. Das Transportvolumen der Kabeltrommeln begrenzt dabei die Länge der Teilstrecken. An den Enden der Kabelstrecken befindet sich meist ein Übergangsbauwerk zu einer Freileitung, oder das Kabel wird direkt in eine Schaltanlage eingeführt. Oft werden auch Kompo-

nenten in Schaltanlagen mit kurzen Kabelstrecken verbunden. Je nach Komponente werden auf das Kabelende unterschiedliche Kabelendverschlüsse montiert.

Hochspannungskabel werden in der Schweiz üblicherweise unterirdisch in Kabelrohrblöcken oder begehbaren Stollen verlegt. Beim Verlegen der Kabel mit Zugmaschinen kann der Aussenmantel oder sogar die Isolierung beschädigt werden. Die Montage von Muffen, meist in gemauerten Muffenschächten, und Endverschlüssen an einem Gerüst oder im Kabelkeller erfordern viel Handarbeit.

Vor der Auslieferung werden die Kabel und Garnituren im Werk gemäss **Tabelle 2** geprüft. Die Vor-Ort-Prüfung dient daher primär der Kontrolle der Montage. Parallel zur AC-Haltespannungsprüfung, die aufgrund der grossen Kabelkapazitäten meist mit dem Serie-Resonanzprinzip [1,2] erfolgt (**Bild 1**), wird je nach Spannungsebene und Wichtigkeit auch eine Teilentladungsmessung durchgeführt [4-7].

Durchgeführte Kabelprüfungen

Die FKH hat seit 1986 insgesamt 1430 Vor-Ort-Prüfungen von Kabeln mit Nennspannungen von 10 bis 380 kV durchgeführt (**Tabelle 1**). Dabei wurden 1734 Systeme mit einer Länge von 2199 Systemkilometern geprüft. **Bild 2** zeigt die Gesamtlänge der pro Jahr geprüften Systeme.

Die für die Kabelprüfungen eingesetzten Serie-Resonanzanlagen wurden in den 1980er-Jahren von der ETH zusammen mit der FKH entwickelt und zunächst vor allem für die Prüfung von gasisolierten Schaltanlagen verwendet [1,2]. Durch den Ausbau der modularen Anlagen konnte deren Leistung schrittweise erhöht werden, sodass sie auch für Kabelprüfungen eingesetzt werden konnten. Die ersten Aufträge kamen fast alle aus Deutschland. Erst ab Anfang der 1990er-Jahre setzten sich Kabelprüfungen auch in der Schweiz durch.

Durchschlagsstatistik

Tabelle 1 zeigt die Durchschlagsstatistik der vor Ort geprüften Kabelsysteme aufgeschlüsselt nach Kabeln, Endverschlüssen und Muffen. Die Anzahl der Muffen ist geschätzt, da sie nicht vollständig erfasst wurden.

Geprüfte Komponenten			
Systeme Stück	Kabel System-km	Endverschlüsse Stück	Muffen Stück
1734	2199	9282	4464*
Anzahl Durchschläge			
68**	5	36	20
Durchschlagsraten			
3,9%	0,0023 / km	0,39%	0,45%

Tabelle 1 Durchschlagsstatistik der geprüften Kabelsysteme.

* Bei fehlender Angabe wurden 3 Muffen pro Systemkilometer angenommen.

** Der Durchschlagsort ist in 7 Fällen unbekannt.



Bild 1 Beispiel einer Kabelprüfung durch die FKH an einem 380-kV-Kabelsystem.

Insgesamt haben 3,9% der geprüften Kabelsysteme während der Prüfung einen Durchschlag erlitten. Die Ausfallraten der Endverschlüsse (0,39%) und der Muffen (0,45%) liegen nahe beieinander. Insgesamt traten nur 5 von 68 Durchschlägen im Kabel auf. 93% aller Durchschläge betreffen die Garnituren.

Die Statistik weist auf eine klare Häufung von Fehlern an Endverschlüssen und Muffen hin, Durchschläge im Kabel selbst sind eher Ausnahmen. Bei den Endverschlüssen und Muffen wird als Ausfallgrund in der Regel ein Montagefehler vermutet, was sich aber oft nicht vollständig beweisen lässt, weil nicht immer eindeutige Spuren vorhanden sind. Bei den fünf Ausfällen von Kabeln war in einem Fall eine Verletzung (wahrscheinlich während des Kabelzugs) und in einem anderen Fall ein Herstellungsproblem (Verunreini-

gung der Isolierung durch Partikel) die Ursache. Die drei weiteren Durchschlagsursachen sind unbekannt.

Insgesamt wurden 95% der Prüfungen in der Schweiz durchgeführt. Im Ausland wurden total 81 Kabelprüfungen durchgeführt, bei welchen 3,4% der Systemkilometer geprüft wurden. Dabei traten 10,3% der Durchschläge auf. Die Prüfungen in Deutschland machten 56% der Auslandsprüfungen und 1,8% der Systemkilometer aus. Die meisten Prüfungen in Deutschland wurden in den 1980er- und 1990er-Jahren durchgeführt. Alle Durchschläge im Ausland traten in Deutschland und im genannten Zeitraum auf.

Nach einem Durchschlag bei der Vor-Ort-Spannungsprüfung wird der Durchschlagsort gesucht und die betroffene Komponente ersetzt bzw. repariert. Nach der Reparatur findet in aller Regel eine Nachprüfung statt.

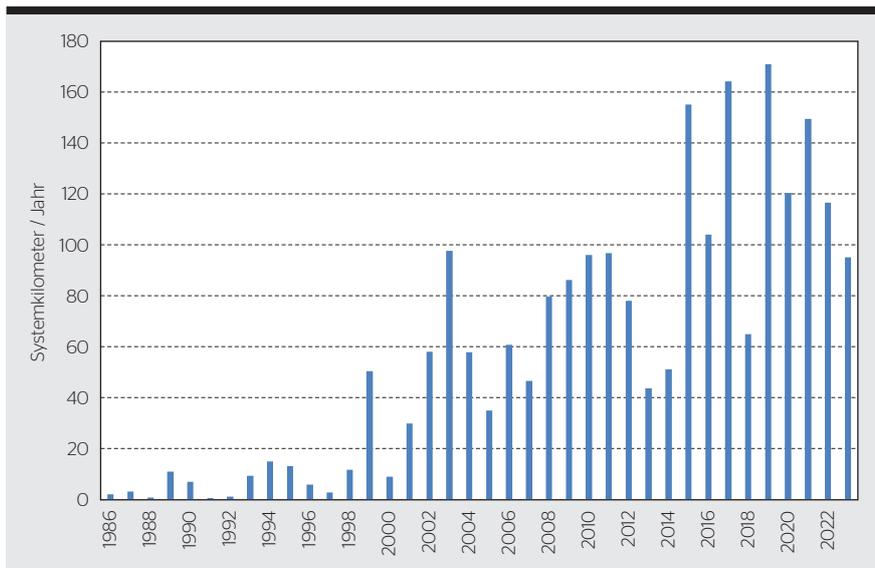


Bild 2 Gesamtlänge der pro Jahr geprüften Systeme.

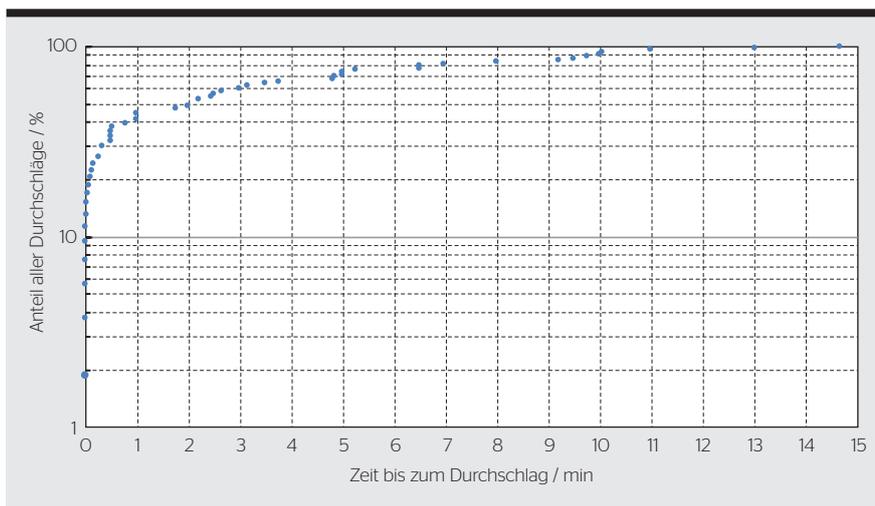


Bild 3 Relative kumulierte Häufigkeit, dass ein Durchschlag nach n Minuten auftrat. 100 % entspricht dem Total von 53 Durchschlägen, bei welchen die Durchschlagszeit bekannt ist.

Nutzen von Vor-Ort-Kabelprüfungen

Das Ziel von Vor-Ort-Kabelprüfungen besteht darin, Ausfälle durch Schäden nach der Inbetriebnahme zu verhindern. Um die Wirksamkeit zur Erreichung dieses Ziels zu beweisen, müsste es eine Statistik geben, die die Ausfallwahrscheinlichkeit von Kabelanlagen, die ohne Vor-Ort-Prüfung in Betrieb genommen wurden, mit solchen vergleicht, bei denen eine Vor-Ort-Prüfung durchgeführt wurde. Eine solche Statistik existiert unseres Wissens nach nicht.

Ein klarerer Hinweis für den Erfolg der Kabelprüfungen ist, dass bei geprüften Kabelstrecken praktisch

keine Fälle bekannt sind, in welchen nach bestandener Vor-Ort-Prüfung innerhalb einiger Monate bis wenigen Jahren im Betrieb ein Durchschlag auftrat. Von den durch die FKH geprüften Kabelanlagen sind der FKH nur drei Fälle bekannt, bei denen es zu einem Durchschlag (Fremdeinwirkung ausgeschlossen) gekommen ist. Die FKH ist diesen Fehlern nachgegangen. Die Ursachen wurden meist gefunden.

Im ersten Fall handelt es sich um eine 380-kV-Muffe, die etwa sechs Monate nach der Vor-Ort-Prüfung (mit Teilentladungsmessung) durchgeschlagen hat. Die mutmassliche Ursache war das Rutschen des Kabels in

einer Gefällstrecke. Im zweiten Fall hat ein 110-kV-GIS-Endverschluss rund zwei Jahre nach der Vor-Ort-Prüfung (ohne TE-Messung) durchgeschlagen. Als Ursache wurden Federpakete gefunden, die nicht deblockiert waren, d.h. der Anpressdruck des Steuererteils war ungenügend. Beim dritten Fall handelt es sich um einen 380-kV-Freiluftendverschluss. Dieser war nach der Vor-Ort-Prüfung (mit TE-Messung) nie in Betrieb und hat rund zwei Jahre später beim erstmaligen Einschalten sofort durchgeschlagen. Die Untersuchungen haben ergeben, dass ein weiterer Endverschluss dieses Systems zu viel Wasser in der Isolierflüssigkeit hatte. Vermutlich war dies auch beim ausgefallenen Endverschluss der Fall. Die mutmassliche Erklärung für das Versagen trotz bestandener Vor-Ort-Prüfung ist also in allen Fällen eine Veränderung, die im Betrieb stattgefunden hat, zum Zeitpunkt der Prüfung aber noch keinen Einfluss auf die Spannungsfestigkeit hatte. Es ist nicht auszuschliessen, dass es weitere Fälle gegeben hat, diese sind uns aber nicht bekannt.

Die beschriebenen Fälle zeigen, dass die Spannungsprüfung nur Fehler aufdecken kann, welche erstens zum Zeitpunkt der Prüfung bereits existieren und zweitens Einfluss auf die Spannungsfestigkeit haben. Zusätzliche Fehler können existieren, welche zum Zeitpunkt der Messung zwar eine Entladungsaktivität aufweisen, aber erst über einen Alterungsmechanismus zu einem Durchschlag führen würden. Einige dieser Fehler können mittels Teilentladungsmessung aufgedeckt werden. Insbesondere bei wichtigen Kabelsystemen wird parallel zur Hochspannungsprüfung eine Teilentladungsmessung empfohlen. Die Teilentladung wird hierzu meist über den Kabelschirm mit einer Koppelimpedanz gemessen [5-7]. Üblicherweise wird pro Endverschluss und Muffe jeweils ein Messgerät installiert. Bei vorhandenem Lichtwellenleiter parallel zur Kabelstrecke können diese Signale an ein Ende übermittelt und zentral ausgelesen werden.

Die Statistik zeigt, dass durch die Spannungsprüfung bei 3,9 % der geprüften Kabelsysteme eine Schwachstelle aufgedeckt und damit in den meisten Fällen ein folgenschwe-

rer Durchschlag im Betrieb verhindert werden konnte. Aufgrund der geringen Prüfenergie konnten die Fehler lokalisiert und repariert werden, sodass die Kabelsysteme jeweils nach einer Nachprüfung wieder in Betrieb gehen konnten. Bei Fehlern im Betrieb wären die Schäden am Kabel und an den umgebenden Anlagen deutlich grösser.

Empfohlene Prüfdauer

Um beurteilen zu können, wie lange eine Prüfspannung angelegt werden muss, um eventuell vorhandene Fehler innerhalb der Prüfdauer zuverlässig zum Durchschlag zu bringen, wurde für die aufgetretenen Durchschläge die Prüfzeit bis zum Durchschlag ausgewertet. **Bild 3** zeigt die Zeit bis zum Durchschlag von 53 Vor-Ort-Kabelprüfungen. 50 Durchschläge traten innerhalb der ersten 10 Minuten auf, die restlichen drei nach 11, 13 und 14,6 Minuten.

Es zeigt sich, dass die Durchschlagswahrscheinlichkeit mit zunehmender Prüfzeit markant abnimmt. Nur in 3 von 53 Fällen traten Durchschläge erst nach einer Prüfzeit über 10 Minuten auf. Entsprechend ist in **Bild 3** ein deutliches Abflachen der Kurve der kumulierten Durchschlagshäufigkeit mit zunehmender Prüfzeit zu erkennen. Die vorliegende Durchschlagsstatistik bestätigt somit die Angemessenheit einer Prüfdauer von 15 Minuten bei den gewählten Prüfspannungen.

Prüfempfehlung für neue Kabel

Die FKH hat mit den Hochspannungskabel-Resonanzprüfungen seit den 1980er-Jahren weltweit die mit Abstand längste Erfahrung mit Kabelprüfungen. Aufgrund dieser Erfahrung hat sich in der Schweiz ein Prüfverfahren mit 15 Minuten und leicht höherer Spannung durchgesetzt, als dies in den heutigen internationalen Normen empfohlen wird.

In der 1. Ausgabe der IEC-Publikation 840 von 1988 (heute IEC 60840 für Kabel mit Nennspannungen von 30 kV bis 150 kV) wurden für Vor-Ort-Kabelprüfungen folgende Prüfbedingungen vorgeschlagen:

- AC-Prüfung: $1,7 \times U_0 / 5$ min oder $U_0 / 24$ h
- DC-Prüfung: $4 \times U_0 / 15$ min

Sämtliche Prüfspannungen werden mit einem Prüfspannungsfaktor auf die Phasen-Erde-Spannung U_0 bezogen, die um den Faktor $\sqrt{3}$ kleiner ist als die verkettete Nennspannung U .

Es war schon in den 1980er-Jahren klar, dass die bei Ölkabeln angewandte und effektive DC-Prüfung bei Kunststoffkabeln auch grobe Fehler nicht aufzudecken mag. Nach Ansicht der FKH war die AC-Prüfung mit $1,7 \times U_0 / 5$ min auch nicht geeignet, um kleinere Fehlerstellen, bei denen sich ein Entladungskanal durch Teilentladungen zuerst entwickeln muss, zum Durchschlag zu bringen.

Die FKH hat deshalb bis 2005 fast ausschliesslich mit $2,5 \times U_0$ während 15 Minuten geprüft (gleiche Spannung

wie bei der Werksprüfung). Im Jahr 2005 fanden zwei Besprechungen mit Vertretern von Netzbetreibern, den Schweizer Kabelwerken und der FKH statt. Vor allem vonseiten der Kabelwerke wurde argumentiert, dass die Vor-Ort-Prüfspannung kleiner als die Werksprüfspannung sein sollte. Aufgrund dieser fachlichen Aussprache hat man sich 2005 auf die Prüfpegel nach **Tabelle 2** geeinigt. Die empfohlenen Werte für Vor-Ort-Prüfspannungen während 15 Minuten sind:

- für Spannungsreihen bis 150 kV: $2,2 \times U_0$
- für Spannungsreihen zwischen 220 kV und 275 kV: $2,0 \times U_0$
- für die Spannungsreihe 380 kV: $1,8 \times U_0$

Die meisten in der Schweiz durchgeführten Prüfungen wurden nach diesen Prüfkriterien durchgeführt. In **Tabelle 2** sind zum Vergleich ebenfalls die Prüfpegel für Werks- und Vor-Ort-Prüfungen nach IEC 60840 und IEC 62067 aufgeführt.

Prüfempfehlung für betriebsgealterte Kabel

Gealterte Systeme sind Systeme, die bereits einige Jahre im Betrieb waren. Wenn ein praktisch neues Kabel in den ersten Jahren nach der Inbetriebnahme erneut geprüft werden muss, werden in der Regel die Prüfniveaus für neue Kabelsysteme angewendet.

Kabelsysteme, die bereits Jahrzehnte in Betrieb waren, können aufgrund von Alterungsprozessen gerin-

	Nennspannung verkettet			maximale verkettete Spannung			Phasenspannung für Bestimmung der Prüfspannungen			Spannungstest im Werk			TE-Messung im Werk und vor Ort		vor Ort - neue Kabel					vor Ort - gealterte Kabel		
	U	U_m	U_0	$*U_0$	U_p	Dauer	$*U_0$			nach IEC		nach CH / FKH			nach CH / FKH							
	kV	kV	kV	#	kV	min	#	kV		Tabelle	alternativ	$*U_0$	U_p	t	$*U_0$	U_p	t					
									#	kV	min	#	kV	min	#	kV	min					
IEC 60840	45-47	52	26	2,5	65	30	1,5	39	2,0	52				60	2,2	57	15	2,0	52	15		
	60-69	72,5	36	2,5	90	30	1,5	54	2,0	72				60	2,2	80	15	2,0	72	15		
	110-115	123	64	2,5	160	30	1,5	96	2,0	128				60	2,2	140	15	2,0	128	15		
	132-138	145	76	2,5	190	30	1,5	114	1,7	132				60	2,2	167	15	2,0	152	15		
	150-161	170	87	2,5	218	30	1,5	131	1,7	150				60	2,2	190	15	2,0	174	15		
IEC 62067	220-230	245	127	2,5	318	30	1,5	190	1,4	180	1,7	216	60	2,0	254	15		1,7	216	15		
	275-287	300	160	2,5	400	30	1,5	240	1,3	210	1,7	272	60	2,0	320	15		1,7	272	15		
	380-400	420	220	2,0	440	60	1,5	330	1,2	260	1,7	374	60	1,8	400	15		1,7	374	15		

Tabelle 2 Prüfpegel nach Normen und Praxis in der Schweiz.

gere Reserven aufweisen als neuwertige Kabel. Im Gegensatz zu selbstheilender Isolation (z.B. Luft) kann Kabel-Feststoffisolation während der Lebensdauer des Betriebsmittels altern. Bei der Prüfung gealterter Kabelsysteme wird deshalb ein tieferer Prüffaktor angewendet als bei neuen Kabeln. Der Faktor muss aber hoch genug sein, um die nötige Isolationsreserve nachzuweisen.

In der Praxis tritt häufig das Problem auf, dass einzelne neue Komponenten in ein gealtertes Kabelsystem integriert werden. Wird beispielsweise die Schaltanlage am Kabelende ersetzt, muss meist auch der Kabelendverschluss ausgetauscht und das Kabel neu gesteckt werden. Dem Wunsch, die Qualität der neuen Komponenten zu prüfen, steht der Wunsch gegenüber, das bestehende Kabelsystem nicht zu sehr zu belasten. Bei der Prüfung kann auch ein nicht veränderter Teil des Systems durchschlagen.

Ein Durchschlag während der Prüfung deutet auf eine reduzierte Isolationsreserve hin und könnte auch durch eine entsprechende Überspannung im Betrieb ausgelöst werden, jedoch mit viel gravierenderen Folgen. Bei einem Isolationsversagen während der Prüfung muss wegen der geringen Prüfenergie meist nur eine Kabelgarnitur

ausgewechselt werden. Ein Fehler im Betrieb führt in der Regel zu grösseren Schäden, sodass meist mehr als eine Kabelgarnitur (Kabel bzw. andere Anlagenteile) ausgetauscht werden muss.

Bei der Vor-Ort-Prüfung gealterter Kabel ist der Prüfpegel in Abhängigkeit von der Netz- und Betriebssituation zu wählen. Das Prüfkriterium bei betriebsgealterten Kabeln ist somit immer das Ergebnis einer ökonomischen und technischen Abwägung und soll das Ausfallrisiko während einer gewissen weiteren Lebensdauer in Betrieb möglichst klein halten. Darüber hinaus sollen Schäden durch die Prüfung vermieden werden.

In der FKH-Prüfempfehlung für gealterte Kabel werden nennspannungsabhängig folgende Werte empfohlen:

- Kabelsysteme bis 150 kV weisen konstruktionsbedingt in der Regel geringere Feldbelastungen und damit intrinsisch mehr Reserve auf. Entsprechend ist eine Schädigung durch die Prüfung unwahrscheinlich und eine Reparatur aufgrund der besseren Verfügbarkeit von Ersatzteilen leichter durchführbar. Eine Prüfung gealterter Kabelsysteme wird mit $2 U_0$ für 15 Minuten empfohlen, was 80 % der Werkprüfspannung entspricht.

- Bei Kabelsystemen ab 220 kV wird ein Prüfwert von $1,7 U_0$ für 15 Minuten empfohlen. Die nachzuweisende Isolationsreserve soll den geplanten Weiterbetrieb des Kabelsystems mitberücksichtigen. Die notwendige Reserve ergibt sich aus der geforderten Restlebensdauer für das Kabelsystem sowie der Höhe der zu erwartenden Überspannungen im Betrieb. Wird für Kabelsysteme nur noch eine geringe Restbetriebsdauer angestrebt und sind aufgrund der Betriebssituation des Kabels Überspannungen unwahrscheinlich, kann der Prüfspannungsfaktor für Systeme ab 220 kV auf 1,5 reduziert werden.

Eine Teilentladungsmessung an gealterten Kabelgarnituren wird unabhängig von der Spannungsebene empfohlen. Damit können mögliche kritische Alterungsvorgänge in betriebsgealterten Kabelsystemen frühzeitig erkannt werden. Zudem kompensiert die Teilentladungsmessung bis zu einem gewissen Grad die geringere Aussagekraft der Prüfung, die sich aus dem niedrigeren Prüfpegel ergibt. Im Optimalfall wird an allen Garnituren eine TE-Messung durchgeführt.

Bei Fragen zur Isolationskoordination und Risikoabschätzung in einem konkreten Projekt steht die FKH gerne beratend zur Verfügung.

RÉSUMÉ

Recommandations de test pour les lignes câblées

Résultat de 38 années d'expérience en matière de contrôle sur site

La densité croissante de la population et de l'infrastructure technique en Suisse entraîne l'installation de plus en plus de lignes câblées souterraines. Les câbles sont nettement plus chers que les lignes aériennes, mais ils présentent aussi des avantages en termes de disponibilité: ils ne peuvent, par exemple, pas être atteints directement par la foudre.

Pendant des décennies, la Commission d'étude des questions relatives à la haute tension FKH a contribué à la réalisation de contrôles sur site pour l'assurance qualité de ces lignes câblées. L'analyse des statistiques de 38 années de contrôles de câbles confirme les recommandations de test pratiquées en Suisse pour les câbles neufs et usagés. Les contrôles de câbles sur site, effectués de manière presque standard en Suisse depuis les années 1990 à partir du niveau de tension 45 kV, se sont révélés efficaces pour détecter les points de défaillance des accessoires et, dans certains cas, les dommages aux câbles. Le niveau et la durée d'essai, respectivement $2,2 \times U_0$ (jusqu'à 150 kV) et 15 min, sont appro-

priés pour amener la plupart des points faibles au claquage pendant le test. Ceci est étayé par le fait qu'après la réussite du test sur site, très peu de claquages sont connus pour avoir eu lieu en cours d'exploitation.

Une mesure de décharges partielles effectuée en parallèle au test AC augmente la valeur informative du contrôle et est particulièrement recommandée pour les liaisons câblées importantes. Pour les systèmes de câbles usagés, une mesure de décharges partielles réalisée en parallèle à l'essai haute tension peut révéler d'éventuels points faibles dus au vieillissement.

Chaque test ne reflète toutefois que l'état du système de câbles au moment du test. Il n'est pas possible de se prononcer sur des défauts qui n'apparaissent que plus tard (par exemple en cas d'entrée d'eau dans une extrémité étanche de câble). Au moment du test, il peut être prouvé qu'une réserve d'isolation suffisante est disponible et qu'aucune activité de décharge partielle mesurable n'est détectable.

Fazit

Die in der Schweiz seit den 1990er-Jahren ab der Spannungsebene 45 kV fast standardmässig durchgeführten Vor-Ort-Kabelprüfungen haben sich als wirksam erwiesen, Fehlerstellen beim Zubehör und in Einzelfällen auch Kabelschäden aufzudecken. Der Prüfpegel von $2,2 \times U_0$ (bis 150 kV) und die Prüfdauer von 15 Minuten sind geeignet, die meisten Fehlerstellen während der Prüfung zum Durchschlag zu bringen. Dies wird durch die Tatsache untermauert, dass nur sehr wenige Durchschläge im Betrieb nach bestandener Vor-Ort-Prüfung bekannt sind.

Eine Teilentladungsmessung parallel zur AC-Prüfung erhöht die Aussagekraft der Prüfung und wird insbesondere für wichtige Kabelstrecken empfohlen. Bei gealterten Kabelsystemen kann eine TE-Messung parallel zur Hochspannungsprüfung mögliche

Schwachstellen durch Alterungsvorgänge aufdecken.

Jede Prüfung ist eine Momentaufnahme und gibt nur den Zustand des Kabelsystems zum Zeitpunkt der Prüfung wieder. Es kann keine Aussage über Fehler gemacht werden, die erst nach der Prüfung auftreten (beispielsweise Wassereintritt in einen Kabelendverschluss). Zum Zeitpunkt der Prüfung kann nachgewiesen werden, dass eine ausreichende Isolationsreserve vorhanden ist und keine messbare Teilentladungsaktivität nachweisbar ist.

Referenzen

- [1] H.G. Gerlach, «Hochleistungs-Resonanzanlage für die Wechselspannungs-Isolationsprüfung an Kabeln mit einer Betriebsspannung über 110 kV», Bulletin SEV/VSE 23/1988, S. 1464-1471.
- [2] H. Binz, H.G. Gerlach, «Vor-Ort-Wechselspannungsprüfung an SF₆-Schaltanlagen und an PE-Hochspannungskabeln nach dem Serienresonanz-Prinzip», Bulletin SEV/VSE 13/1988, S. 763-768.

- [3] Th. Aschwanden, «Vor-Ort Prüfung von Hochspannungs-Kabelanlagen», Bulletin SEV/VSE 15/1992, S. 31-40.
- [4] Th. Heizmann, «Ein Beitrag zur Beurteilung des Alterungszustandes von verlegten, kunststoffisolierten Hochspannungskabeln», ETG-Kabelseminar für Spannungen ≥ 20 kV, ETH Zürich, 10.-11. März 1992.
- [5] Th. Heizmann, Th. Aschwanden, H. Hahn, M. Laurent, L. Ritter, «Vor-Ort-Teilentladungsmessung an 170-kV-Kabel-Aufschiebemuffen», Bulletin SEV/VSE 4/1998, S. 35-38.
- [6] G. Storf, Th. Heizmann, Teilentladungserfassung an Hochspannungskabelendverschlüssen und -muffen vor Ort: Methoden und Erfahrungen, 2001.
- [7] R. Bräunlich, Th. Brügger, «Vor-Ort-TE-Detektion an Kabelendverschlüssen mittels Ankoppelvierpol ohne Koppelkondensator?», Fachtagung ETG-VDE Diagnostik, 25.-26.11.2014, Berlin, S. 1-6.

Autoren

Dominic Kleger ist Projektleiter bei der FKH (Fachkommission für Hochspannungsfragen).

→ FKH, 8050 Zürich
→ kleger@fkh.ch

Mario Gobeli ist Projektleiter bei der FKH.
→ gobeli@fkh.ch

Dr. **Thomas Heizmann** ist Fachingenieur bei der FKH.
→ heizmann@fkh.ch

Dr. **Michael Walter** ist Geschäftsleiter der FKH.
→ walter@fkh.ch



Fronius Verto

Komplexe Anlagendesigns, Verschattungen oder andere Herausforderungen sind für den Fronius Verto kein Problem. Jetzt erhältlich in den Leistungsklassen 25, 27, 30 und 33,3 kW.

www.fronius.ch/verto