



Abbildung 1. Mit kompakten und transportablen Geräten wie frida TD lässt sich die $\tan\delta$ -Diagnose durchführen. Asset-Manager erhalten so wichtige Daten, um die Restlebensdauer von Kabeln zu bestimmen

Bildquelle (alle Bilder): Baur

Methodenkombination für eine zuverlässigere Kabelzustandsbewertung

Die Restlebensdauer von Mittelspannungskabeln bestimmen

Damit Verteilnetzbetreiber Kabel möglichst lange nutzen können, ohne die Versorgungssicherheit zu gefährden, müssen sie deren Zustand gut kennen. Viele Betreiber nutzen schon die Teilentladungsmessung, um Schwachstellen aufzudecken und Ausfällen vorzubeugen. Weniger oft kommt die Verlustfaktormessung zur Anwendung. Doch gerade dieses Verfahren liefert verlässliche Daten, um den Alterungszustand eines Kabels und seine Restlebensdauer zu ermitteln. Nur die Anwendung beider Diagnoseverfahren ergibt die notwendigen Informationen für das Asset-Management. Die Verlustfaktor- und Teilentladungsmessung können sogar in einem Messzyklus ablaufen und optional mit einer Kabelprüfung kombiniert werden.



Josua Sabo, Senior Sales & Applikationsingenieur, Baur GmbH, Sulz (Österreich)

Viele Netzbetreiber nutzen die Teilentladungsmessung, um bestehende, reparierte oder neue Kabelstrecken zu überprüfen. Die Teilentladungsmessung deckt potenzielle Schwachstellen in Kabeln und Garnituren auf, wie

- Fehler an Garnituren, beispielsweise unsachgemäß montierte Muffen oder Endverschlüsse
- Defekte in der Isolierung von VPE-Kabeln (Electrical-Trees)
- unzureichende Papier-Masse-Isolierung aufgrund von Austrocknung

- mechanische Schäden am Kabelmantel

Die Teilentladungsmessung gibt jedoch kein komplettes Bild vom Zustand eines Kabels. Ähnlich wie ein Arzt oder eine Ärztin verschiedene Methoden beim Gesundheitscheck miteinander kombiniert – zum Beispiel die persönliche Untersuchung mit Laboranalysen – sollte für die Kabeldiagnose ein weiteres Verfahren mit einbezogen werden, um vollständige und verlässlichere Informationen über den Kabelzustand zu

erhalten: die Verlustfaktormessung (auch $\tan\delta$ -Messung genannt).

Das Alter der Kabelisolierung bestimmen

Die Verlustfaktormessung erlaubt Rückschlüsse auf den Zustand der gesamten Kabelstrecke und ist dabei ein völlig zerstörungsfreies Verfahren für das Kabel. Der dielektrische Verlustfaktor $\tan\delta$ ist das Verhältnis von Wirkleistung zu Blindleistung. Sein Wert liefert Informationen zum Zustand der Kabelisolation und deren Alterung.

Die Messung (siehe Abbildungen 1 und 2) des $\tan\delta$ erfolgt bei Geräten von Baur über mehrere, einstellbare Spannungsstufen mit einer ideal geformten, niederfrequenten Sinusspannung (siehe Kastentext zum »truesinus«). Bei gealterten Kabeln ergibt sich ein charakteristischer Anstieg des Verlustfaktors bei steigender Messspannung, was bereits eine Klassifikation der Kabel ermöglicht, etwa in die Klassen »gut«, »zu beobachten« und »schlecht«. Doch diese grobe Klassifikation ist nicht das einzige Ergebnis; die Verlustfaktormessung liefert Hinweise auf

- durch Wasser geschädigte Stellen (Water-Trees) in der Isolierung von VPE-Kabeln, die später zu Electrical-Trees – und somit zu Fehlern – führen können
- Störstellen in der Isolierung von Papier-Masse-Kabeln durch Austrocknen oder wegen Feuchtigkeit
- Feuchtigkeit in Kabelabschnitten, Muffen oder Endverschlüssen
- mögliche Teilentladungen
- potenzielle Alterungseffekte

Aufgrund der Informationen, die Asset-Manager durch die Verlustfaktormessung gewinnen, können sie den Ersatz alter Kabel auf Basis des tatsächlichen Alterungszustandes planen. Die Erfahrung zeigt: Viele Kabelstrecken sind in einem deutlich besseren Zustand, als man es aufgrund der Betriebsdauer vermuten würde. Solche Kabel können daher noch einige Jahre weiter betrieben werden, was die Netzzinstandhaltungskosten massiv senkt. Um die Restlebensdauer zuverlässig zu bestimmen, bietet sich die Analyse der $\tan\delta$ -Werte mit der Software statex an (dazu weiter unten mehr).

Die Teilentladungsmessung oder Verlustfaktormessung liefern für sich

Kabeldiagnose mit 0,1-Hz-Sinusspannung

Für die im Text beschriebenen Diagnosemessungen und die Kabelprüfung wird bei Baur-Geräten eine sogenannte truesinus-Spannungsquelle verwendet. Die Spannungsquellen sind handlich und sorgen für äußerst zuverlässige Ergebnisse. Außer der ideal geformten, niederfrequenten Sinusspannung (VLF = Very Low Frequency mit 0,1 Hz) liefern die Quellen auch die zur Kabelmantelprüfung erforderliche Gleichspannung.

Der truesinus führt zu präzisen und reproduzierbaren Messwerten bei der $\tan\delta$ - und der Teilentladungsmessung. Gerade für die zur Zustandsbewertung wichtige $\tan\delta$ -Messung ist die VLF-Sinusspannung besser geeignet als andere übliche Spannungsformen oder Frequenzen, denn sie gestattet das Erkennen selbst kleinster Änderungen.

Die Vorteile des truesinus sind:

- lastunabhängige Messergebnisse
- höchste Genauigkeit bei der $\tan\delta$ -Messung
- reproduzierbare Messergebnisse
- Prüfung und Diagnosemessungen parallel möglich (Monitored Withstand Test)
- kurze Messdauer
- kompakte Spannungsquellen



Abbildung 2. Die Ergebnisse der Verlustfaktormessung lassen sich vor Ort oder im Büro mit der Baur Software 4 auswerten

schon wertvolle Informationen über den Kabelzustand, betrachtet man ihre Ergebnisse im Kontext, ergibt sich jedoch ein Mehrwert und ein klareres Bild vom Kabelzustand. Wie gut sich die beiden Methoden ergänzen, verdeutlicht ein Beispiel: Teilentladungen in Garnituren werden durch Feuchtigkeit und Wassereintritt beeinflusst, doch die Feuchtigkeit lässt sich bei einer Teilentladungsmessung nicht feststellen, wohl aber durch die Verlustfaktormessung. Ergibt die $\tan\delta$ -Messung,

dass die Garnitur trocken ist, lassen sich somit die Ergebnisse der Teilentladungsmessung besser bewerten.

Messung des Verlustfaktors ohne Mehraufwand

Die Verlustfaktormessung liefert also einen Zusatznutzen, kostet aber quasi keine zusätzliche Zeit, denn die Teilentladungs- und Verlustfaktormessung können in einem Messzyklus gleichzeitig ablaufen. Auch die Kombination von Kabeldiagnose

und Kabelprüfung in einen sogenannten Monitored Withstand Test (MWT) ist möglich. Der MWT liefert wichtige Informationen für die Zustandsbewertung und erlaubt es, die Prüfdauer an den Kabelzustand anzupassen. Das Kombi-Verfahren ist von Gremien wie IEEE und IEC anerkannt und wird für betriebsgealterte Kabelanlagen empfohlen. Beim »Full MWT« wird außerdem begleitend eine Teilentladungsmessung durchgeführt (Abbildung 3).

Der in Baur-Geräten programmierte Ablauf des MWT ist zweigeteilt: In der ersten Phase erfolgen die Diagnosemessungen, wobei die Messspannung kabelschonend und schrittweise ansteigt. Die Ergebnisse liefern einen ersten Eindruck vom Kabelzustand, sodass überalterte Kabel sofort erkannt werden können. Besteht der Verdacht auf ein vorgeschädigtes Kabel, lässt sich der Ablauf abbrechen, um das Kabel nicht dem Stress der noch höheren Prüfspannung auszusetzen.

Ist das Kabel in ausreichend gutem Zustand, wird in der zweiten Phase die Kabelprüfung durchgeführt und gleichzeitig die $\tan\delta$ -Diagnose fortgesetzt. Dadurch lässt sich das Verhalten des Verlustfaktors über die Zeit messen, was zusätzliche Informationen über den Kabelzustand liefert. Bei guten Diagnosemesswerten lässt sich die Kabelprüfung auf 15 min. verkürzen, um das Kabel nicht unnötig lange mit der Prüfspannung zu belasten.

Umgekehrt kann die Prüfdauer verlängert werden, um bei kritischen Kabeln weitere Messwerte, insbesondere zum Driften des $\tan\delta$ über die Zeit, zu sammeln. Die Praxis hat bereits gezeigt, dass ein starker Anstieg des $\tan\delta$ in dieser Phase der MWT-Messung eine Schwachstelle mit Teilentladungen aufdecken kann. Die Full-MWT-Messung erlaubt dann die sofortige Ortung und Bewertung der Teilentladungsstelle.

Restlebensdauer bestimmen mit statex

Eine Auswertung der Messergebnisse und der Vergleich mit vergangenen Messungen oder gleichartiger Kabelstrecken ist bereits mithilfe der Baur Software 4 möglich (Abbildung 4). Die Software dient zudem dem Aufzeichnen der Messwerte sowie

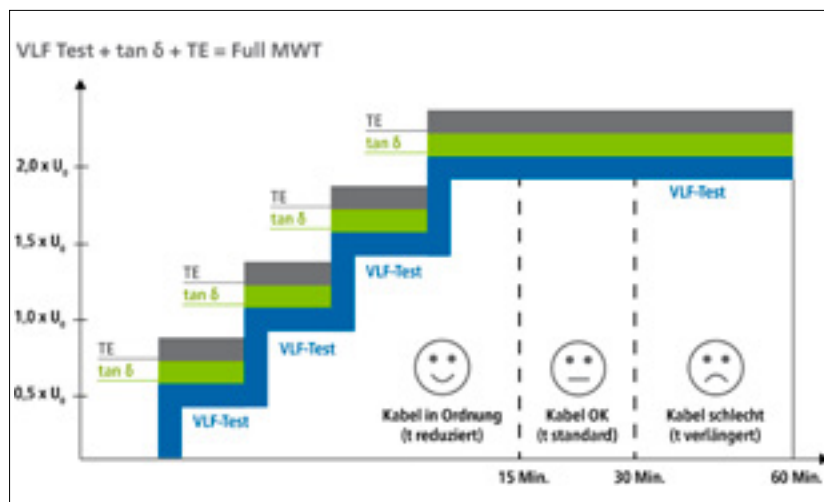


Abbildung 3. Im sogenannten Full-MWT (Full-Monitored-Withstand-Test) werden die Verlustfaktor- ($\tan\delta$) und Teilentladungsmessung (TE) mit der Kabelprüfung in einem Ablauf kombiniert. Die Prüfdauer kann je nach Kabelzustand verkürzt oder verlängert werden



Abbildung 4. In der Baur Software 4 können Messtechniker die Messabläufe durchführen, die Ergebnisse bereits während der Messung betrachten und aussagekräftige Berichte erstellen. Netzbetreiber können auch unternehmensindividuelle Messabläufe und so die geeignete Messmethode für ihre eigene Diagnosephilosophie vorgeben

dem schnellen Erstellen von aussagekräftigen Messberichten. Sie ermöglicht auch, eigene Messabläufe und Grenzwerte für den weitgehend automatischen Messablauf zu definieren. Die Office-Version der Software gestattet die weitere Auswertung und Ablage der Messergebnisse für das Asset-Management. Einen Schritt weiter geht die Analyse mithilfe der Baur-Software statex. Sie wurde von Korea Electric Power Cor-

poration (KEPCO) in Zusammenarbeit mit Baur entwickelt.

Die Analysesoftware statex wertet die Daten der $\tan\delta$ -Messung aus und berechnet die statistische Restlebensdauer von Kabeln mit einem patentierten Algorithmus. Sie stützt sich auf einen großen Datenpool, in dem die Messergebnisse von mittlerweile 120 000 kunststoffisolierten und Papiermasse-Kabeln sowie Mischstrecken hinterlegt sind (Abbil-

ung 5). Die Auswertung mit statex ermöglicht eine deutlich exaktere Beurteilung des Kabelzustands als zum Beispiel eine einfache Bewertung nach IEEE-Kriterien. Anwender konnten dank der Analyse die Einsatzdauer ihrer Kabel oft um etliche Jahre verlängern.

Zudem gibt statex Empfehlungen, wann die nächste Kabeldiagnose stattfinden sollte oder Instandhaltungsarbeiten an Garnituren oder der Ersatz des Kabels einzuplanen sind. Dadurch lassen sich die Diagnosekosten senken, da keine festen Intervalle für Wiederholungsprüfungen vorgesehen werden müssen. Bei Wiederholungsmessungen an derselben Kabelstrecke bezieht die Software die früheren Messungen mit ein und präzisiert die Restlebensdauer-Prognose.

Austausch aufschieben, Netzkosten senken

Welches Einsparpotenzial die Restlebensdauerberechnung mit statex eröffnet, zeigen die beiden folgenden Beispiele.

Beispiel 1: Für ein 2 000 m langes, in den 1980er Jahren installiertes Bleimantelkabel wurde Ersatz geplant. Die Austauschkosten würden sich auf ca. 300 000 Euro belaufen. Ursprünglich wollte der Netzbetreiber den Zeitpunkt des Austauschs vom Bestehen einer Kabelprüfung mit 3 x U0 über 15 min abhängig machen. Bei erfolgreicher Prüfung könnte das Kabel für weitere zehn Jahre in Betrieb bleiben, anderenfalls sollte es ersetzt werden.

Diagnosemessungen an dem Kabel zeigten keine Teilentladungen und stabile Werte des $\tan \delta$ in Anbetracht des Alters der Kabelstrecke. Der Kabelzustand ist also ausreichend und ein baldiger Austausch nicht erforderlich. Die Software statex hat eine geringe Alterungsgeschwindigkeit festgestellt und prognostizierte eine zuverlässige Restlebensdauer von weiteren 20 Jahren. Um diese Aussage zu präzisieren, empfiehlt statex eine Wiederholungsmessung nach zehn Jahren. Sollte das Kabel somit zehn Jahre länger in Betrieb bleiben, als der Netzbetreiber bei bestandener Kabelprüfung vorgesehen hat, ergäben

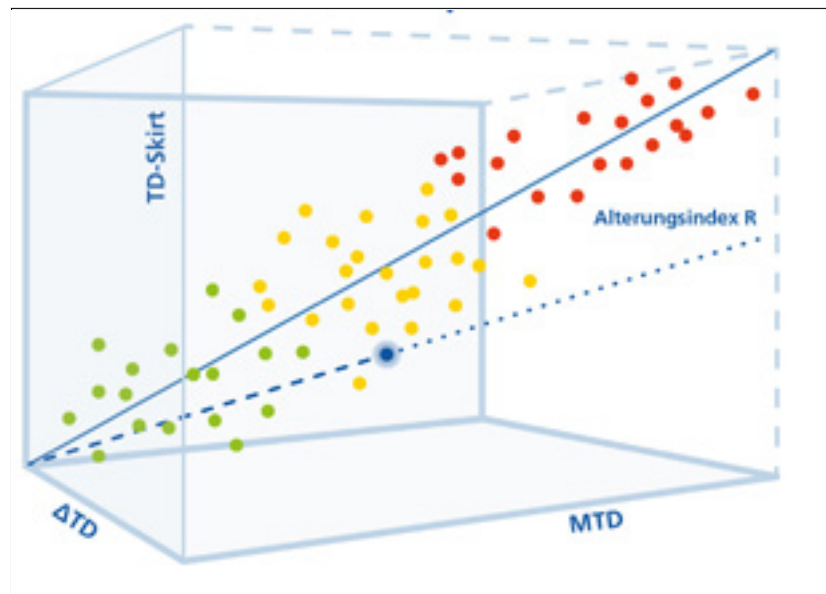


Abbildung 5. Die Analysesoftware statex berechnet auf Basis der Verlustfaktormessung die Restlebensdauer. Die Software empfiehlt zudem, wann eine Nachmessung erfolgen sollte

sich Einsparungen von mindestens 100 000 Euro, wahrscheinlich sogar deutlich mehr, wenn man die Teuerung im Laufe von 20 Jahren mitberücksichtigt.

Beispiel 2: Ein Polyethylen-Kabel (PE) der ersten Generation, das in den 1980er Jahren installiert wurde, hat das geplante Ende seiner Lebensdauer erreicht. Es wurde davon ausgegangen, dass das 2 000 m lange Kabel Water-Tree-Alterungen aufweist. Auch hier hatte das Energieversorgungsunternehmen ursprünglich eine Kabelprüfung über 15 Minuten geplant, um über den eventuellen weiteren Einsatz des Kabels zu entscheiden. Bei Nichtbestehen der Prüfung wäre ein Austausch mit Kosten von etwa 300 000 Euro fällig geworden.

Die Kabeldiagnose zeigte, dass vor allem Leiter 1 Water-Trees aufwies und stark gealtert war. Es wurden jedoch keine Teilentladungsaktivitäten festgestellt. Bei einer Kabelprüfung wäre der Leiter 1 des Kabels wahrscheinlich nach wenigen Minuten ausgefallen. Die Analyse mit statex ergab jedoch, dass das Kabel ohne die Belastung einer VLF (Very Low Frequency)-Prüfung weitere acht Jahre lang in Betrieb bleiben könnte; eine erneute Messung wird nach vier Jahren empfohlen. Das Verlängern der Lebensdauer um weitere acht

Jahre entspricht hier einer Einsparung von mindestens 60 000 Euro.

Fazit

Die Beispiele verdeutlichen den wirtschaftlichen Nutzen der Verlustfaktormessung und der Ergebnisauswertung mit statex. Sicherlich sind nicht in allen Fällen längere Nutzungszeiten zu erwarten. Die Praxis hat jedoch gezeigt, dass Kabel im Durchschnitt mehrere Jahre länger in Betrieb bleiben können, als wenn die Restlebensdauer anhand ihrer Betriebsdauer oder nach IEEE-Kriterien abgeschätzt wird. Mehrwert liefert die $\tan \delta$ -Diagnose auch für die Teilentladungsmessung – deren Ergebnisse lassen sich bei Kenntnis des Verlustfaktors besser beurteilen. Da sich die Teilentladungs- und Verlustfaktormessung in einem Messablauf kombinieren lassen, können Asset-Manager ohne einen nennenswerten Zeitaufwand bei der Messung weitere Informationen über die gemessenen Kabelstrecken erhalten – Informationen, die essenziell sind, um die Restlebensdauer der Kabel zuverlässig zu bestimmen und Ersatzinvestitionen bedarfsorientiert statt unter Zeitdruck zu planen.

ja.sabo@baur.eu

www.baur.eu/de