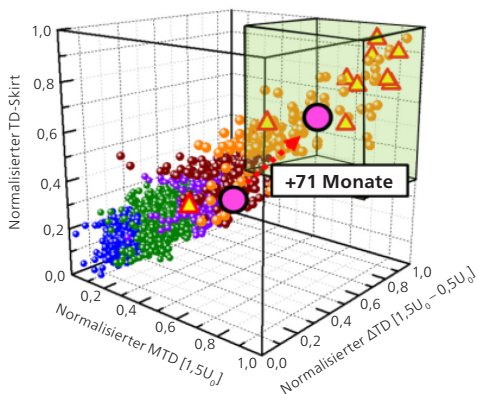


statex®

## BAUR Software für statistische Prognose der Kabellebensdauer

entwickelt von  **KEPCO**  
KORÉA ELECTRIC POWER CORPORATION



3D-Darstellung der Korrelationen zwischen normalisierten Auswertungsparametern von Verlustfaktormessungen MTD,  $\Delta$ TD und TD-Skirt: Der eingerahmte Bereich oben rechts im Bild zeigt eine hohe Fehlerwahrscheinlichkeit.

### Erfahrungsbasierte Beurteilung des Kabelzustands und Prognose der statistischen Restlebensdauer

- Analyse des gesamten Kabelnetzstatus anhand unterschiedlicher Verlustfaktorparameter
- LT Wizard – Statistisches Werkzeug zum Definieren von Parametern zur Bestimmung der Restlebensdauer
- Innovativer, patentierter Auswertungsalgorithmus zur statistischen Prognose der Restlebensdauer von MV-Kabeln
- Durch 45.000 Verlustfaktormessungen an 15.000 Kabelstrecken validiert

Die Analysesoftware statex® dient zur detaillierten Bestimmung des Alterungszustands, der Alterungsgeschwindigkeit und der statistischen Restlebensdauer einer Kabelstrecke auf Basis der Verlustfaktordiagnose mit VLF-truesinus®-Spannung (Very Low Frequency).

statex® berücksichtigt zusätzlich zu herkömmlichen Bewertungsparametern gemäß IEEE 400.2 (SDTD, MTD und  $\Delta$ TD) einen neuen Parameter TD-Skirt, der die Zeitstabilität des Verlustfaktors (TD) aufzeigt. Dies ermöglicht die Berechnung des Alterungsindex R und der Alterungsgeschwindigkeit  $V_R$  der Kabelstrecke. Ebenso kann eine genaue Empfehlung abgegeben werden, wann eine Nachmessung erfolgen soll oder Arbeiten an der Kabelstrecke erforderlich sind. Bei der Berechnung werden außerdem die ökonomische Betriebsgrenze des Kabels und eine betriebseigene Sicherheitsspanne miteinbezogen, wodurch sich der optimale Zeitpunkt bestimmen lässt, ab dem das Kabel getauscht werden muss.

Durch die Berücksichtigung von individuellen Unternehmensrichtlinien und das Visualisieren von komplexen Korrelationen zwischen den verschiedenen Bewertungsparametern in einer dreidimensionalen Matrix bietet statex® eine neue, bahnbrechende Möglichkeit zum wirtschaftlichen und betriebssicheren Asset Management.

BAUR GmbH · Raiffeisenstraße 8, 6832 Sulz, Austria · T +43 (0)522 4941-0 · F +43 (0)522 4941-3 · headoffice@baur.at · [www.baur.eu](http://www.baur.eu)

#### Merkmale

- LT Wizard – Ein umfassendes statistisches Werkzeug für die Auswertung von Messergebnissen und zum Definieren von Grenzwerten für die Berechnung der Restlebensdauer für verschiedene Kabeltypen und Kabellängen
- Informationen über gesamten Netzstatus ermöglichen gezieltes Reagieren auf kritische Kabelzustände
- Ermittlung der Alterungsgeschwindigkeit und der Restlebensdauer eines Kabels basierend auf der Verlustfaktordiagnose mit VLF-truesinus®-Spannung
- 3D-Darstellung der Korrelationen zwischen normalisierten Auswertungsparametern MTD,  $\Delta$ TD und TD-Skirt als Basis zur Ermittlung der Restlebensdauer des Kabels
- Berücksichtigung unternehmensspezifischer Richtlinien beim Ermitteln eines Zeitpunktes für Kabelreparaturen (Versorgungssicherheit)
- Neuer Auswertungsparameter TD-Skirt für die Prognose der Restlebensdauer
- Alterungsindex R zur gesamthaften Beurteilung der dielektrischen Verluste, Spannungs- und Zeitstabilität
- Errechnung eines „Action Required“-Datums
- BAUR Diagnosesysteme liefern die Messdaten mit der erforderlichen Präzision
- Einfaches Pflegen der Mess- und Kabeldaten in einer zentralen Kabeldatenbank

#### Ziele

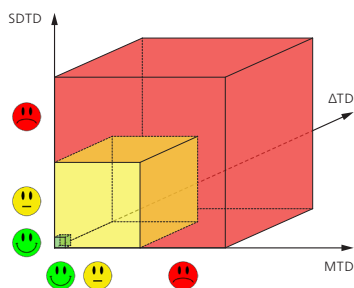
- Optimale Prognose der Restlebensdauer der Kabelstrecke
- Verringerung der Ausfallrate
- Vermeidung von sozialen Kosten

## Prognose der statistischen Restlebensdauer (Prinzip)

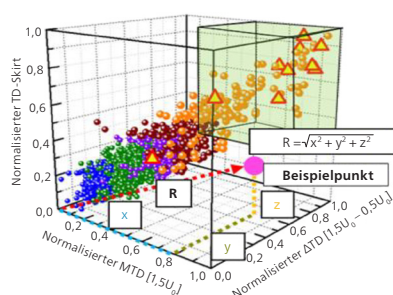
Der patentierte Algorithmus der Analysesoftware statex® berechnet, basierend auf der statistischen Auswertung von 45.000 Messdaten an 15.000 Kabelstrecken (ca. 7.000 km), einen dreidimensionalen Alterungsindex R. Dieser Algorithmus wurde von der Korea Electric Power Corporation (KEPCO) in Zusammenarbeit mit der Universität Mokpo (Korea) entwickelt und patentiert.

Die Berechnung des 3-dimensionalen Alterungsindex R berücksichtigt neben der normalisierten Auswertung von MTD, ΔTD auch den neuen Auswerteparameter TD-Skirt. Zusätzlich zu den in der IEEE 400.2 definierten Parametern MTD, SDTD und ΔTD ermöglicht die Berechnung des Alterungsindex R eine präzise Empfehlung darüber, wann eine Nachmessung erfolgen soll oder Arbeiten an der Kabelstrecke erforderlich sind, z. B. nach 3 Jahren.

Auswertung gemäß IEEE 400.2\*



Auswertung mit statex®



In Anschluss an die Nachmessung und die erneute Ermittlung des Alterungsindex R wird, basierend auf den Indizes R der beiden Messungen, die Alterungsgeschwindigkeit und die zu erwartende Restlebensdauer der Kabelstrecke errechnet. Dabei lässt sich durch die Differenz zwischen der ökonomischen Betriebsgrenze und der spezifischen Sicherheitsspanne des Versorgungsunternehmens darauf schließen, wann Arbeiten an der Kabelstrecke erforderlich sind.

## Beispiel – Einsparung bei KEPCO durch Einsatz von statex®

Die Auswertung der TD-Messdaten der 15.000 Kabelstrecken gemäß IEEE 400.2 ergab, dass ca. 255 km der sich in Betrieb befindlichen Kabel unter die Kategorie "Action required" (🔴) fallen.

Die Auswertung derselben Messdaten mit statex® wurde festgestellt, dass lediglich ca. 55 km der sich in Betrieb befindlichen Kabel eine statistische Restlebensdauer von < 2 Jahren aufwies. Das bedeutet, dass ein Austausch von ca. 200 km Kabeln noch nicht erforderlich war.

Die Untersuchungen von KEPCO zeigten bei der Auswertung der Messungen mit statex®, verglichen mit der Auswertung entsprechend der IEEE-Kriterien, eine durchschnittliche Erhöhung der statistischen Restlebensdauer der einzelnen Kabel um 11 Jahre.

## Auswertemöglichkeiten der Software

- Anzeige des Alterungsindex R für L1, L2, L3 einer Kabelstrecke
- Historischer Verlauf des Alterungsindex in der 3D-Darstellung – im Vergleich zu 45.000 Messpunkten von KEPCO
- Ergebnisse:
  - Alterungsindex R
  - Alterungsgeschwindigkeit  $V_R$
  - Statistische Restlebensdauer
  - Zeitpunkt für Nachmessung
  - Errechnetes Ausfalldatum
  - 3D-Status-Graph
  - TD-Skirt-Graph
- Alarmierung vor einem errechneten, möglichen Ausfall
- Erinnerungsfunktion für erneute Nachmessungen
- Import von BAUR TD-Messdaten (BMF, MMF, IMF, MHT, CSV)

## Unternehmensspezifische Einstellungsmöglichkeiten

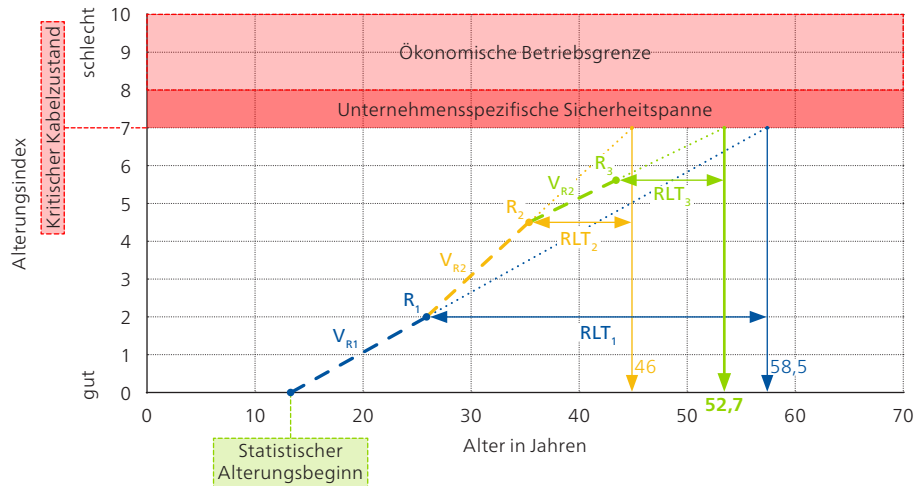
- Alterungsindex R für verschiedene Kabeltypen
- Grenzwerte für den Alterungsindex R
- Sicherheitspuffer für Kabelreparatur bzw. Austausch vor dem errechneten Ende der Betriebsdauer
- Definition von eigenen Auswertekriterien bzw. Kriterien gemäß IEEE 400.2

\* Auswertungskriterien gemäß IEEE 400.2:

- 🟢 No action required
- 🟡 Further study advised
- 🔴 Action required

### Beispiel – Berechnung der statistischen Restlebensdauer eines Kabels

Im folgenden Beispiel werden der statistische Alterungsbeginn DSP (degradation starting point) nach 13 Jahren und der kritische Kabelzustand CP (critical point) mit dem Wert 7,0 angenommen.



Eine erste Verlustfaktormessung nach einer Betriebsdauer DP (duty period) von 26 Jahren ergibt einen Wert für den Alterungsindex  $R_1$  des Kabels von 2,0. Damit kann die Alterungsgeschwindigkeit  $V_{R1}$  nach der ersten Messung berechnet werden. Mit der Alterungsgeschwindigkeit kann die statistische Restlebensdauer RLT (remaining life time) des Kabels nach der ersten Messung berechnet werden.

$$V_{R1} = \frac{R_1}{DP_1 - DSP} = \frac{2,0}{26 \text{ Jahre} - 13 \text{ Jahre}} = 0,15 \text{ Jahre}^{-1} \quad RLT_1 = \frac{CP - R_1}{V_{R1}} = \frac{7,0 - 2,0}{0,15 \text{ Jahre}^{-1}} = 32,5 \text{ Jahre}$$

Aus der statistischen Restlebensdauer kann das voraussichtliche Betriebsalter  $A_{CP1}$  des Kabels bei Erreichen des kritischen Kabelzustands abgeleitet werden:

$$A_{CP1} = DP_1 + RLT_1 = 26 \text{ Jahre} + 32,5 \text{ Jahre} = 58,5 \text{ Jahre}$$

Eine Nachmessung nach 10 Jahren, d. h. bei einer Betriebsdauer des Kabels von 36 Jahren, ergibt einen zweiten Alterungsindex  $R_2$  mit dem Wert 4,5. Die Alterungsgeschwindigkeit  $V_{R2}$ , die statistische Restlebensdauer  $RLT_2$  und das voraussichtliche Betriebsalter  $A_{CP2}$  des Kabels bei Erreichen des kritischen Kabelzustands berechnen sich dann wie folgt:

$$V_{R2} = \frac{R_2 - R_1}{DP_2 - DP_1} = \frac{4,5 - 2,0}{36 \text{ Jahre} - 26 \text{ Jahre}} = 0,25 \text{ Jahre}^{-1} \quad RLT_2 = \frac{CP - R_2}{V_{R2}} = \frac{7,0 - 4,5}{0,25 \text{ Jahre}^{-1}} = 10 \text{ Jahre}$$

$$A_{CP2} = DP_2 + RLT_2 = 36 \text{ Jahre} + 10 \text{ Jahre} = 46 \text{ Jahre}$$

Eine zweite Nachmessung nach 8 Jahren, d. h. bei einer Betriebsdauer des Kabels von 44 Jahren, ergibt einen dritten Alterungsindex  $R_3$  mit dem Wert 5,7. Die Alterungsgeschwindigkeit  $V_{R3}$ , die statistische Restlebensdauer  $RLT_3$  und das voraussichtliche Betriebsalter  $A_{CP3}$  des Kabels bei Erreichen des kritischen Kabelzustands berechnen sich dann wie folgt:

$$V_{R3} = \frac{R_3 - R_2}{DP_3 - DP_2} = \frac{5,7 - 4,5}{44 \text{ Jahre} - 36 \text{ Jahre}} = 0,15 \text{ Jahre}^{-1} \quad RLT_3 = \frac{CP - R_3}{V_{R3}} = \frac{7,0 - 5,7}{0,15 \text{ Jahre}^{-1}} = 8,7 \text{ Jahre}$$

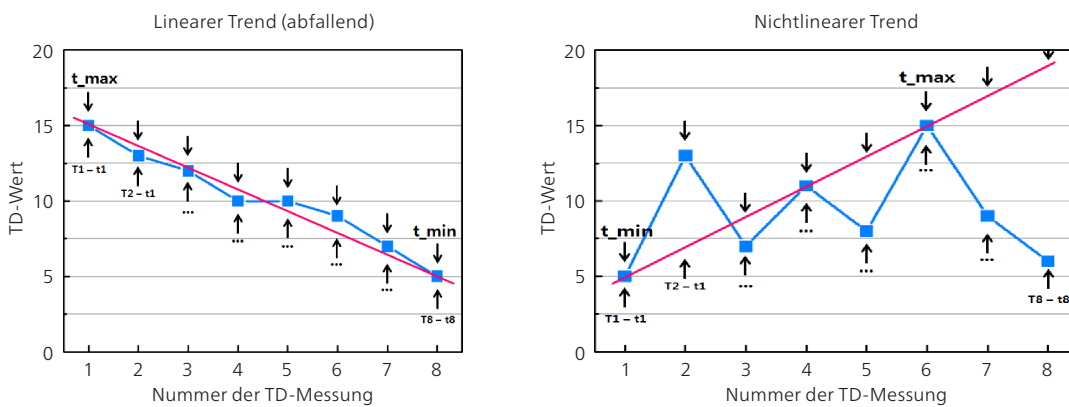
$$A_{CP3} = DP_3 + RLT_3 = 44 \text{ Jahre} + 8,7 \text{ Jahre} = 52,7 \text{ Jahre}$$

Durch die Berücksichtigung der spezifischen Alterung des Kabels, ergibt sich aus der Auswertung der beiden Nachmessungen eine möglichen Betriebsdauer des Kabels von ca. 52,7 Jahren.

## VLf-TD-Kriterien

### Neuer Auswerteparameter TD-Skirt

Bei Kabeln mit Isolationsverlusten gibt es Vorboten wie etwa der konstante Anstieg oder Abfall oder eine Fluktuation von TD-Werten innerhalb einer Spannungsstufe. Der Grad der Änderung wird TD-Skirt genannt und beschreibt die Zeitstabilität von TD-Messungen. Dafür wird eine virtuelle Linie zwischen dem größten und kleinsten TD-Wert aus acht aufeinanderfolgenden TD-Messungen gezogen. Ein linearer (ansteigender) Trend bei den Messwerten deutet dabei auf eine Änderung der dielektrischen Verluste der Kabelisolierung hin, ein abfallender oder nichtlinearer Trend hingegen z. B. auf Feuchtigkeit oder auf elektrische Entladungen in Kabelendverschlüssen oder Muffen.



### Alterungsindex R

Der Alterungsindex R berechnet sich aus den normalisierten Werten MTD,  $\Delta TD$  und TD-Skirt und gibt Aufschluss über den Zustand der Kabelisolierung des geprüften Kabels zum Zeitpunkt der Messung. Er wird als dreidimensionaler Vektor dargestellt.

$$R = \sqrt{MTD_{norm}^2 + \Delta TD_{norm}^2 + TD-Skirt_{norm}^2}$$

## Technische Daten

| Allgemein                       |   | Systemvoraussetzungen          |   |
|---------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Sprachen der Benutzeroberfläche | Englisch, Deutsch<br>Weitere Sprachen auf Anfrage | Betriebssystem                 | Windows 7 (oder höher)<br>Empfohlen: Windows 8 (oder höher) |
| Datenimportformat               | BMF, MMF, IMF, MHT, CSV                           | Speicher                       | mind. 4 GB RAM<br>Empfohlen: mind. 8 GB RAM                 |
| Berichtexportformat             | PDF, PNG  | SQL-Server                     | Microsoft SQL Server 2019                                   |
|                                 |   | Microsoft .NET Framework       | 4.5 (oder höher)  |
|                                 |   | Empfohlene Bildschirmauflösung | 1920 x 1080 Pixel (Full HD)                                 |

## Verfügbare Softwarelizenzen

| Lizenzen  | Funktionen   |   |           |
|---|--------------|---|-----------|
|   | R-Berechnung | Prognose der Restlebensdauer  | LT Wizard |
| <b>statex® core</b>   | ✓            | X   | X         |
| <b>statex® pro</b> (Hauptlizenz)  | ✓            | ✓   | ✓         |
| <b>Zusatzlizenz für statex® pro</b><br>zum Einbinden eines zusätzlichen Arbeitsplatzes<br>(nur in Verbindung mit statex® pro-Hauptlizenz) | ✓            | ✓<br>(Berechnungsparameter werden<br>zentral über LT Wizard der<br>statex® pro-Hauptlizenz eingestellt) | X         |
| <b>statex® pro-Paket:</b><br>1 Hauptlizenz + 2 Zusatzlizenzen   | ✓            | ✓   | ✓         |



Software entwickelt von KEPCO

### Kontakt:

BAUR GmbH (Headoffice Österreich)  
T +43 (0)5522 4941-0  
headoffice@baur.at

BAUR Prüf- und Messtechnik GmbH  
T +49 (0)2181 2979 0  
vertrieb@baur-germany.de

BAUR GmbH (Branch UAE)  
T +971 50 4440270  
shibu.john@baur.at

BAUR France  
T +33 (04) 69 98 27 27  
infoFR@baur.eu

Baur do Brasil Ltda.  
T +55 11 297 25 272  
atendimento@baurdobrasil.com.br

BAUR Test Equipment Ltd. (UK)  
T +44 (0)20 8661 0957  
sales@baurtest.com

奥地利保尔公司上海代表处  
电话 +86 (0)21 6133 1877  
shanghaioffice@baur.at

BAUR Representative Office Hong Kong  
T +852 2780 9029  
office.hongkong@baur.at

BAUR-Vertretungen:  
[www.baur.eu](http://www.baur.eu) > [BAUR worldwide](#)

