



HIGHVOLT-Prüfsysteme lassen sich mit wenig Aufwand parallel schalten.

Vor-Ort-Prüfung an Hochspannungskabelanlagen

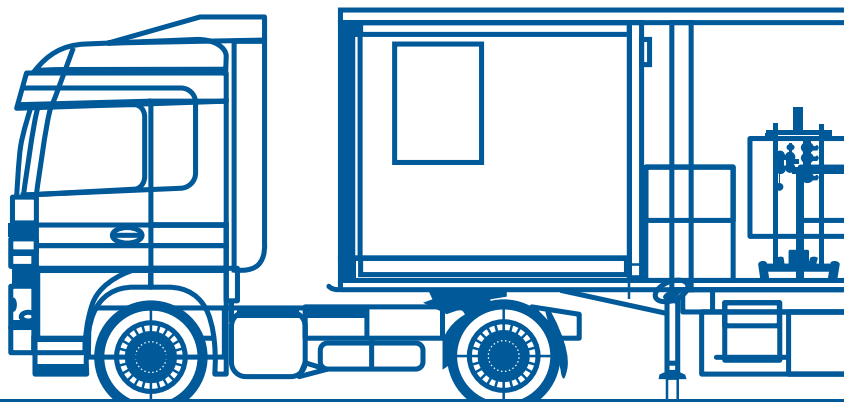
Starkes Team vor Ort:
OMICRON – HIGHVOLT – Kinectrics

Von Mark Fenger, Dr.-Ing. Martin Hinow, Dipl.-Ing. Thomas Steiner, Wolfgang Pichler, Dr.-Ing. Kay Rethmeier und Dr.-Ing. Alexander Kraetge

Sind die umfangreichen Bau- und Montagearbeiten für eine Hochspannungskabelanlage abgeschlossen, beginnt der Job der Prüftechniker. Sie stellen durch eine Inbetriebnahmeprüfung sicher, dass die Kabel ans Netz angeschlossen werden können und nichts gegen einen störungsfreien Betrieb für die nächsten 20 bis 30 Jahre spricht. Um dieser Aufgabe gerecht zu werden, kommen für die Kabelprüfung nur mobile, leistungsstarke Prüfspannungsquellen und verlässliche Messtechnik in Frage.

Das kanadische Unternehmen Kinectrics ist auf Vor-Ort-Messungen an solchen Kabelanlagen spezialisiert. Früher bekannt als »Ontario Hydro Research Division« hat sich Kinectrics seit den 1970ern weltweit einen exzellenten Ruf auf dem Gebiet der Teilentladungsmessung erarbeitet. Für das kanadische Unternehmen ist dabei das OMICRON MPD 600 die erste Wahl, wenn es um leichte und hochpräzise TE-Messtechnik für den rauen Vor-Ort-Einsatz geht.

Zudem benötigen die Prüffingenieure mobile Hochspannungsanlagen, die in der Lage sind, die einige zehn Kilometer langen Kabelanlagen auf Spannungen von mehreren hunderttausend Volt zu bringen. Einer der führenden Anbieter solch leistungsstarker Anlagen ist das Dresdner Unternehmen HIGHVOLT. Der Produzent von mobilen Resonanzanlagen vertraut dabei ebenfalls auf OMICRON-Technologie und rüstet seine mobilen Prüffelder standardmäßig mit der bewährten MPD-Messtechnik aus.



HIGHVOLTs Resonanzprüfsystem WRV ermöglicht die Prüfung eines 400 kV-Kabels: Das Prüfsystem hat eine maximale Ausgangsspannung von 260 kV und kann einen maximalen Prüfstrom von 83 A realisieren. Damit lassen sich beispielsweise ein 400 kV-Kabel mit einer Länge von 8 km oder ein 110 kV-Kabel mit einer Länge von 18 km prüfen. Der LKW-Trailer hat eine Länge von 11 m und ein maximales Gewicht von 34 t.



Kabel im Energieversorgungsnetz

Hochspannungskabel sind wesentliche Bestandteile unserer Energieversorgungsnetze und gewinnen zunehmend an Bedeutung. Besonders in urbanen Gebieten lassen sich größere Energiemengen nur noch über unterirdisch verlegte Kabel transportieren oder verteilen, da neue Freileitungstrassen mehrjähriger Genehmigungsverfahren bedürfen und auch bei der Bevölkerung immer weniger Akzeptanz finden. Die Entwicklungen in der Kabeltechnologie ermöglichen mittlerweile den Einsatz erdverlegter Kabel bis in die 500 kV-Ebene.

Aufgabe der Vor-Ort-Prüfung

Eine dielektrische Stückprüfung nach der Kabelfertigung findet im Kabelwerk als Routineprüfung nach den einschlägigen IEC- bzw. IEEE-Vorschriften statt. Um sicherzustellen, dass eine verlegte Kabelstrecke im Betrieb den dielektrischen Beanspruchungen Stand hält, ist vor der Inbetriebnahme eine Vor-Ort-Prüfung notwendig. Diese soll insbesondere die Fehlerfreiheit der in Handarbeit gesetzten Kabelmuffen (Verbindungsstücke) und der Kabelendverschlüsse sicherstellen, aber auch eventuelle Beschädigungen des Kabels beim Transport bzw. bei der Verlegung feststellen. Bei der Vor-Ort-Prüfung wird das Kabel mit einer Wechsellspannung, die in der Amplitude das 1,3- bis 1,7-fache der Nennspannung betragen kann, eine Stunde lang belastet. Befinden sich Fehlerstellen in den sensiblen Teilen der Kabelisolation, so können diese durch charakteristische Bilder im sogenannten Teilentladungsmuster identifiziert werden.*

**Die Prüfprozeduren sowie die einzuhaltenden Rahmenbedingungen sind detailliert im IEC-Standard 60840 für Kabel über 30 kV und bis 150 kV Nennspannung bzw. im IEC-Standard 62067 für Kabel über 150 kV und bis 500 kV Nennspannung definiert.*



Dr.-Ing. Martin Hinow

Berechnungsingenieur für Systemauslegung, HIGHVOLT

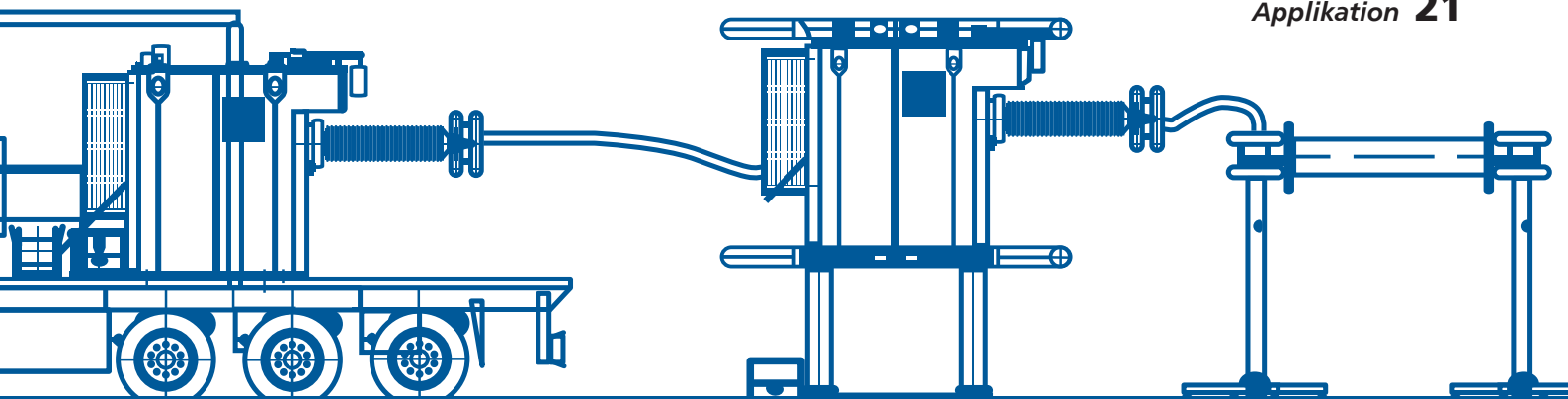
- > Zwischen 2003 und 2008 promoviert er am Institut für Elektrische Energieübertragung und Hochspannungstechnik der ETH Zürich.
- > Seit 2008 bei HIGHVOLT als Systemingenieur verantwortlich für das Stoßspannungs-Prüfsystem sowie für die Planung von Hochspannungs-Prüflaboratorien
- > Mitglied der CIGRÉ-Arbeitsgruppe D1.36 sowie der IEEE



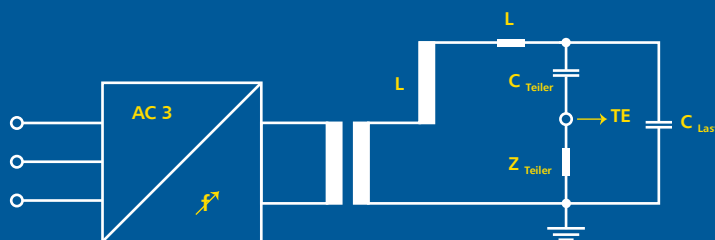
Dipl.-Ing. Thomas Steiner

Bereichsleiter Technik (Technical Director), HIGHVOLT

- > Bis 2005 Leiter des DKD-Kalibrierlabors bei der Dr. STRAUSS GmbH
- > Seit 2005 bei HIGHVOLT und seit 2007 als Bereichsleiter Technik
- > Mitglied in zahlreichen nationalen und internationalen Gremien, wie der DKE K124, in Arbeitskreisen der IEC 61083-1, -2 und -3
- > Deutscher Sprecher des IEC TC 42 sowie Mitglied im MT 07 und MT 16



Ersatzschaltbild eines Resonanzprüfsystems mit variabler Frequenz



Anforderung an ein Vor-Ort-Prüfsystem

Wichtigste Anforderung gegenüber einem stationären Prüfsystem ist natürlich die Mobilität. Dazu zählt nicht nur, dass das gesamte System auf einem LKW-Anhänger Platz findet und straßenbedingte Gewichtsgrenzen nicht überschritten werden. Darüber hinaus muss das Prüfsystem robust ausgeführt sein und den Transport zu den verschiedenen Einsatzorten intakt überstehen. Besonders die sensible Technik muss sicher gelagert werden, sodass die schweren Hochspannungsdrosseln nicht durch Erschütterungen während der Fahrt zum Prüfort beschädigt werden. Da bei der Vor-Ort-Prüfung die zur Verfügung stehende Einspeise-Energie begrenzt ist, muss ein modernes Prüfsystem eine möglichst geringe notwendige Einspeiseleistung aufweisen.

HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH

Die HIGHVOLT Prüftechnik Dresden GmbH ist ein in Dresden ansässiges mittelständisches Unternehmen und ist Mitglied der REINHAUSEN Gruppe. Für den Weltmarkt projiziert und fertigt HIGHVOLT Hochspannungs- und Hochstromprüfsysteme zur Prüfung von Geräten der elektrischen Energieübertragung wie z. B. Transformatoren, Kabeln und Schaltanlagen sowie zur Ausrüstung von Forschungs- und Lehrinrichtungen. Hohe Kunden- und Serviceorientierung, Zuverlässigkeit und Innovationskraft haben HIGHVOLT zum technischen Marktführer weltweit gemacht.

 www.highvolt.de

Gekonntes Nutzen des Resonanzprinzips

Die Prüfspannung wird durch eine Hochspannungsquelle an das Kabel angelegt. Bei dem HIGHVOLT-Prüfsystem WRV bilden Spannungsquelle und Kabel einen Resonanzschwingkreis, bestehend aus Induktivität und Kapazität. Durch einen speziellen Regelkreis im Frequenzumrichter wird die Resonanzfrequenz automatisch eingestellt. Im Gegensatz zu Prüfsystemen mit erzwungener Schwingung wird bei diesem Vor-Ort-Prüfsystem nur jener geringe Anteil an Energie benötigt, welcher den Resonanzvorgang aufrecht erhält. Auf Blindleistung im großen Stil kann verzichtet werden. Das HIGHVOLT Vor-Ort-Prüfsystem wurde mehr als 50-mal geliefert und wird seitdem weltweit erfolgreich eingesetzt.

Schwachstellenanalyse mit dem OMICRON MPD 600

Die für die Analyse der Fehlerfreiheit wichtigen Teilentladungen (TE) werden für kurze Hochspannungskabel in Anlehnung an die Werksmessung nach IEC 60270 durch einen Koppelkondensator ausgekoppelt und dem MPD 600 zugeführt. Bei langen Kabeln werden die Teilentladungssignale jedoch zu stark gedämpft, um am Kabelende empfindlich gemessen werden zu können. Deshalb werden in diesem Fall die Teilentladungen direkt an den sensiblen Stellen (z. B. Kabelmuffen) ausgekoppelt, mit dem MPD 600 erfasst und über einen Lichtwellenleiter störunanfällig an den Messrechner übertragen.

Sofern möglich, werden alle Garnituren, also alle Kabelmuffen und Endverschlüsse, während der einstündigen Spannungsprüfung kontinuierlich auf Teilentladungen überwacht. Für längere Kabelstrecken stellt dies aufgrund der zu überbrückenden

22 Applikation

Distanzen eine gewisse Herausforderung dar: Entweder kommen eine Vielzahl von unabhängigen TE-Messsystemen in jeder einzelnen Muffengruppe zum Einsatz, was mit einem immensen Personalaufwand zur Bedienung der Messsysteme verbunden ist. Oder aber, alle TE-Sensoren werden zu einem großen Netzwerk gekoppelt, das von einem einzigen Bediener bequem vom Kontrollraum der mobilen Prüfanlage aus bedient werden kann. Das OMICRON MPD 600 bietet diese Möglichkeit der zeitsynchronen Kopplung vieler Messstationen und ist dabei weltweit konkurrenzlos.

Testergebnisse

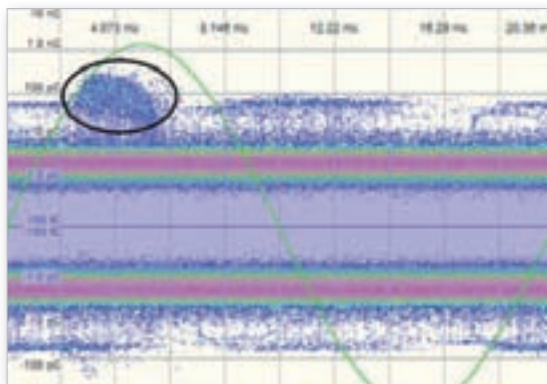
Seit 2005 hat Kinectrics mit der Technik von OMICRON und HIGHVOLT mehr als 1.700 km kunststoffisolierter Hochspannungskabel der Spannungsreihe 115 kV und aufwärts geprüft. Dies entspricht fast 300 einzelnen Kabelphasen mit insgesamt mehr als 2.500 Muffen und über 500 Endverschlüssen. Da es für die Vor-Ort-Teilentladungsmessung zurzeit keinen international

anerkannten Standard mit explizit genannten TE-Grenzwerten gibt, zieht man das weitaus strengere Kriterium der TE-Freiheit heran: Werden kabeltypische Teilentladungsmuster oberhalb des allgegenwärtigen Grundstörpegels detektiert, so gilt dies als kritisch und muss näher analysiert werden. Neben dem absoluten Ladungspegel ist hier die TE-Einsatz- bzw. Aussetzspannung von Interesse. Eine TE-Aussetzspannung von 20% oberhalb der Betriebsspannung gilt dabei noch als akzeptabel.

| Nennspannung in kV | Zubehör-anzahl | Ausfallrate bei AC HiPot | Teilentladungsrate (kein Ausfall) |
|--------------------|----------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 66/69/72 | 156 | 0,00 % | 1,28 % |
| 115 | 18 | 5,56 % | 0,00 % |
| 132/138 | 254 | 0,79 % | 0,91 % |
| 220/230 | 1.239 | 1,78 % | 0,84 % |
| 345/400 | 972 | 0,35 % | 0,31 % |

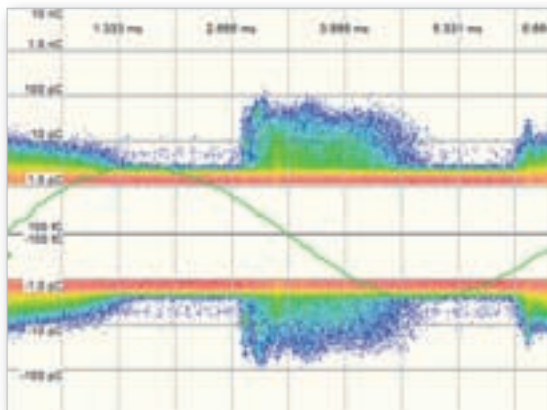
Ausfall- und Teilentladungsraten: Statistische Zusammenfassung der Messergebnisse von Kinectrics. Die TE-Messung findet dabei grundsätzlich parallel zur Stehspannungsprüfung statt.

Messbeispiele



TE-Fehler, aufgenommen an einem 230 kV Endverschluss:

Die Prüfspannung betrug nach Spezifikation des Endkunden 250 kV, also 184% der Nennspannung der Kabelanlage. Zu erkennen ist ein kritisches TE-Muster mit ca. 300 pC maximaler Ladung zwischen 45° und 90° der Prüfspannung, was auf eine Entladung zwischen dem Leiter und einem Hohlraum schließen lässt. Dieser TE-Fehler trat erst nach einer Prüfzeit von ca. fünf Minuten auf, was verdeutlicht, dass es während der einstündigen TE-Messung der erhöhten Aufmerksamkeit des Prüfingenieurs bedarf.



TE-Fehler in einem 72 kV GIS-Endverschluss:

Das phasen aufgelöste Histogramm deutet dabei auf eine Oberflächenentladung hin, wie sie an der Grenzfläche zwischen Kabel und GIS (Gas Insulated Switchgear) innerhalb der Endverschlusskonstruktion auftreten kann. Eine visuelle Inspektion des demontierten Endverschlusses zeigte bereits eine Beschädigung der Oberflächenstruktur, letztlich verursacht durch einen defekten O-Ring im Dichtungssystem des Endverschlusses. Der Endverschluss wurde komplett ausgetauscht und neu montiert. Die Wiederholungsmessung zeigte keine Auffälligkeiten mehr.



Komfortable Bedienung des MPD 600 mittels PC



Mark Fenger

Leiter der Kinectrics Cable Group

- > Seit 1997 Grundlagenforschung über den thermischen und elektrischen Verschleiß von Kunststoffisolierungen und dem dynamischen Teilentladungsverhalten von Hochspannungsübertragungsanlagen
- > Neun Jahre tätig für Kinectrics bzw. Ontario Hydro Research Division
- > Aktives Mitglied der »Dielectric and Electrical Insulation Society and Power Engineering Society« der IEEE

Kinectrics Inc.

Kinectrics, früher bekannt unter dem Namen Ontario Hydro Research Division, mit Hauptsitz in Toronto, Kanada hat über 250 Mitarbeitende. Kinectrics verfügt über mehr als neun Jahrzehnte Erfahrung in der Lösung anspruchsvoller technologischer Herausforderungen von Ontario Hydro sowie weiteren nordamerikanischen und internationalen Energieversorgungsunternehmen.

Der Name Kinectrics steht für umfassende Service- und Ingenieursleistungen in der Energiewirtschaft. Dazu gehören die Planung, wissenschaftliche Beurteilung, Entwicklung, Prüfung und weitreichende Installations- und Wartungslösungen für Energieanlagen.

 www.kinectrics.com

Trends bei der Vor-Ort-Prüfung

Derzeit kristallisieren sich zwei Trends bei der Vor-Ort-Prüfung von Hochspannungskabeln heraus. Zum einen werden Kabel verstärkt in höheren Spannungsebenen installiert, zum anderen steigen die Kabellängen. Dies führt dazu, dass mehrere Prüfsysteme parallel oder in Reihe geschaltet werden müssen um die geforderte Prüfleistung zu erbringen.

Nach einigen Jahren und vielen geprüften Systemkilometern kann als gesichert gelten, dass die kombinierte Stehspannungsprüfung mit zeitgleicher synchroner TE-Messung an allen kritischen Garnituren eine sehr erfolgreiche Maßnahme zur Vermeidung von Frühausfällen ist. Die Teilentladungsmessung hat dabei dazu beigetragen, lebensdauerlimitierende Fehlstellen in Muffen und Endverschlüssen rechtzeitig aufzudecken. Mit dem MPD 600 steht ein Vor-Ort-taugliches Messinstrument zur Verfügung, das selbst räumlich ausgedehnte Messobjekte wie Hochspannungskabelanlagen empfindlich überwachen und analysieren kann.