

## Restlebensdauer von Mittelspannungskabeln

# Neue Möglichkeiten der weiterentwickelten Verlustfaktor-Diagnostik

Hinsichtlich der Verlustfaktor-Diagnose und der damit zusammenhängenden Zustandsanalyse an Mittelspannungskabeln halten sich viele veraltete, widersprüchliche oder falsche Vorstellungen. Dabei hat sich diese Methode zu einem umfassenden und zeitgemäßen Verfahren weiterentwickelt. Thorsten Schlender zeigt die gegenwärtigen Möglichkeiten und Grenzen dieser Technologie auf.

Die Erfahrungen der Baur GmbH im Bereich der Zustandsbestimmung von Mittelspannungskabeln durch Verlustfaktormessungen (TD-Diagnostik) reichen zurück bis in die 1990er Jahre. Seit nunmehr 30 Jahren liefert das Unternehmen dafür die Messtechnik und konnte so einen umfassenden Erfahrungsschatz aufbauen. Im Folgenden wird gezeigt, dass sich die Technologie stetig weiterentwickelt hat – von der Messung eines TD-Mittelwerts über die Einführung neuer Auswerteparameter und Grenzwerte bis hin zur Bestimmung der Restlebensdauer von Mittelspannungskabeln.

Mit der Einführung der Analysesoftware statex ist der neueste Meilenstein in der Geschichte der Kabeldiagnostik gesetzt. Damit steht nun eine Software zur detaillierten Bestimmung des Alterungszustands, der Alterungsgeschwindigkeit und der statistischen Restlebensdauer zur Verfügung.

In statex wird zusätzlich zu den herkömmlichen Bewertungsparametern gemäß IEEE 400.2 (SDTD, MTD und  $\Delta TD$ ) der neue Parameter TD-Skirt berücksichtigt, der die Zeitstabilität des Verlustfaktors aufzeigt. Dies ermöglicht die Berechnung des Alterungsindex und der Alterungsgeschwindigkeit der Kabelstrecke. Ebenso kann eine genaue Empfehlung abgegeben werden, wann eine Nachmessung erfolgen soll oder ob Arbeiten, wie der Austausch einer Teilstrecke, erforderlich sind (Bild 1).

### Probleme bei bisherigen Versuchen, die Restlebensdauer zu bestimmen

Hinter einem Kabelfehler können sich verschiedene Mechanismen eines Durchschlags verbergen. Es ist daher nicht möglich, die Restlebensdauer anhand einer einfachen analytischen Formel zu bestimmen. Dieses Problem wurde von Baur umgangen, indem die

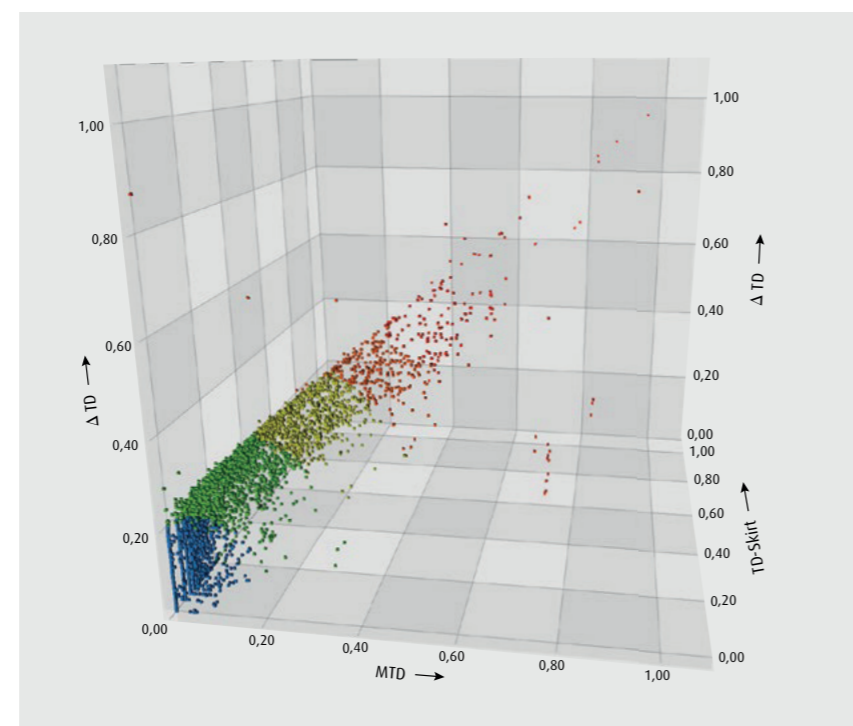


Bild 1. 3D-Cluster Darstellung des Alterungsindex – jeder Punkt entspricht einer Diagnosemessung

Lösung auf Statistik und Erfahrung beruht. Der erste Schritt zur Bestimmung der Restlebensdauer ist dabei die Beurteilung des Alterungszustands.

Auf den Alterungszustand eines Mittelspannungskabels haben sehr viele Faktoren einen mehr oder weniger starken Einfluss. Zu diesen gehören unter anderem:

- elektrische Last
- mechanische Beanspruchung
- thermische Beanspruchung
- chemische Vorgänge
- Feuchtigkeit
- Montage- und Installationsqualität
- Materialfehler

- Qualitätsunterschiede verschiedener Hersteller von Kabeln und Garnituren.

Viele dieser Einflussfaktoren sind nicht bekannt oder können nur mit viel Aufwand in Erfahrung gebracht werden. Welcher Last war das Kabel in den vergangenen 30 Jahren ausgesetzt? Wie viele Kurzschlüsse hat es gegeben? Welche Art von Muffen wurden verbaut und von welchem Hersteller?

In welcher »Tagesform« war der Monteur, der sie installiert hat? Um dieses Informationsdefizit zu umgehen, wird der Umstand genutzt, dass alle diese Faktoren einen Einfluss auf die Diagnosegrößen haben (Bild 2).

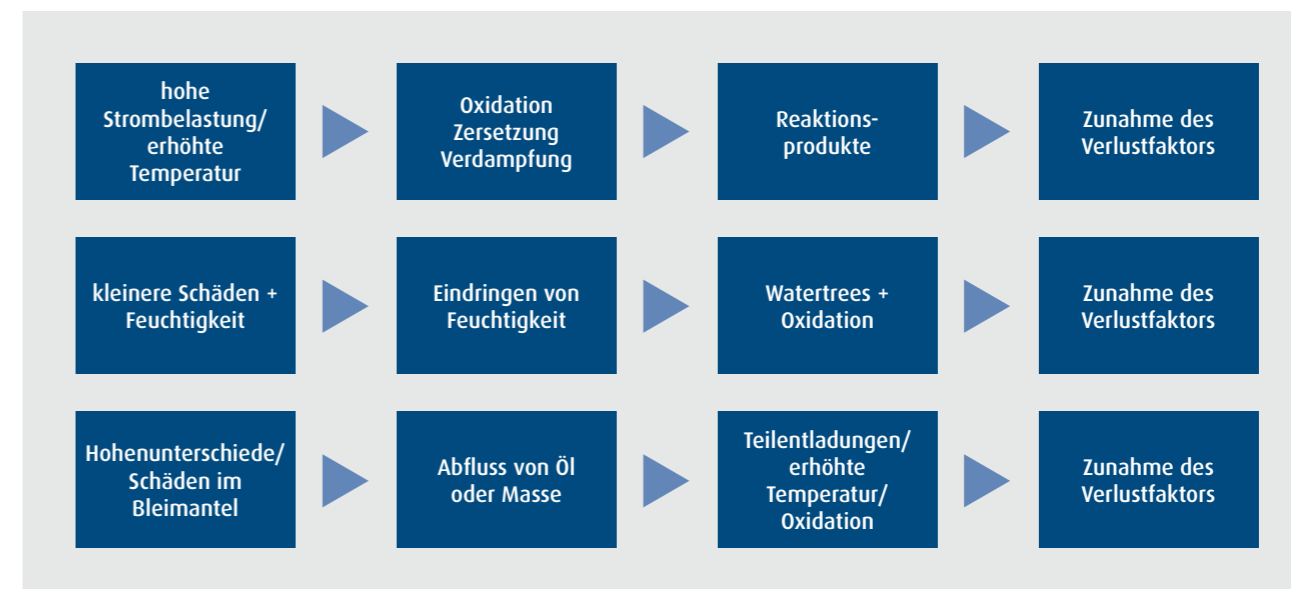


Bild 2. Alterungsprozesse bei Kunststoff- und Papier-Masse-Kabeln in Anlehnung an NEETRAC Diagnostic Testing of Underground Cable Systems 12.2010

### Weiterentwicklungen in der Verlustfaktor-Diagnostik

#### Statistik und Erfahrung

Die jahrzehntelange Erfahrung und eine Datenbank mit nunmehr über 100 000 Messungen stellt die Basis für diverse Weiterentwicklungen in der Kabeldiagnostik dar. Es konnten neue Erkenntnisse gewonnen werden, zum Beispiel, dass eine Badewannenkurve für das Alterungsverhalten von Mittelspannungskabeln nicht zutreffend ist (Bild 3).

Auch neue Grenzwerte für verschiedene Isolierungen, neue Bewertungskriterien wie TD-Skirt und neue Methodenkombinationen wie Full-MWT (gleichzeitige Prüfung und TD/TE-Diagnose) sind nur einige der diversen Fortschritte, die in den vergangenen Jahren erreicht wurden.

#### Zusätzliche Informationen durch gleichzeitige Diagnose

Kabelprüfung, Verlustfaktor- und Teilentladungsmessung ergänzen sich ideal, da sowohl der Gesamtzustand als auch Einzelfehler des Kabels erkannt und geortet werden können. Durch parallele Prüfung und Diagnosemessungen lassen sich so zusätzliche Informationen ohne Mehraufwand gewinnen.

#### Erkennung von Water-Trees ist nicht mehr zentrales Einsatzgebiet

Ursprünglich wurde die TD-Diagnose vermehrt bei durch Water-Trees (WT) geschädigten Kabeln eingesetzt. Durch neue quer- und längswasserdichte Kabel tritt dieses Einsatzgebiet immer mehr in den Hintergrund. Die heutigen Anwendungen sind dafür umso interes-

santer. Es wird nicht mehr nur ermittelt, ob Water-Trees vorhanden sind oder nicht, sondern wie der generelle Alterungszustand des Kabels ist. Die TD-Diagnose und statex funktionieren also auch, aber nicht ausschließlich bei durch WT gealterten Kabeln.

#### Einsparung von Ressourcen durch intelligente Auswahl der Prüflinge

Eine weitere Erkenntnis, die bei der Analyse von TD-Messungen gewonnen wurde, ist, dass die Verlustfaktorwerte bei neuen oder erst kürzlich gelegten Kabeln erhöhte Werte aufgrund von Vernetzungsspaltprodukten zeigen. Der Verlustfaktor nimmt in diesen Fällen

mit der Zeit ab. Erst wenn er wieder ansteigt, ist eine Messung zur Zustandsbestimmung sinnvoll. Daher wurde der DSP (Degradation Starting Point – statistischer Alterungsbeginn) eingeführt. Durch chemische Analysen, die in jedem Betriebsjahr durchgeführt wurden, konnte gezeigt werden, dass bei vielen Kabeltypen eine Alterung ab dem dreizehnten Jahr beginnt. Dieses Ergebnis stimmen mit den Beobachtungen der Kabelhersteller überein.

Durch den Verzicht auf TD-Messungen an Kabeln, die den statistischen Alterungsbeginn noch nicht erreicht haben, werden Kapazitäten frei. Diese können

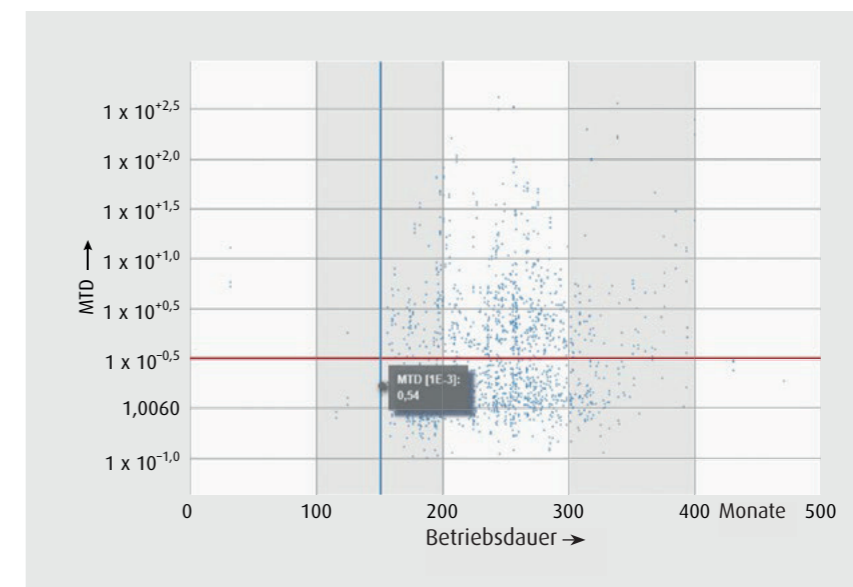


Bild 3. Eine statistische Auswertung einiger Tausend Diagnosemessungen zeigt, dass das Alterungsverhalten nicht einer Badewannenkurve folgt, sondern eine breite Streuung aufweist.

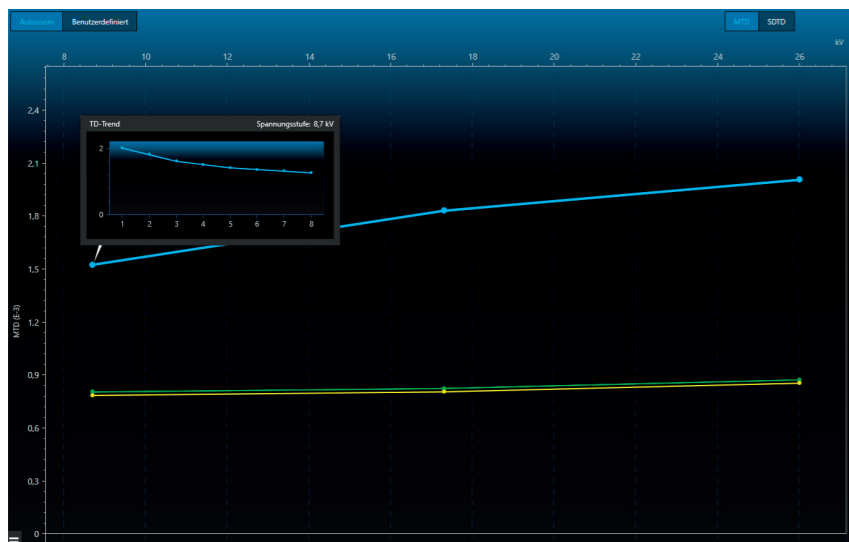


Bild 4. Feuchtigkeit in Muffe auf L1 (blau) ist durch fallendes Trendverhalten zu erkennen

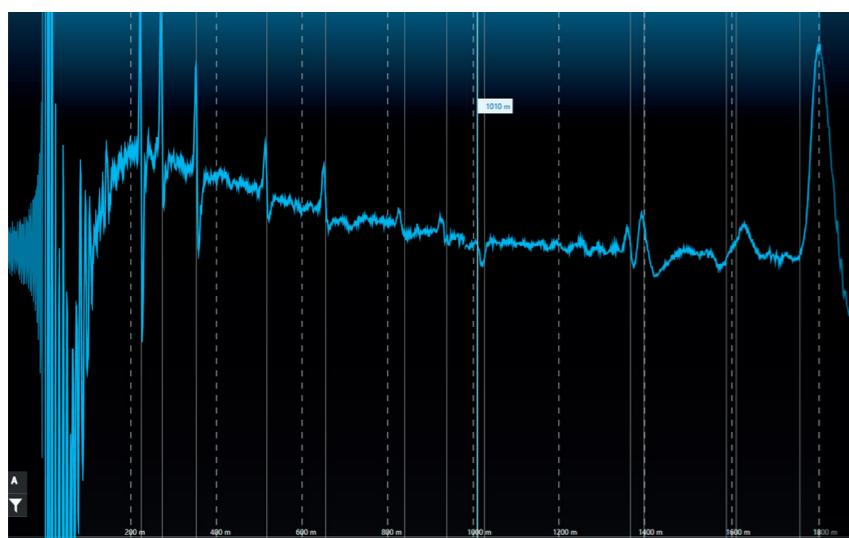


Bild 5. TDR-/Kalibrierkurve mit Feststellung einer Muffe mit Wassereintritt bei 1 010 m

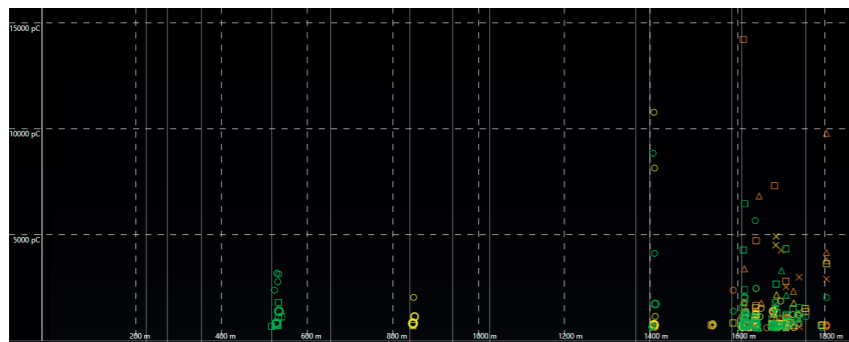


Bild 6. Die bei der TD-Messung auffällige nasse Muffe ist bei der TE-Messung nicht erkennbar

genutzt werden, um stark gealterte und/oder kritische Kabelstrecken zu diagnostizieren.

**Verlustfaktor-Diagnostik zum Aufdecken lokaler Schwachstellen**

Die Abhängigkeit des Verlustfaktors von der Spannung und das Trendverhalten

innerhalb einer Spannungsstufe sind gut dazu geeignet, eine Beeinflussung durch Garnituren zu erkennen. Nasse Muffen lassen sich beispielsweise durch einen abfallenden TD-Trend identifizieren (Bild 4). Die Position der Muffe kann dann über eine TDR-Messung festgestellt werden (Bild 5). Eine Teilent-

ladungsmessung wäre für einen solchen Anwendungsfall nicht ausreichend, da Teilentladungen bei hoher Feuchtigkeit oft nicht zu erkennen sind (Bild 6).

Sowohl für Feuchtigkeit als auch für Teilentladungen in Garnituren wird empfohlen, einzelne Garnituren zu erneuern, um bessere Ergebnisse zu erlangen und um genauere Restlebensdauern ermitteln zu können. Gerade bei kurzen Kabeln oder bei Kabeln mit geringen TD-Werten fallen einzelne fehlerhafte Garnituren mehr ins Gewicht und sollten daher ausgetauscht werden. Bild 7 zeigt ein vereinfachtes Flussdiagramm, das als Handlungsempfehlung dienen soll: An einem Mittelspannungskabel wird entweder planmäßig oder ereignisorientiert (nach Fehler und Reparatur) eine TE- und TD-Diagnose durchgeführt. Sind bei dieser Messung Teilentladungen oder Einfluss von Feuchtigkeit erkennbar, sollten erforderliche kurzfristige Maßnahmen durchgeführt werden. Ist das Kabel (dann) teilentladungsfrei und nicht durch Feuchtigkeit beeinträchtigt, kann durch stalex die Restlebensdauer und das Datum der Nachmessung bestimmt werden.

**Externe Einflussfaktoren lassen sich kompensieren**

Externe Einflussfaktoren wie Teilentladungen oder Ableitströme können das Ergebnis einer TD-Diagnose beeinflussen. Allerdings lassen sie sich auch ohne großen Aufwand kompensieren. Korona-Teilentladungen am Anschlusspunkt und am Ende der Kabelstrecke können mit Abschirmhauben – zum Beispiel Alu-Halbschalen – verhindert werden.

Ableitströme fließen über die Oberfläche der Endverschlüsse gegen Erde ab und beeinflussen so das Messergebnis. Mithilfe von Kupferbändern, die um die Endverschlüsse gelegt werden, lassen sich diese Ströme ableiten, messen und kompensieren.

**Verlustfaktor-Diagnose ist an allen Typen von Mittelspannungskabeln möglich und sinnvoll**

Verschiedene Kabeltypen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer TD-Werte. Papier- Masse-Kabel, Kunststoffkabel der ersten und zweiten Generation zeigen große Unterschiede in ihren Messwerten. Auch innerhalb dieser Unterteilung gibt es weitere Differenzierungen, beispielsweise unterscheiden sich homo- und copolymere Kabel besonders hinsichtlich ihrer MTD-Werte (mittlere TD-Werte je Spannungsstufe). Da dieses Verhalten keine neue Erkenntnis

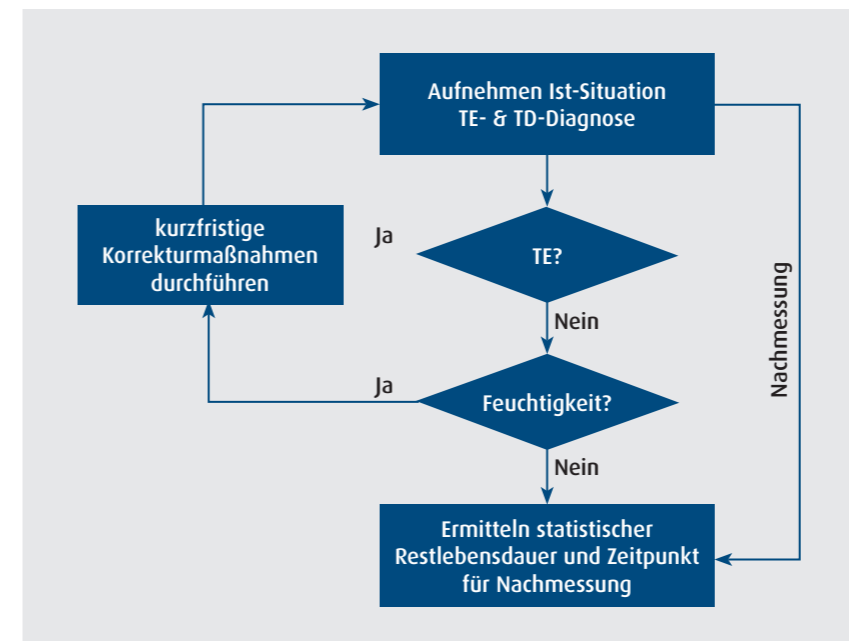


Bild 7. Schema: kurzfristige Korrekturmaßnahmen und Ermittlung der Restlebensdauer

ist, wurden bereits im Anhang der IEEE 400.2-2013 die Grenzwerte für verschiedene Kabeltypen hinterlegt.

Darüber hinaus ist es in stalex möglich, verschiedene Isolierungen und deren Unterkategorien anzulegen. Damit lassen sich beispielsweise Mischkabelstrecken mit unterschiedlichen Anteilen aus VPE-Kabelabschnitten getrennt voneinander betrachten. Auch die Bestimmung der Restlebensdauer von Mischkabelstrecken wird so möglich (Bild 8).

Besonders interessant sind TD-Analysen bei copolymeren VPE-Kabeln (ungefähr ab 2005), da hier der Einfluss von Strom-

belastung, Temperaturänderungen, Oberwellen etc. auf das Alterungsverhalten noch wenig erforscht ist. Hier ist es sinnvoll, schon frühzeitig in die Sammlung und Analyse der Diagnosedaten zu investieren, um die Alterung zu überwachen und künftige Ausfälle zu vermeiden.

**Fazit**

Es wurde gezeigt, wie neue Hardware und Softwarelösungen gepaart mit umfangreichen Erfahrungen zur Weiterentwicklung der TD-Diagnose geführt hat. Diese Weiterentwicklungen haben die Möglichkeiten der Anwen-

dung der TD-Diagnose sowie deren Auswertung auf ein neues Level, bis hin zur genauen Bestimmung der Restlebensdauer von Mittelspannungskabeln.



**Thorsten Schlender M. Sc.,** Vertriebsingenieur, Baur GmbH, Grevenbroich

>> [thorsten.schlender@baur-germany.de](mailto:thorsten.schlender@baur-germany.de)

>> [www.baur.eu/de](http://www.baur.eu/de)

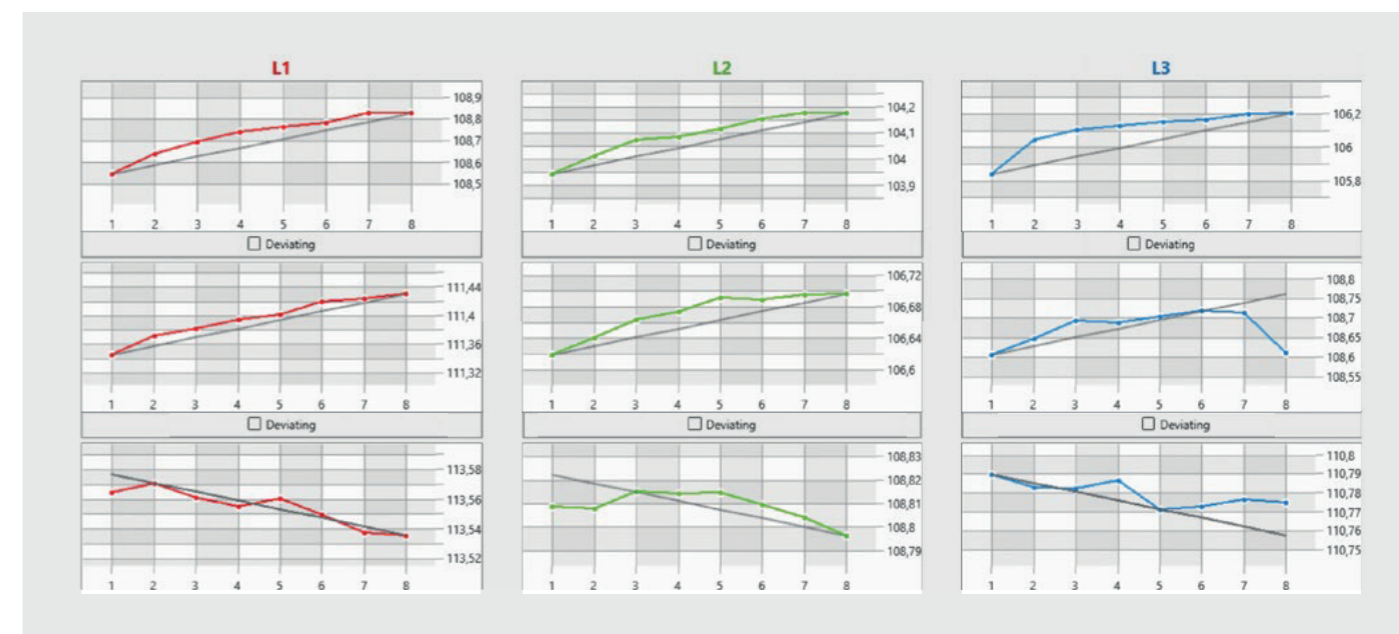


Bild 8. Typisches Verhalten einer gealterten Mischkabelstrecke; bei den ersten zwei Spannungsstufen ( $0,5 U_0$  oben und  $1 U_0$  mittig) überwiegt der TD-Anstieg durch gealterte Isolierung. Bei der Spannungsstufe  $1,5 U_0$  zeigt sich unten der Einfluss von Feuchtigkeit.