

Kabeldiagnostik

Kabeldiagnostik an Mittelspannungskabelsystemen

Seminar-Nr. 1930

Schulung Kabeldiagnose

Inhalt

Prüf- und Diagnoseverfahren

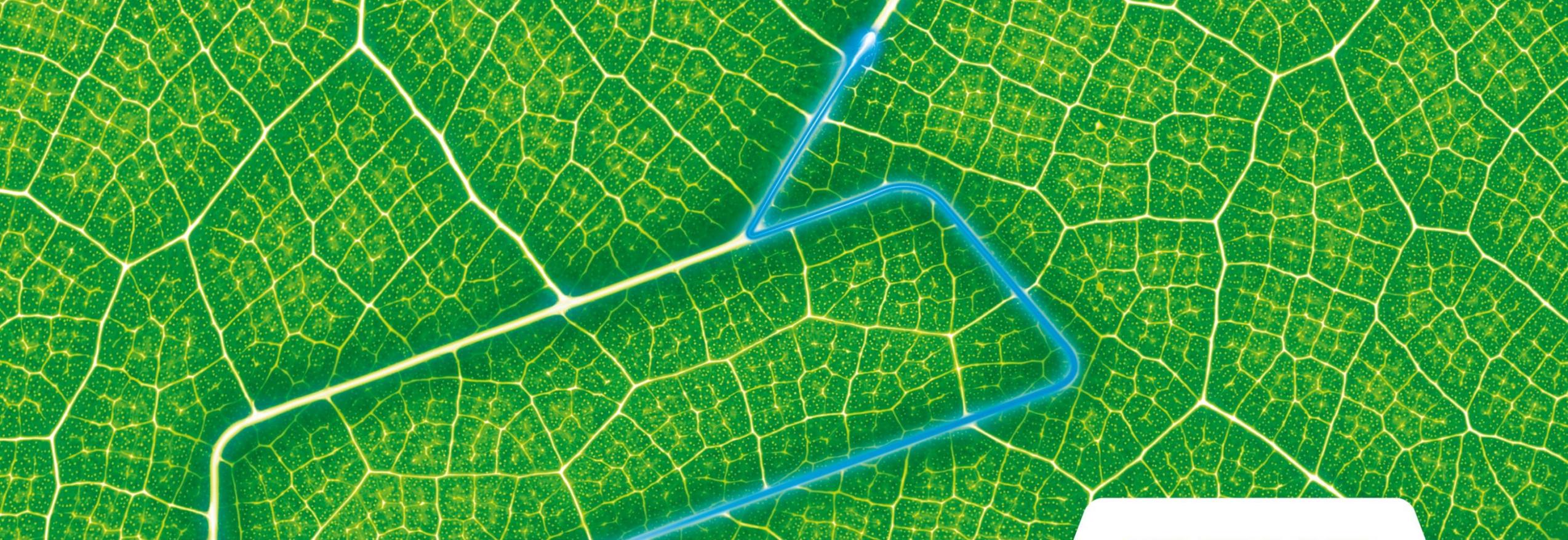
- Unterschiede Prüfung / Diagnose
- Anwendungsgebiete
- Spannungsquellen und Spannungsformen

Verlustfaktormessung

- Ursachen (Betriebsmittel)
- Auswertung
- MWT

Teilentladungsmessung

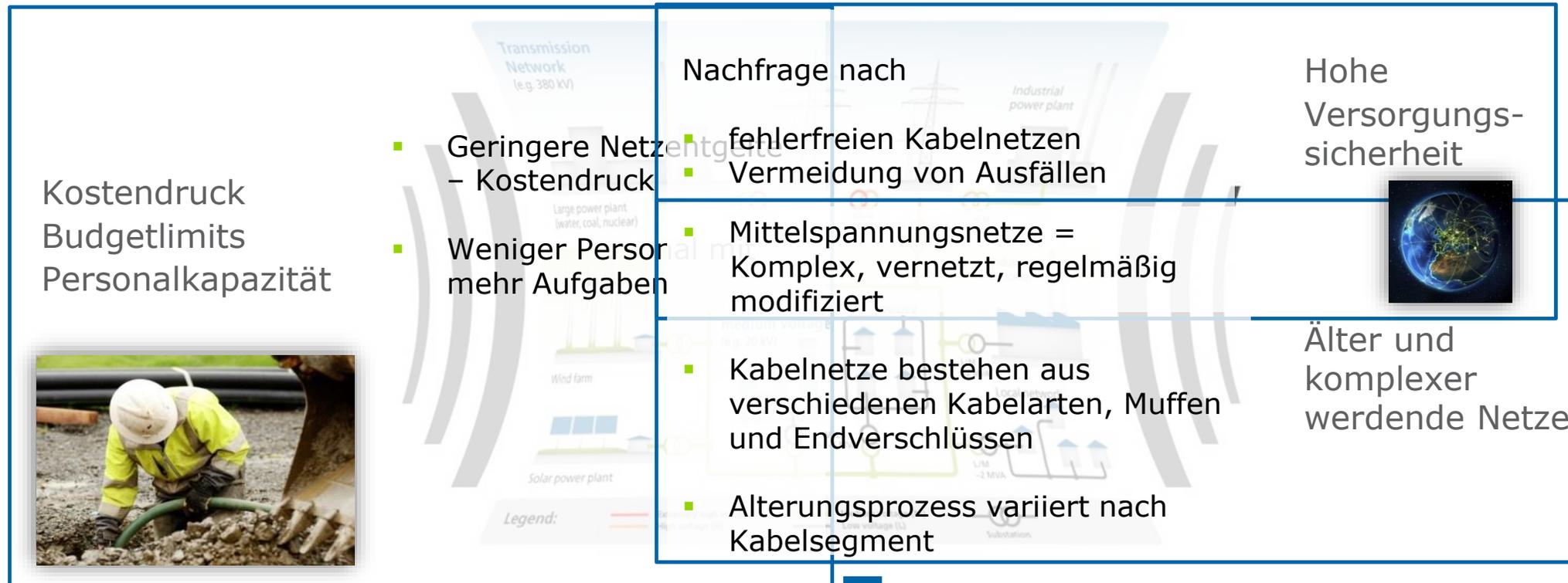
- Ursachen (Betriebsmittel)
- PD-Diagramm und Auswertung
- Full MWT
- Online Teilentladungsmessung



Kabeldiagnostik

Prüf- und Diagnoseverfahren

Spannungsfeld der Netzbetreiber



Zustandsorientierte Instandhaltung

Zustandsorientierte Instandhaltung

Neue Kabelstrecken

Intelligente Spannungsprüfung = Spannungsprüfung mit paralleler Diagnosemessung

- Vor Inbetriebnahme
- Information über Qualität der Montage
- Kontrolle auf TE-Freiheit
- Frühzeitiges Entdecken von Montagefehlern
- Aufklärung von systematischen Montagefehlern



Zustandsorientierte Instandhaltung Betriebsgealterte Kabel

Prüfung nach Reparaturen
Prüfung der Montagequalität,
Zustandserfassung und Kontrolle

- Fehlerbehebung in Garantiezeit
- Verbesserung der Qualität der Kabelstrecke
- Vermeidung von Folgekosten
- Vorausschauende Planung

smart✓testing



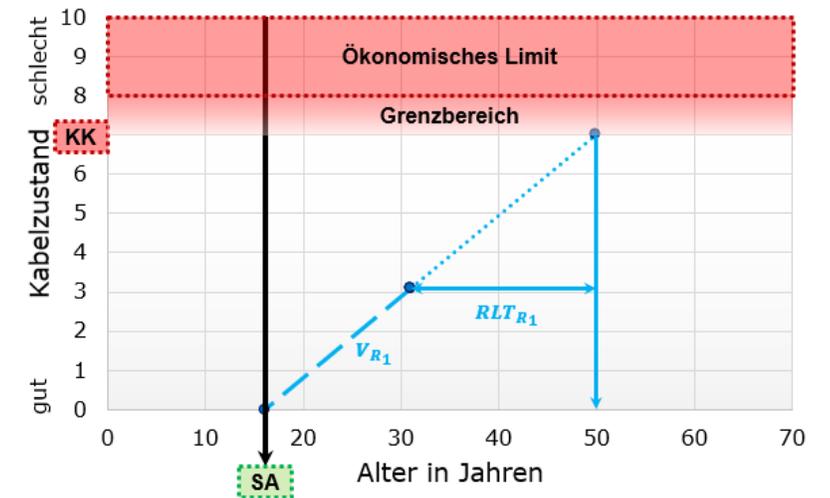
Zustandsorientierte Instandhaltung

Betriebsgealterte Kabel

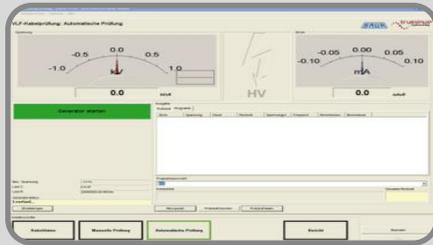
Zustandsorientierte (präventive) Wartung

Informationen zum Netzzustand

- Trend-Analyse
- macht Instandhaltungsplanungen möglich



Prüf- und Diagnoseverfahren



Kabelprüfung (VLF)

- Isolationstest („Klassiker“)
- Bis $3 \times U_0$ (3-fache Betriebsspannung)
- **OK / nicht OK**

Destruktiv



Verlustfaktormessung ($\tan \delta$, TD oder DF)

- Isolationszustand der Kabelstrecke
- Bis max. $2 \times U_0$ (2-fache Betriebsspannung)
- Information über **Alterung / Feuchtigkeit**

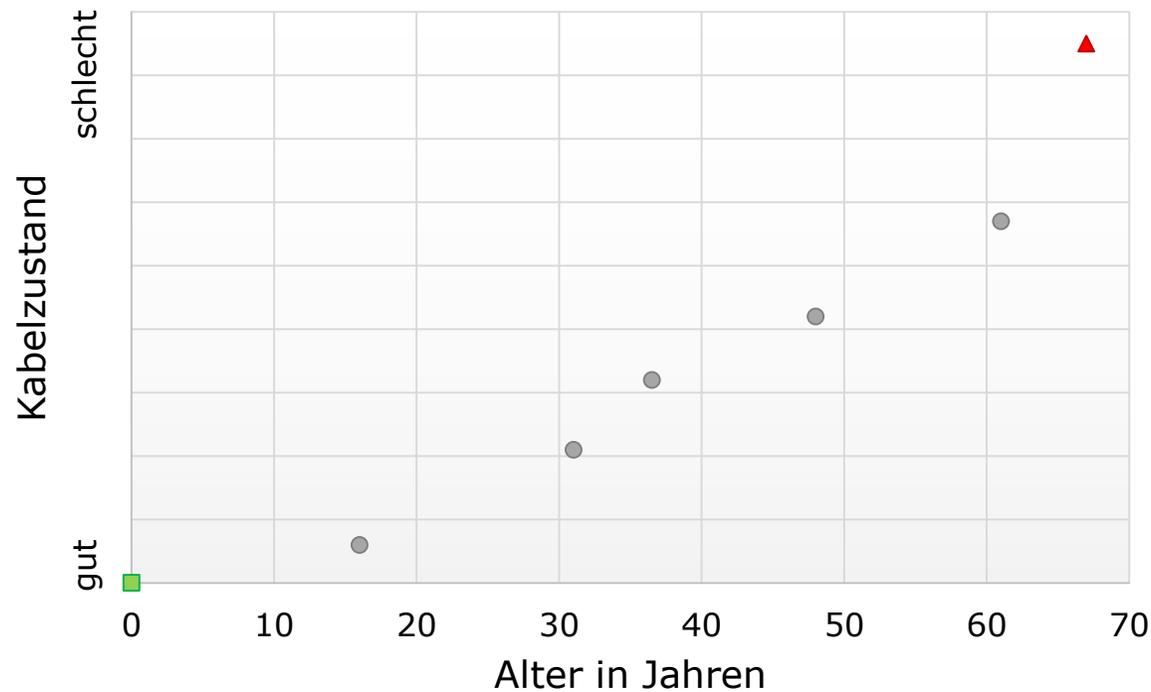
Nicht-Destruktiv



Teilentladungsmessung (TE oder PD)

- Messung Teilentladungspegel
- TE Erfassung und Lokalisierung
- Informationen über **Installationsfehler**

Prüf- und Diagnoseverfahren Asset Management von Kabelstrecken

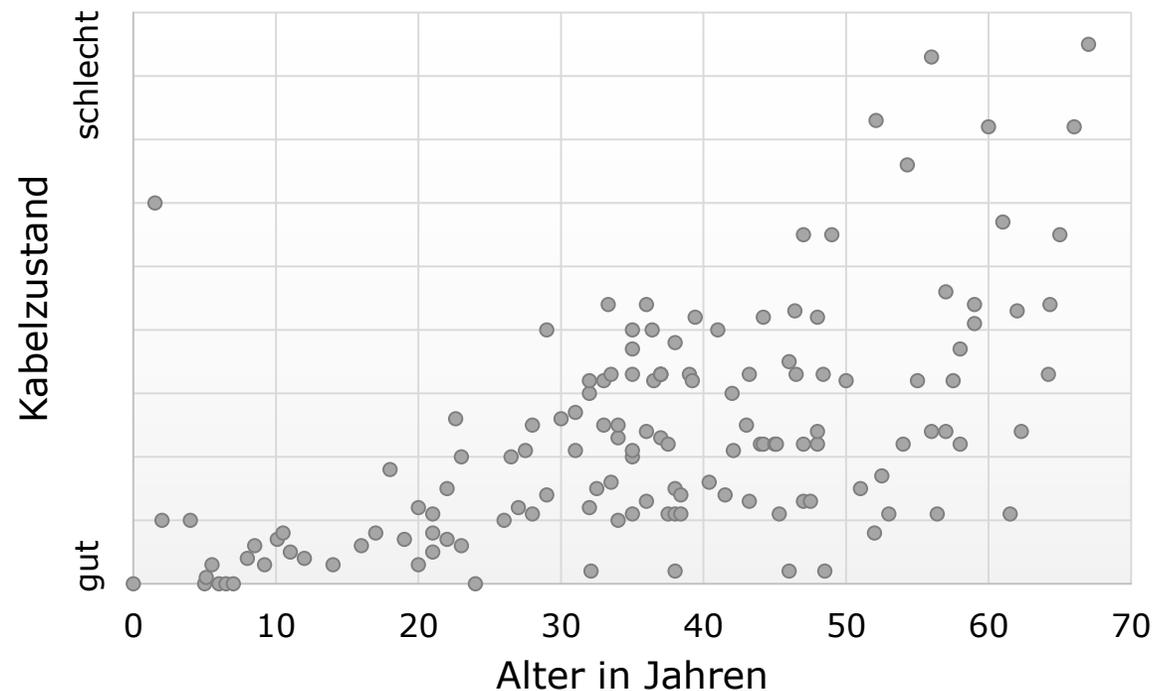


Kabelzustand abhängig von:

- Betriebsdauer
- Mechanischer & elektrischer Konstruktion
- Elektrische Belastungssituationen
- Mechanische Belastungssituationen
- Elektrischer Alterung
- Thermischer Alterung
- Feuchtigkeit
- Chemischer Alterung
- Montagequalität

Prüf- und Diagnoseverfahren

Asset Management von Kabelstrecken

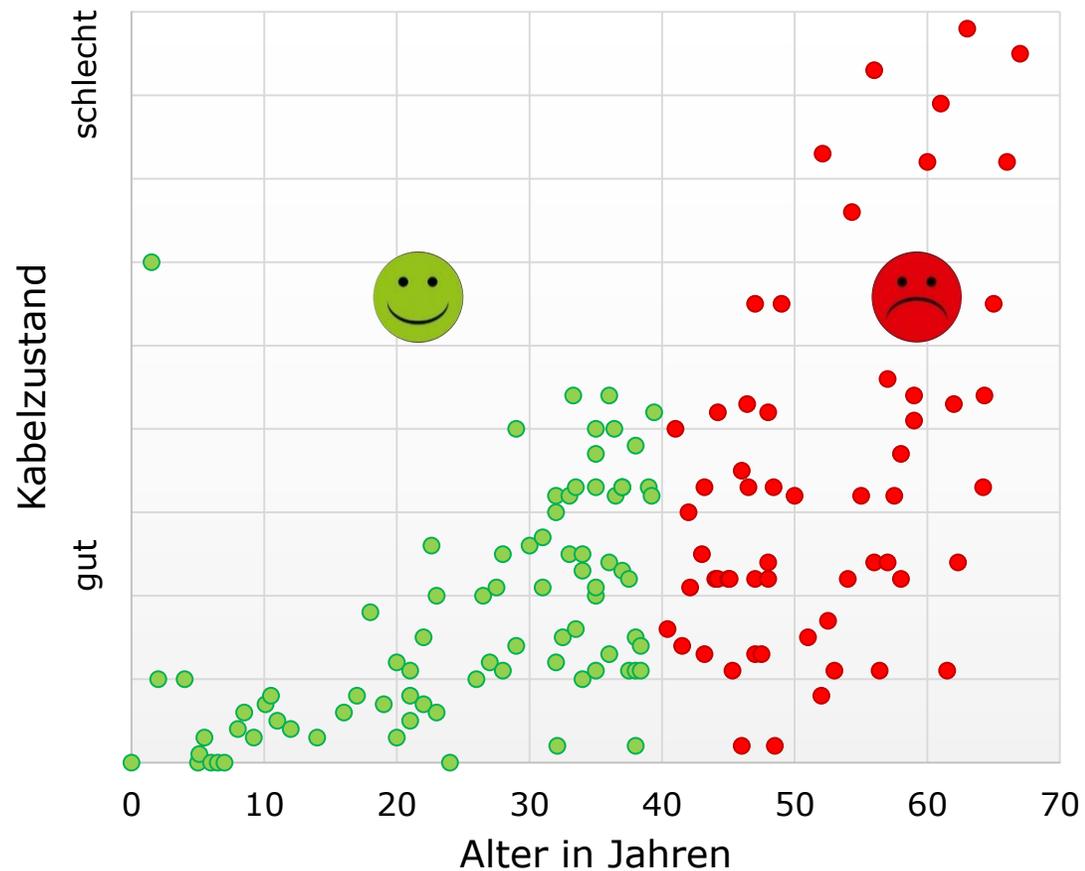


Kabelzustand abhängig von:

- Betriebsdauer
- Mechanischer & elektrischer Konstruktion
- Elektrische Belastungssituationen
- Mechanische Belastungssituationen
- Elektrischer Alterung
- Thermischer Alterung
- Feuchtigkeit
- Chemischer Alterung
- Montagequalität

Asset Management von Kabelstrecken

Klassischer Ansatz: Austausch nach X Jahren

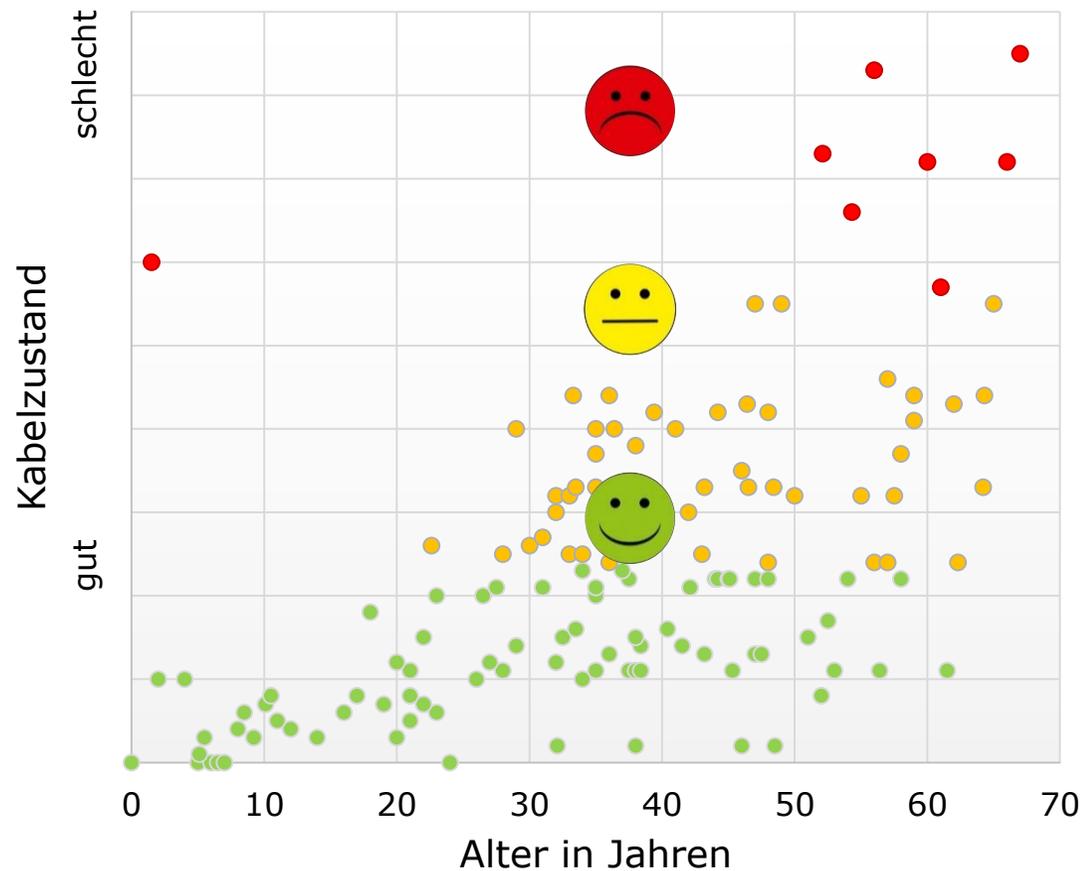


Nachteile:

- Teuer – noch gute Kabel werden ersetzt
- Hohe Fehlerrate – schlechte Kabel bleiben in Betrieb

Asset Management von Kabelstrecken

Zustandsbewertung durch Kabeldiagnose

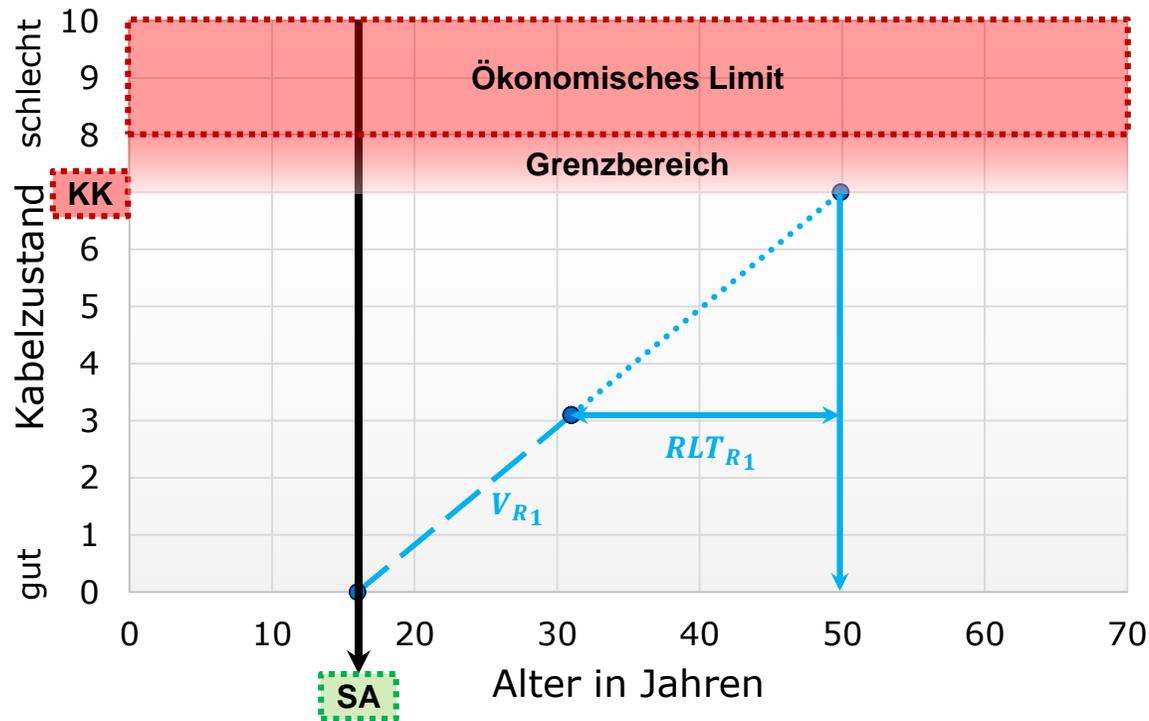


Vorteile:

- Zustandsbeurteilung möglich
- Gezielter Austausch von Komponenten
- Zustandserfassung als Basis für Asset-Management
- Kosteneinsparungen durch Vermeidung von Fehlern
- Kosteneinsparungen durch Verlängerung Betriebsdauer von gealterten Kabelstrecken
- Restlebensdauer von Kabelstrecken lässt sich berechnen

Neue Dimension in der Kabeldiagnose

Statistische Bestimmung der Restlebensdauer

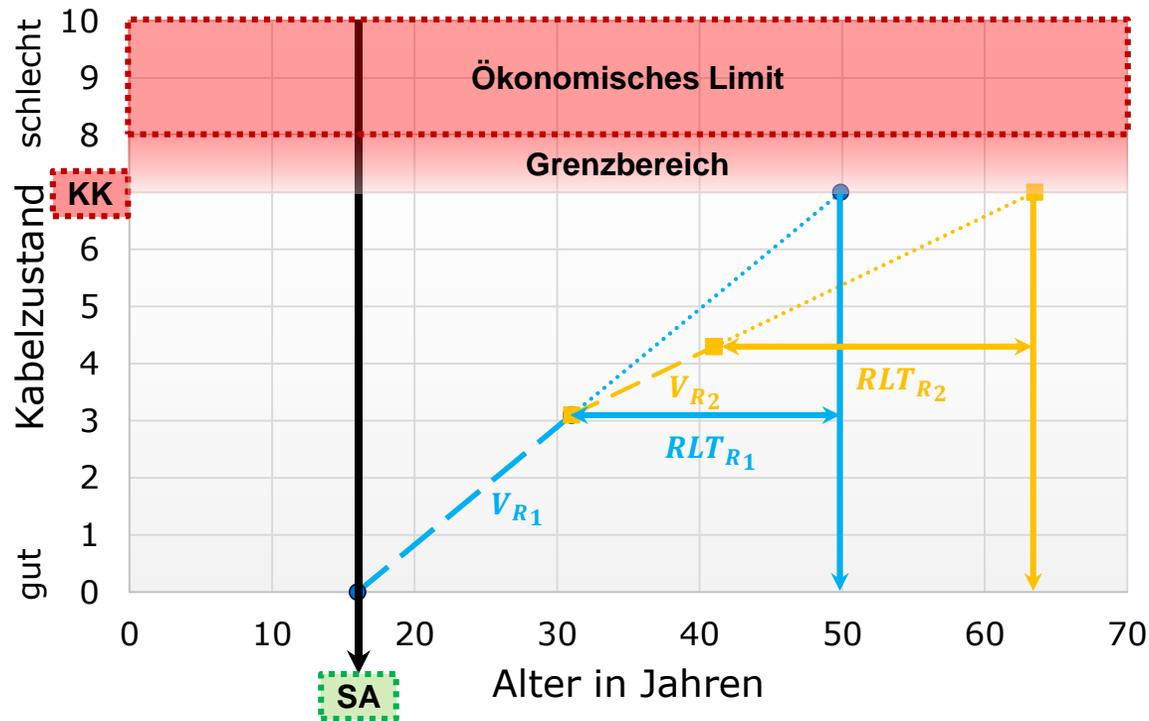


Beispiel:

- Statistischer Alterungsbeginn (SA): 16 a
- Kritischer Kabelzustand (KK): 7
- Erste Kabeldiagnose nach 31 Jahren Betrieb
Zustand $R = 3,1$
- Berechnung der stat. Alterungsgeschwindigkeit
- Betriebsalter des Kabels bei Erreichen von KK
 $BA = 50$ a
- Statistische Restlebensdauer nach 1. Messung
 $RLT_{R_1} = 18,9$ a

Neue Dimension in der Kabeldiagnose

Statistische Bestimmung der Restlebensdauer



Beispiel:

- Zweite Diagnose nach 10 a (Alter: 41 a)
Zustand R = 4.3
- Berechnung der spez. Alterungsgeschwindigkeit
- 0,12 / a
- Spezifische Restlebensdauer RLT nach 2.
Diagnose RLT = 22,5 a
- Betriebsalter des Kabels bei Erreichen von KK
Alter = 63,5 a

Lebensverlängerung um 13.6 a im Vergleich zur 1. Messung!

Wie viele Kabelstrecken wurden bis heute mit der Logik der Einschätzung der Lebenserwartung von KEPCO analysiert?

11.531 c-km x 3 Phasen (c-km ... circuit-km)

22,9 kV (U-Phase – Phase)

VPE Mittelspannungskabel

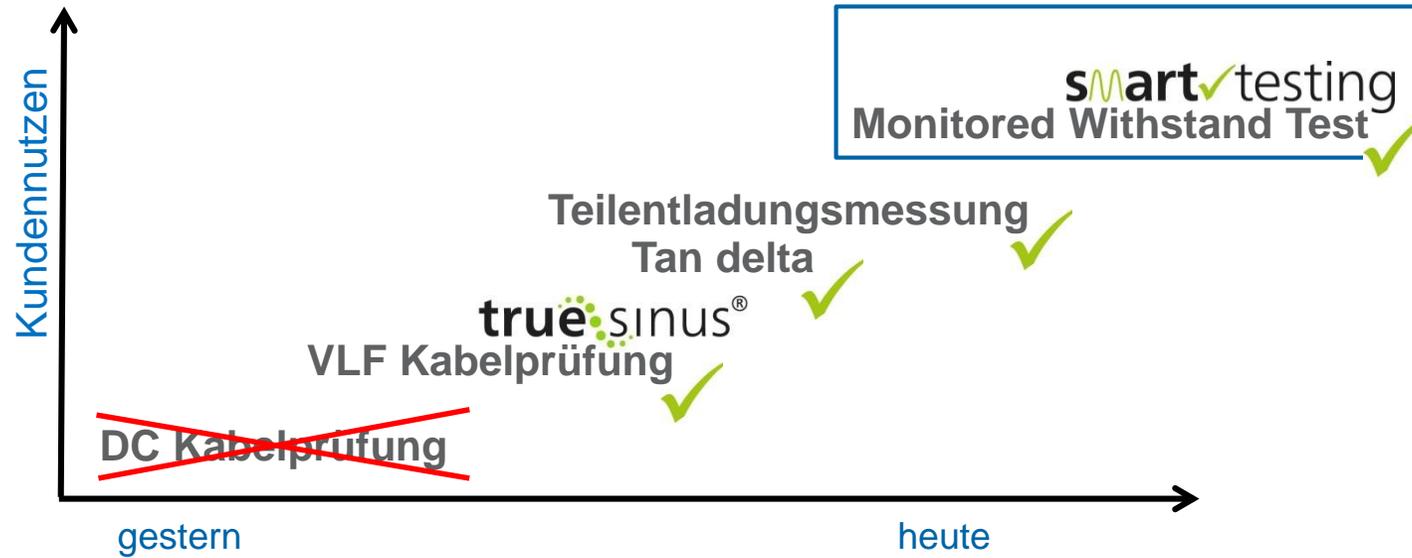
31.935 Kabelteilstrecken (per September 2018)

Fehlerrate und Einschätzung

	Neue Kabel (< 13 a in Betrieb)	Diagnostizierte Kabel	Nicht diagnostizierte Kabel
Fehlerrate (Fehlerauftreten/1,000c-km)	0,32	0,29	3,37

* Fehlerrate von mit VLF diagnostizierten Kabel ist sogar niedriger wie die der neuen Kabel (<13 Jahre alt). Dies repräsentiert, dass die Analysetheorie der Einschätzung der Restlebensdauer höchst genau zutreffend ist.

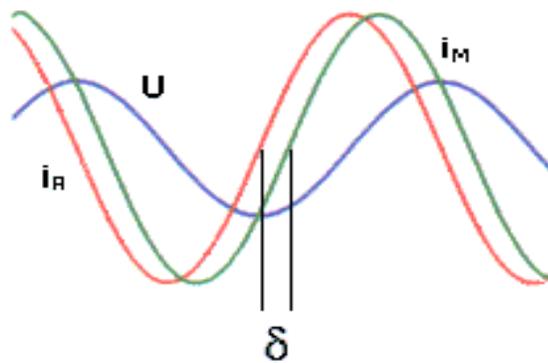
Messmethoden



Prüf- und Diagnoseverfahren

VLF-Spannungsquelle

Eine Spannungsquelle für Kabelprüfung, TD-Messung und TE-Messung



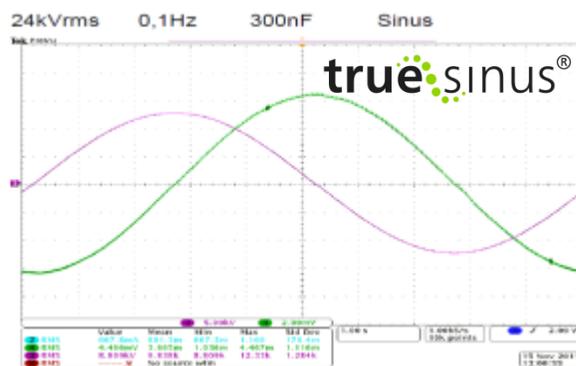
- truesinus® als Voraussetzung für eine präzise Verlustfaktor-Diagnose
- Voraussetzung für paralleles Messen
- Reproduzierbare Verlustfaktor und Teilentladungs-Messungen (Lastunabhängig)
- TE Messergebnisse gut vergleichbar mit TE-Messungen Sinus 50 Hz

true•**sinus**

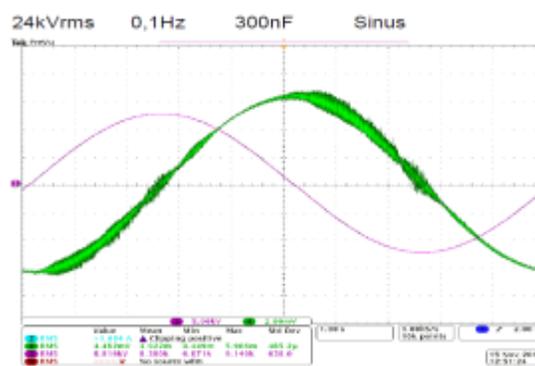
Prüf- und Diagnoseverfahren

VLF-Spannungsquelle

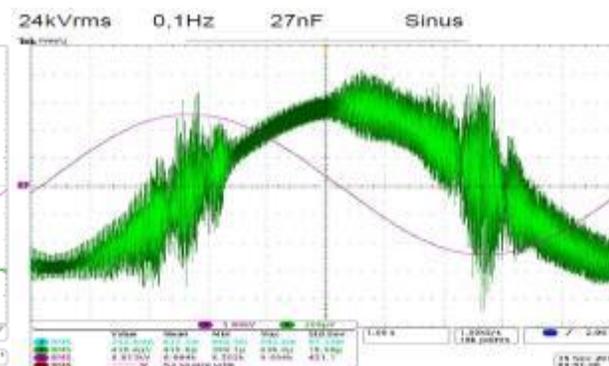
Höchstverzerrung gemäß IEC-Norm: $\pm 5\%$



BAUR Sinus
Spannung
Ladestrom
d < 0.5 %
@ 10nF – 10µF



Wettbewerb Sinus
Spannung
Ladestrom
d > 5 %
@ 300 nF

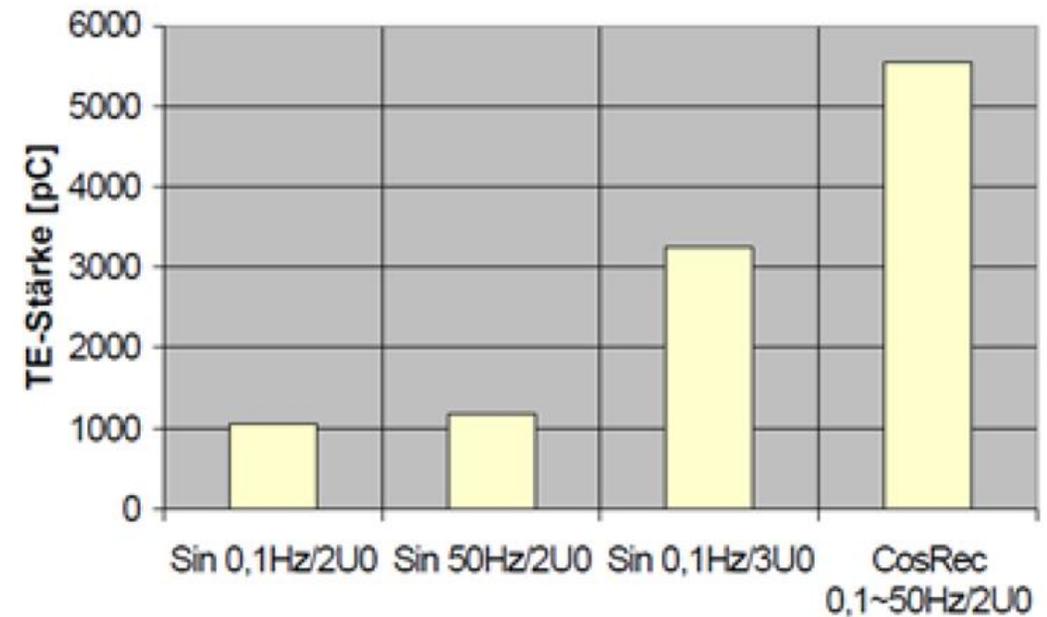
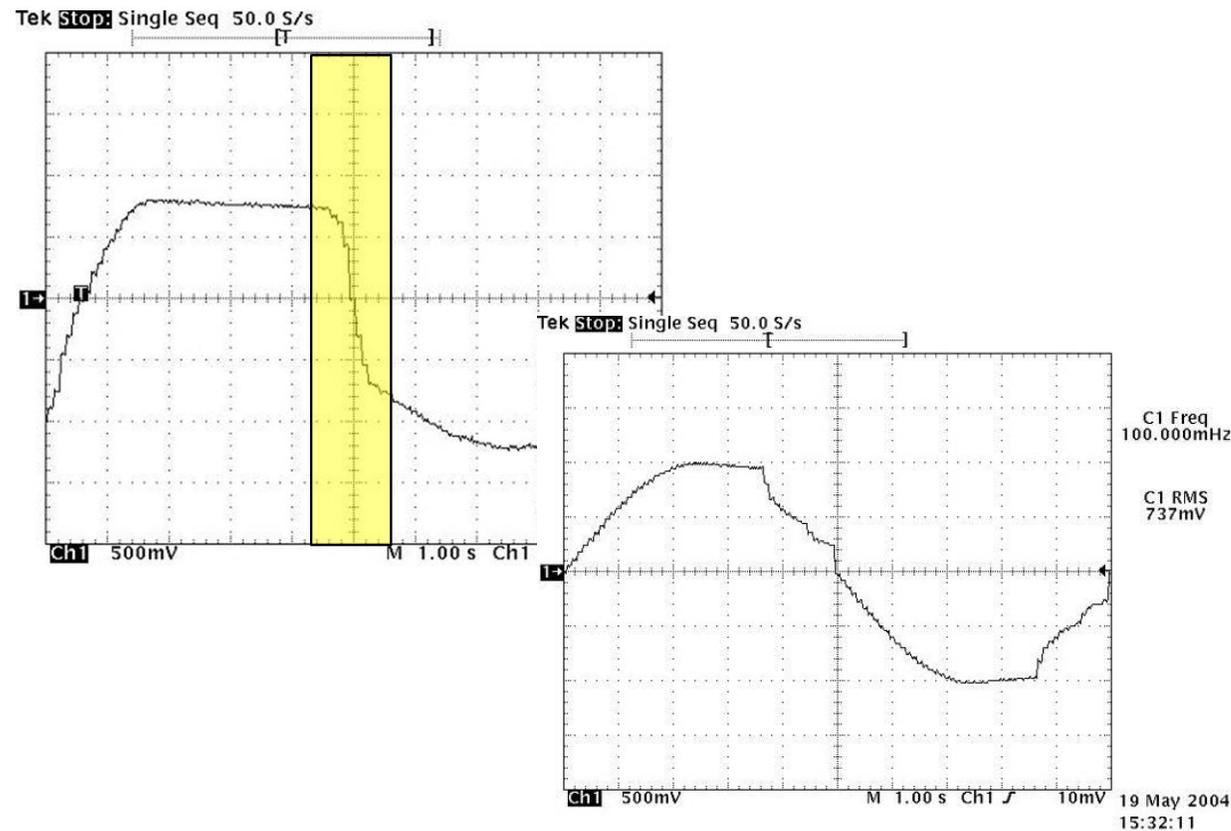


Wettbewerb Sinus
Spannung
Ladestrom
d >> 5 %
@ 27 nF



Prüf- und Diagnoseverfahren

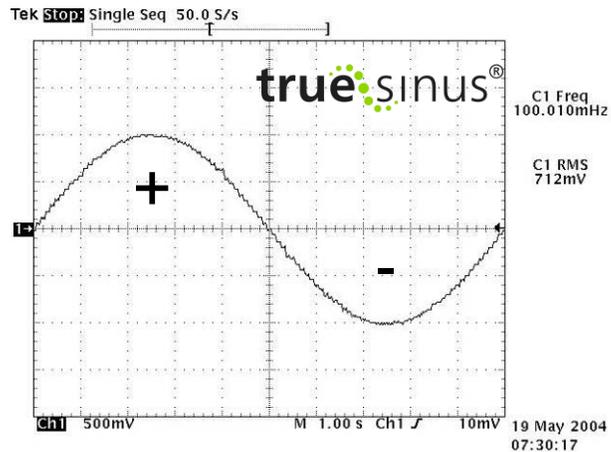
VLF-Spannungsquelle



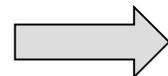
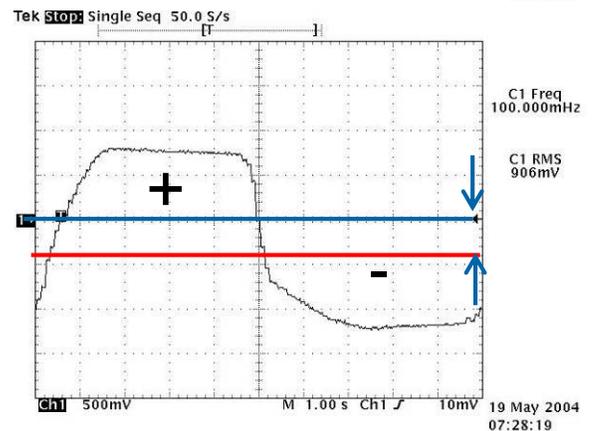
Kalkner, Rethmeier, Pepper, „PD-Testing of Service Aged Joints in XLPE-insulated Medium Voltage Cables at Test Voltages with Variable Shape and Frequency“, International Symposium of High Voltage Engineering, Niederlande, 2003

Prüf- und Diagnoseverfahren

truesinus® VLF-Spannungsquelle



- (+) = (-)
- Kein DC-Offset
- IEC60060-3: (+) und (-) max 2% Differenz



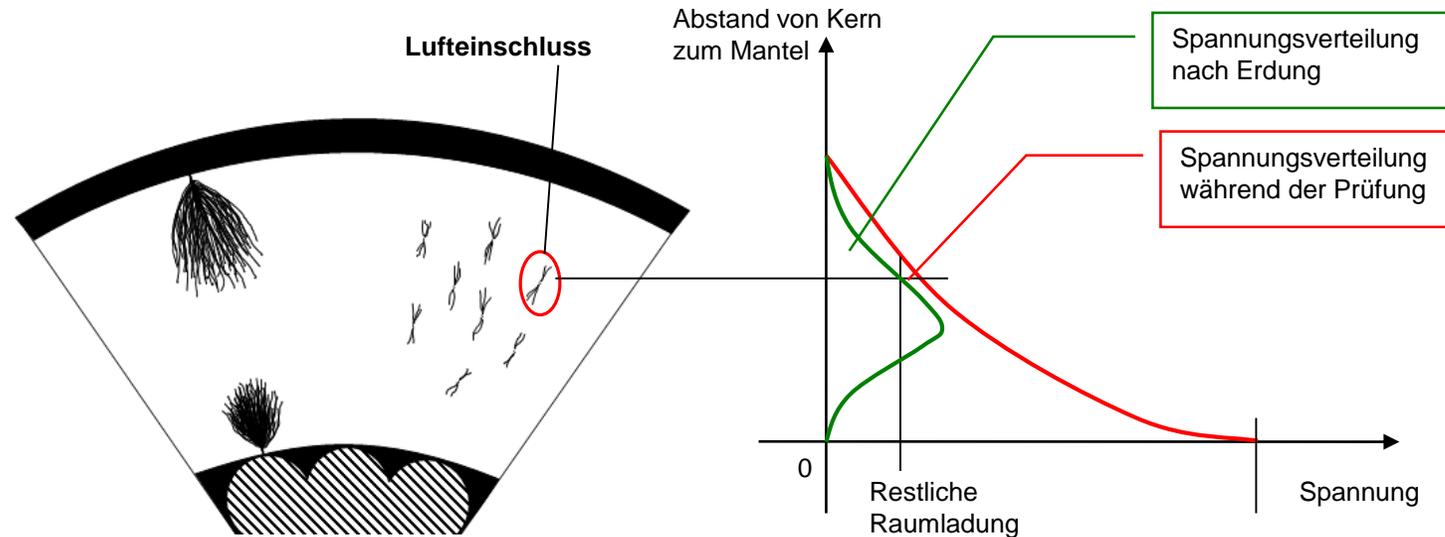
- (+) < (-)
- DC-Offset



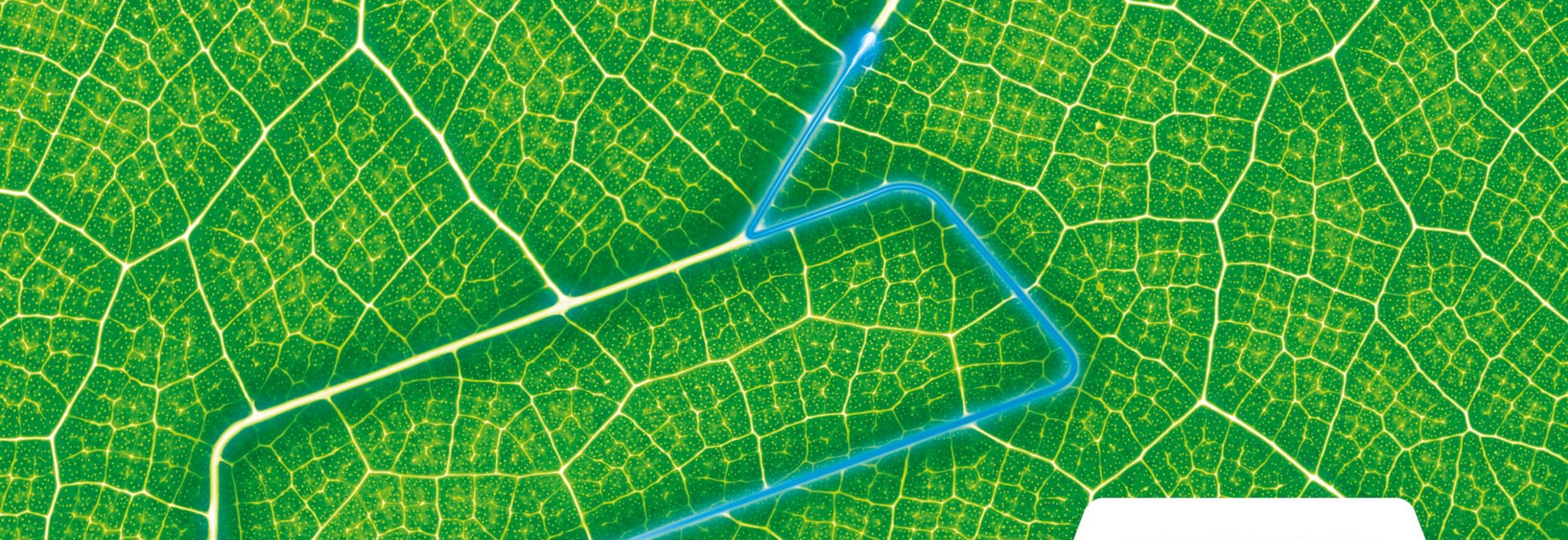
Raumladungszonen!

Prüf- und Diagnoseverfahren

truesinus® VLF-Spannungsquelle



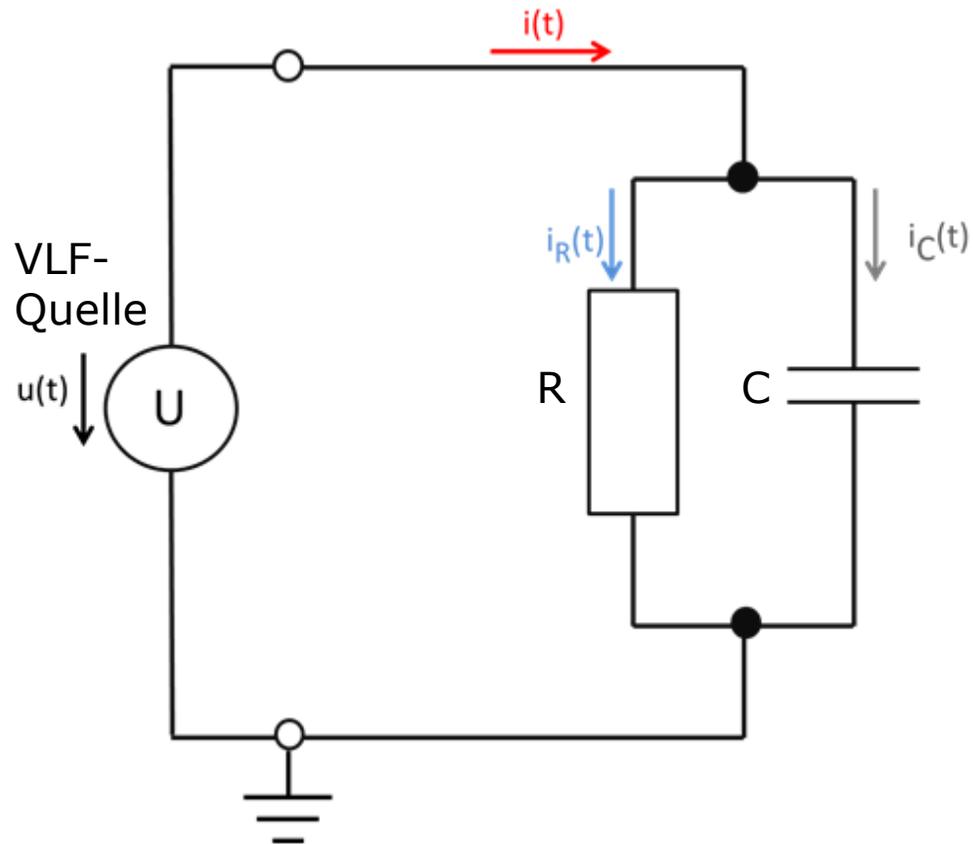
Hohe Feldbeanspruchung durch
Raumladungszonen



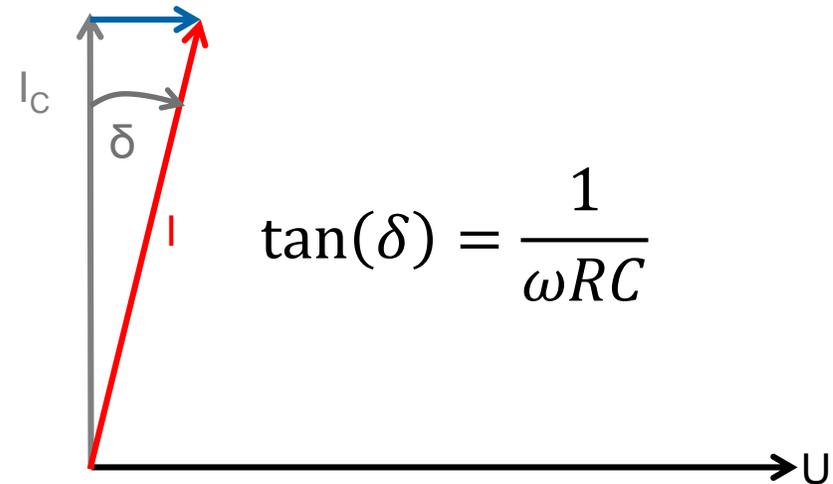
Kabeldiagnostik
Verlustfaktormessung

Verlustfaktormessung

Physikalische Grundlagen



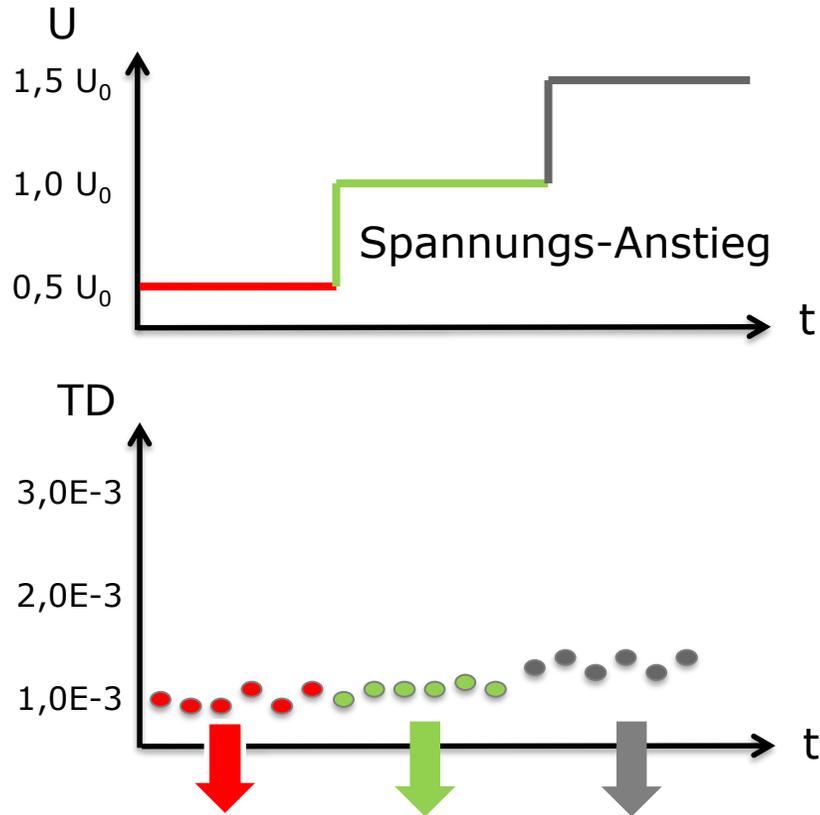
Phasendiagramm:



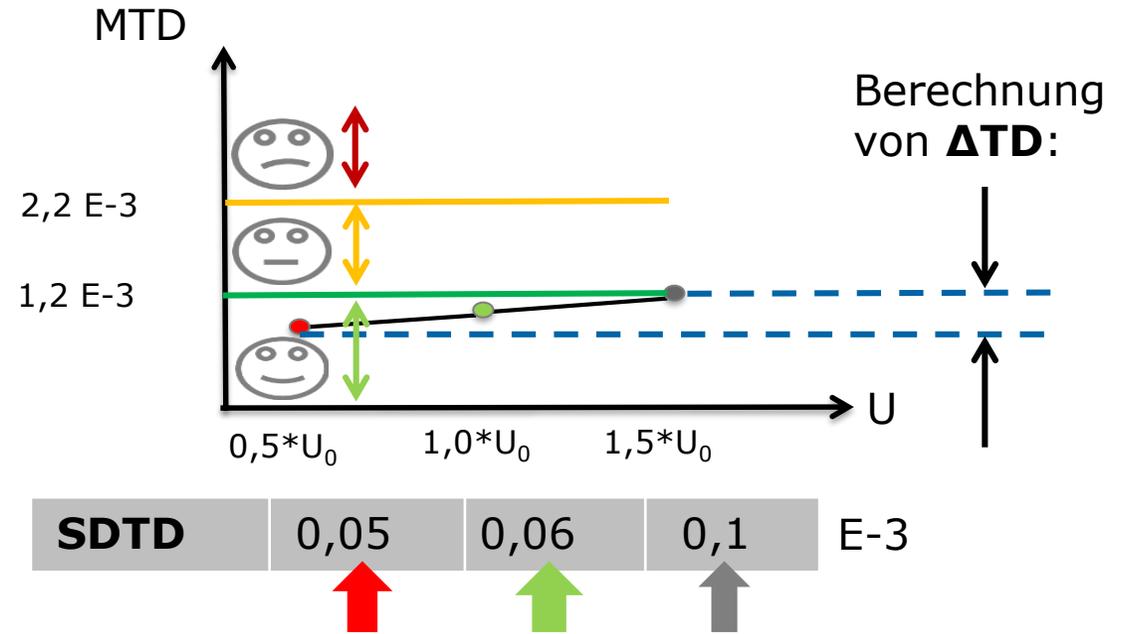
➔ $\tan \delta$ steigt mit kleiner werdendem Isolationswiderstand

Messablauf und Parameter

Ramp-Up-Phase



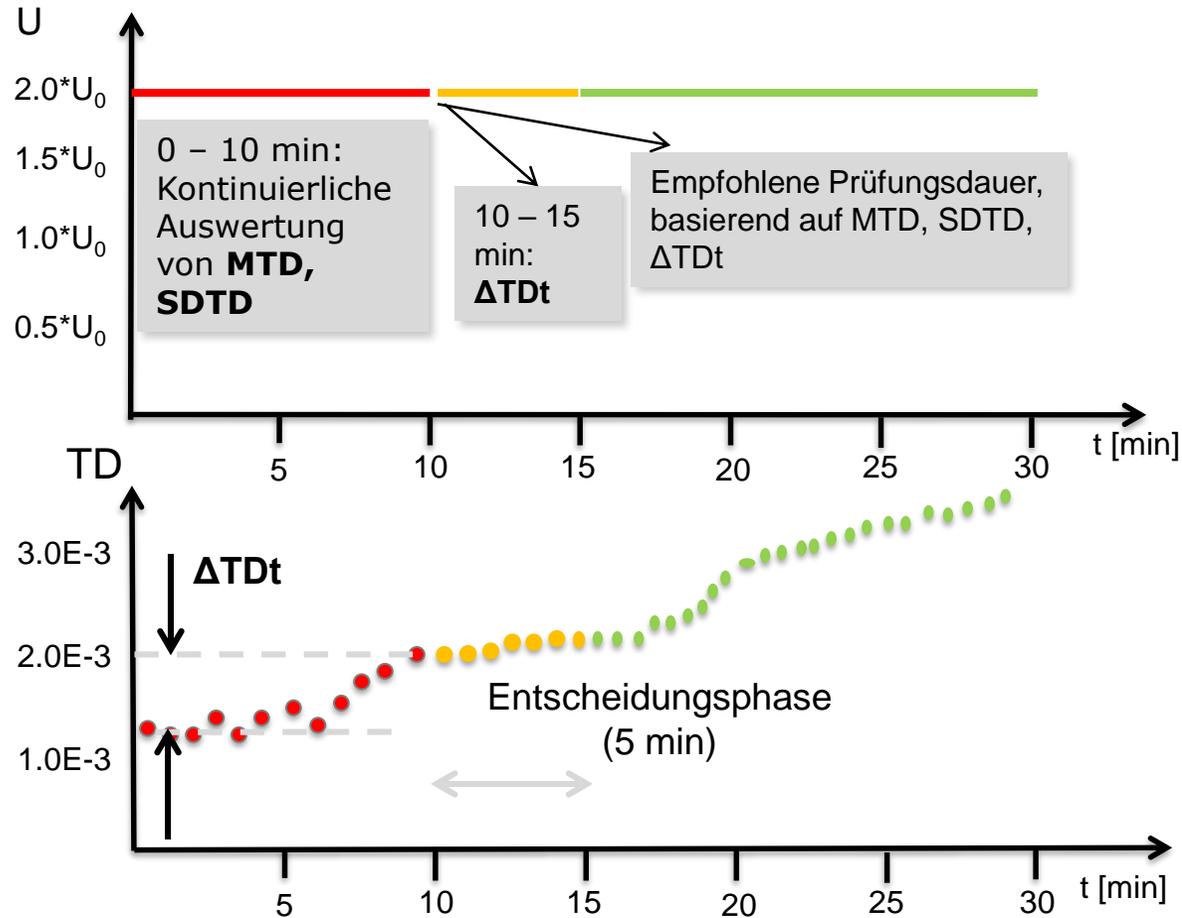
➔ Kontinuierliche Überwachung von **3 Kriterien (MTD, SDTD, ΔTD)** gegen definierte Schwellwerte



- Berechnung des mittleren TD (**MTD**) und darstellen MTD vs. Prüfspannung
- Berechnung der Standardabweichung (**SDTD**)

Messablauf und Parameter

MWT-Phase



➔ Kontinuierliche Überwachung von **3 Kriterien (MTD, SDTD, ΔTDt)** gegen definierte Schwellwerte



Gefährdet

Betriebsgealtert

Gut

Empfohlene Prüfungsdauer

60 min

30 min

15 min

Verlustfaktormessung

Kriterien

SDTD - Standardabweichung

- Stabilität über Zeit
- Trendanalyse

$$SDTD = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}}$$

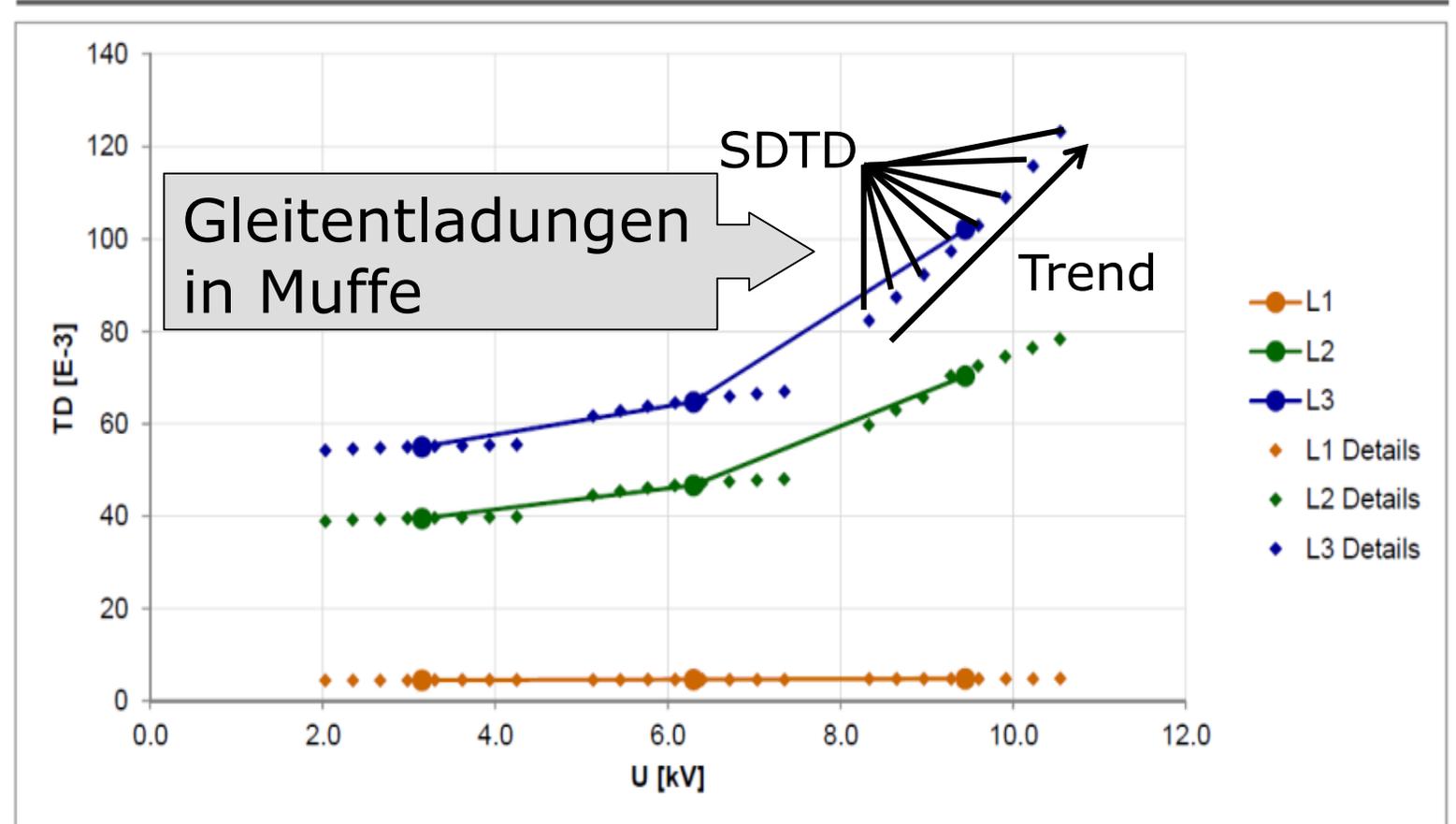
Ansteigend:

- Innere Teilentladungen
- Tracking
- Water-Trees

Abfallend:

- Nasse Muffen

Ramp-up curve



Verlustfaktormessung

Kriterien

SDTD - Standardabweichung

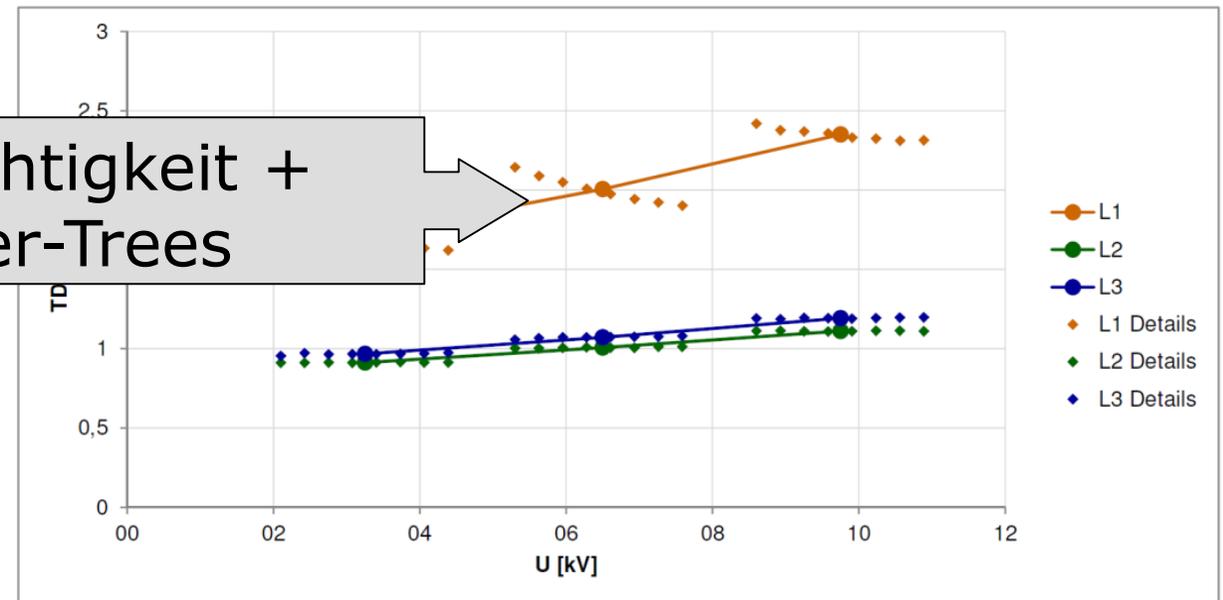
Anforderung: 1×10^{-6}

Time	U / kV	I / mA	TD E-3
03:02:31	10	3.53	7.205
03:02:41	10	3.53	7.207
03:02:51	10	3.53	7.208
03:03:01	10	3.53	7.210
03:03:11	10	3.53	7.212
03:03:21	10	3.53	7.215
03:03:31	10	3.53	7.217
03:03:41	10	3.53	7.219

Feuchtigkeit +
Water-Trees



Ramp-up curve



Verlustfaktormessung

Kriterien

SDTD	Befund	Maßnahmen	Kommentar
< 0,01	<ul style="list-style-type: none"> • Wenige WT • Wenige TE 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine 	<ul style="list-style-type: none"> • Guter Zustand
0,010 ... 0,080	<ul style="list-style-type: none"> • WT & TE • TE 	<ul style="list-style-type: none"> • TE-Messung 	<ul style="list-style-type: none"> • Moderate Alterung
0,080 ... 0,500	<ul style="list-style-type: none"> • Wassereinbruch 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantelprüfung • TE-Messung • TDR-Messung 	<ul style="list-style-type: none"> • TE wahrscheinlich gedämpft
> 0,500	<ul style="list-style-type: none"> • Starker Wassereinbruch 	<ul style="list-style-type: none"> • Mantelprüfung • TDR-Messung 	<ul style="list-style-type: none"> • TE wahrscheinlich eliminiert

Verlustfaktormessung

Kriterien

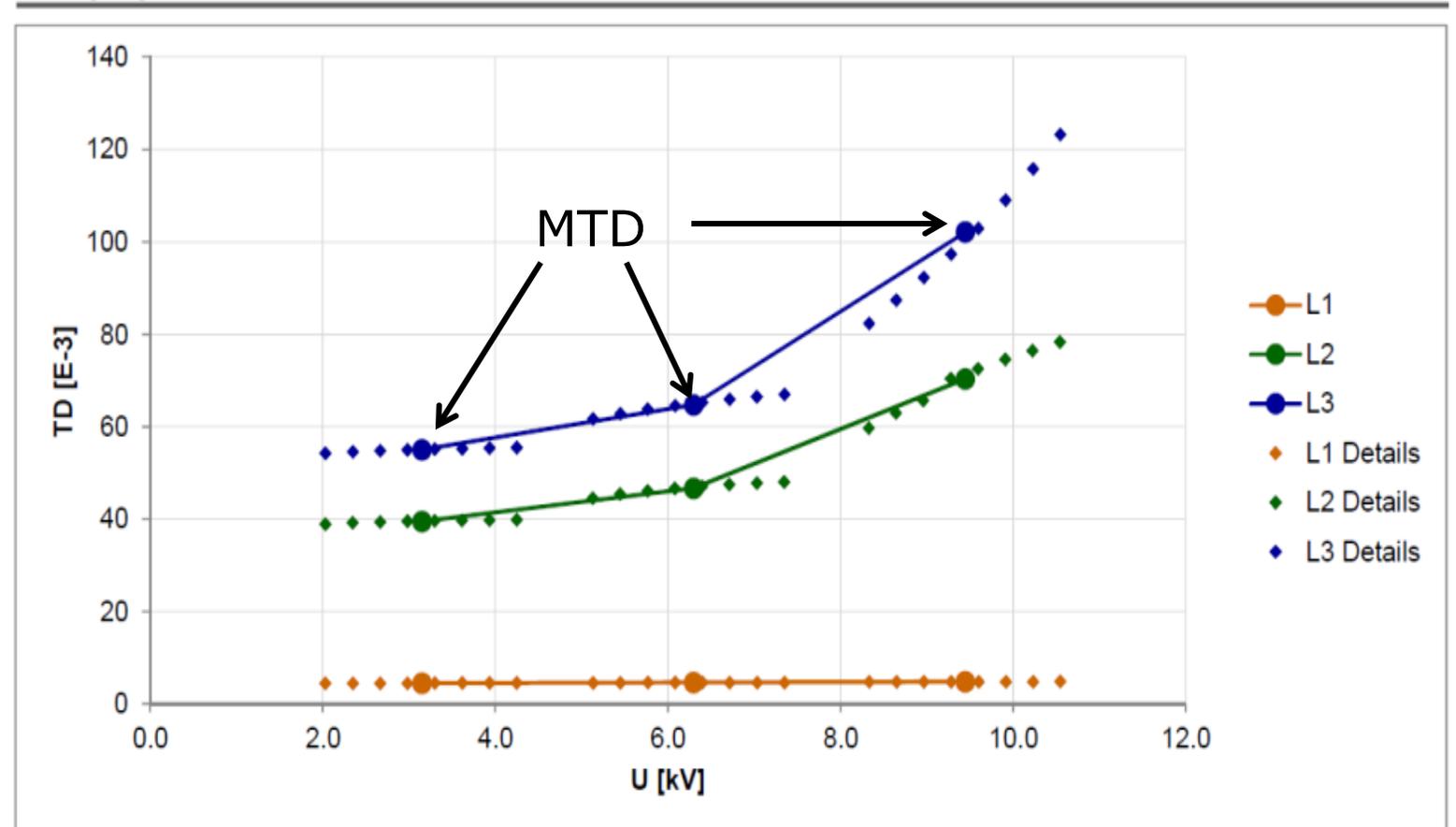
MTD – Absolutwert

- Arithmetisches Mittel
- Grenzwerte unterschiedlich für:
 - neue Kabel
 - betriebsgealterte Kabel
 - Mischkabel

Hoch:

- Water-Trees
- Alterung
 - Thermisch
 - Chemisch

Ramp-up curve



Verlustfaktormessung

Kriterien

$\Delta TD - MTD (U)$

- Positiv
- Negativ
- Knick

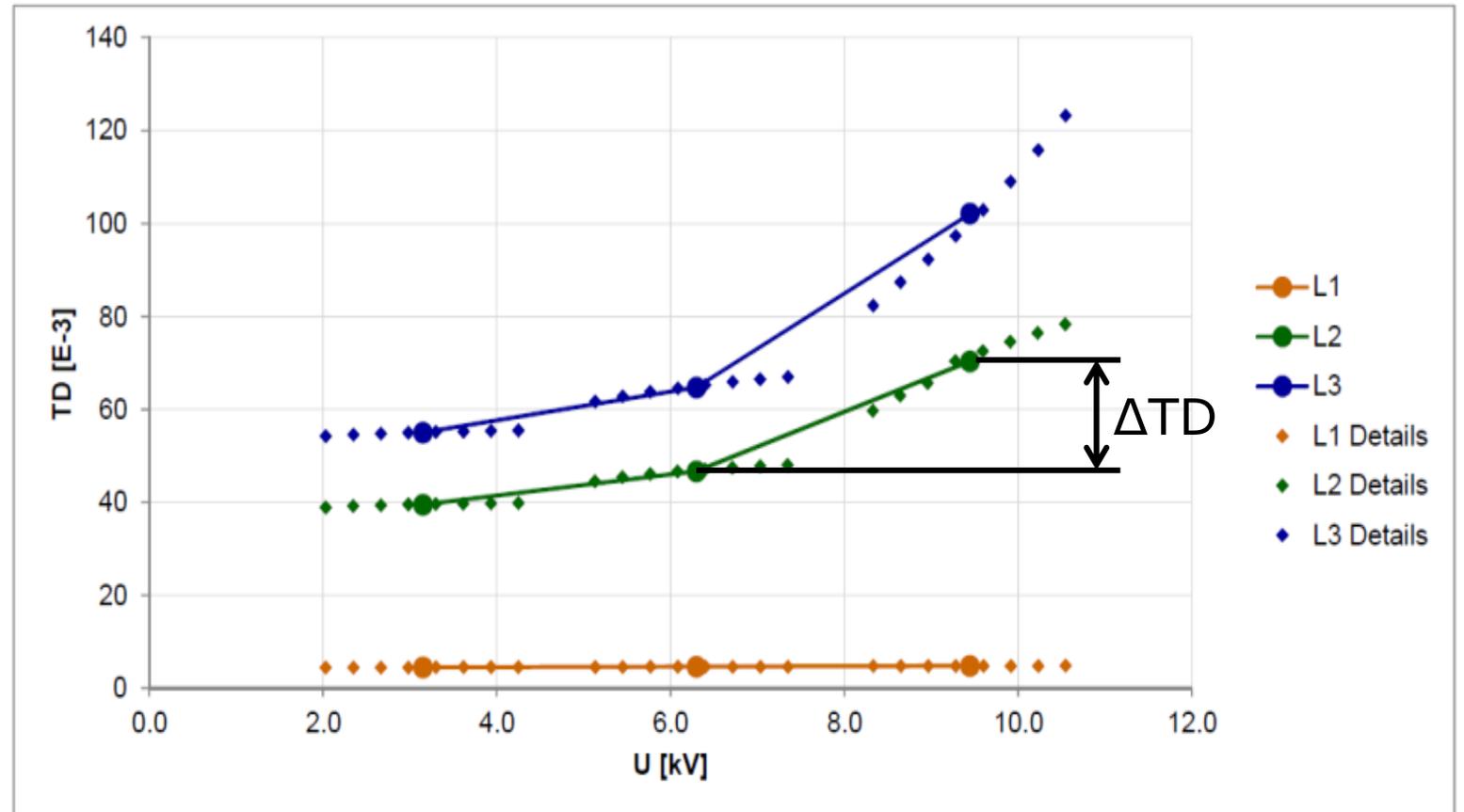
Ansteigend:

- Water-Trees
- Teilentladungen

Abfallend:

- Feuchtigkeit
 - Verdampfung
 - Polarisation
 - Hystereseurve
- Teilentladungen

Ramp-up curve



Verlustfaktormessung

Kriterien

$\Delta TD - MTD (U)$

- Positiv
- Negativ
- Knick

Water-Trees +
gealtertes Massekabel

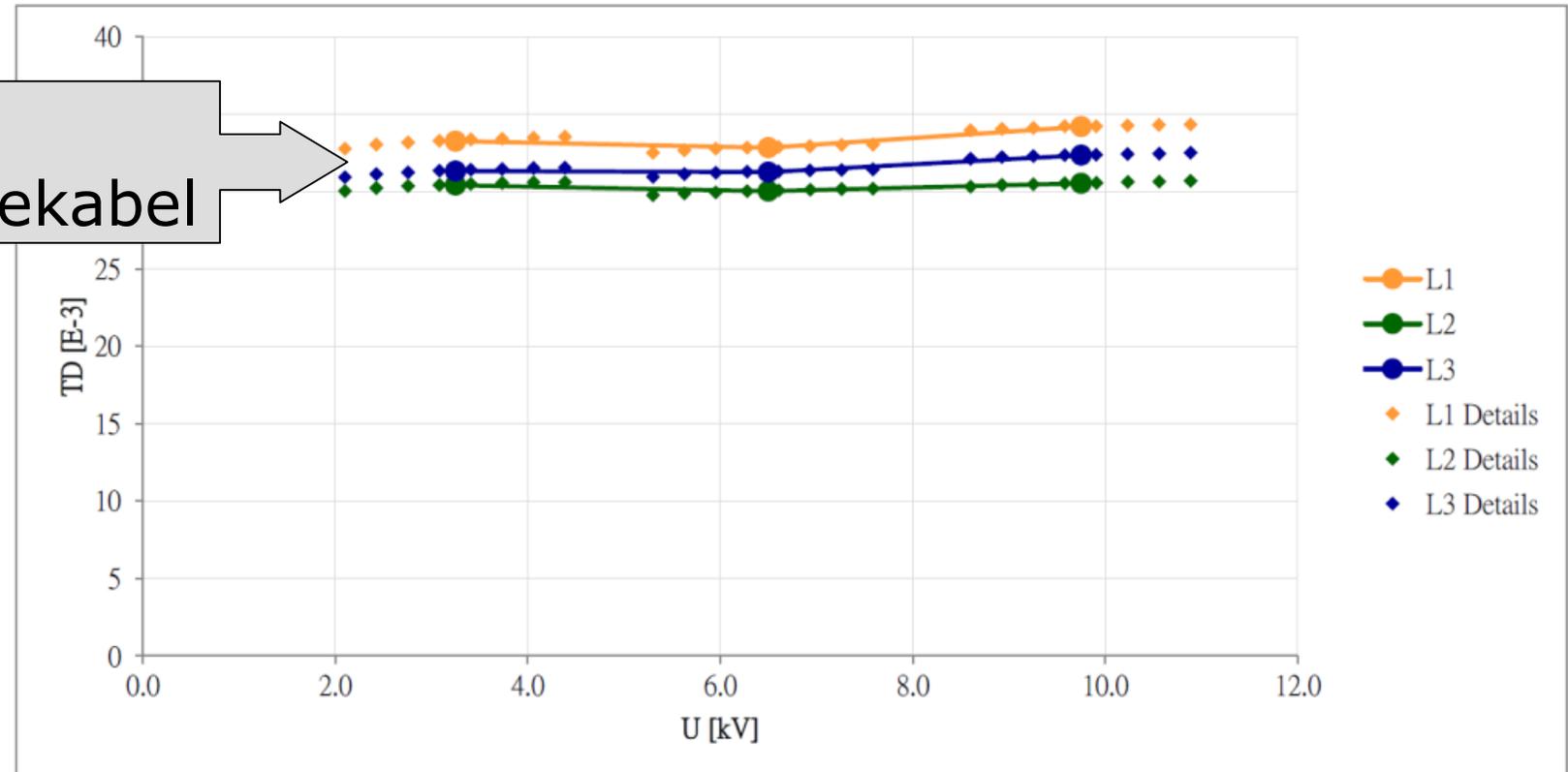
Ansteigend:

- Water-Trees (+Trend + ΔTD)
- Teilentladungen

Abfallend:

- Feuchtigkeit (- ΔTD)
 - Verdampfung
 - Polarisation
 - Hysteresekurve
- Teilentladungen

Ramp-up curve

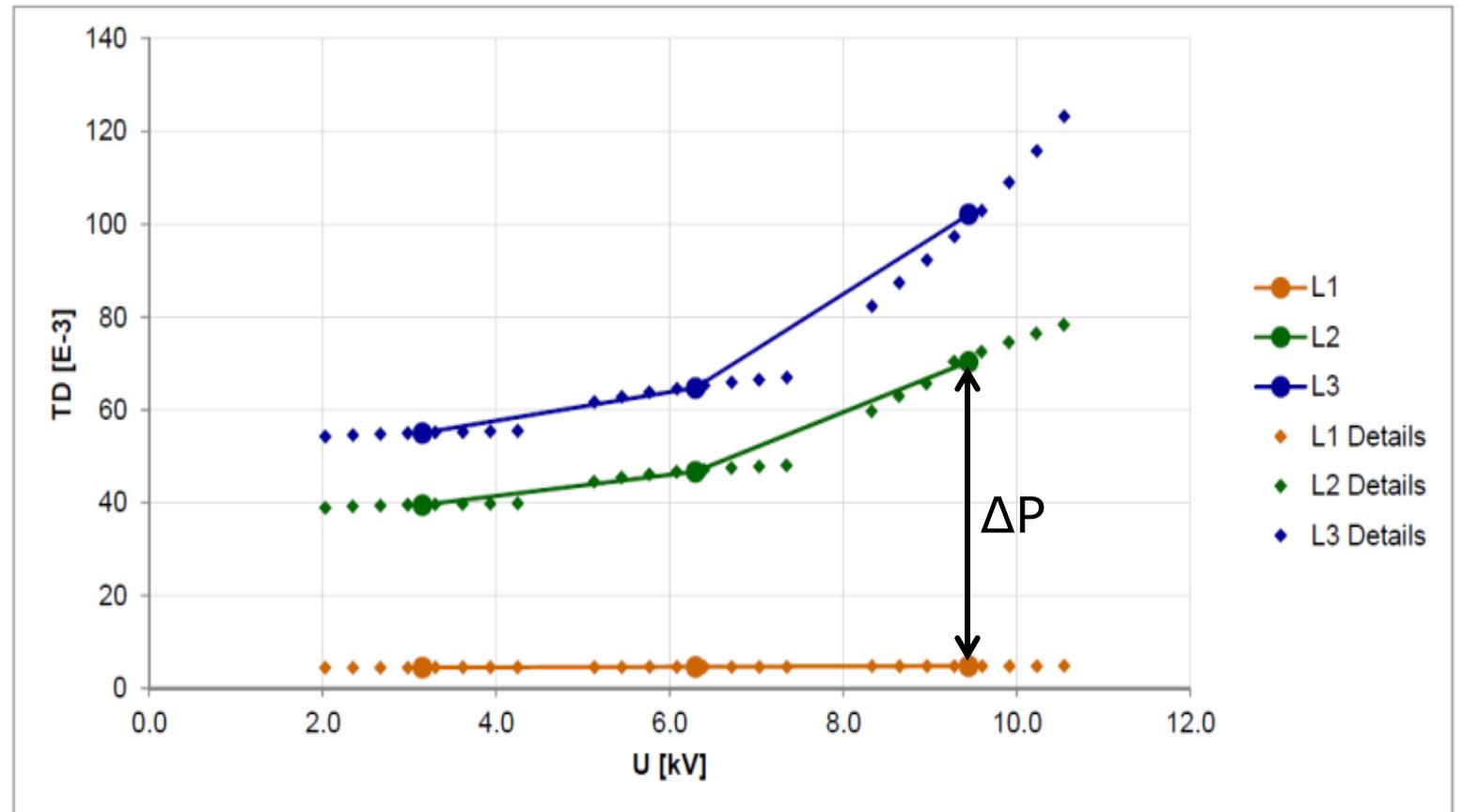


Verlustfaktormessung Kriterien

ΔP - Phasenvergleich

- L1-L2
- L2-L3
- L3-L1

Ramp-up curve

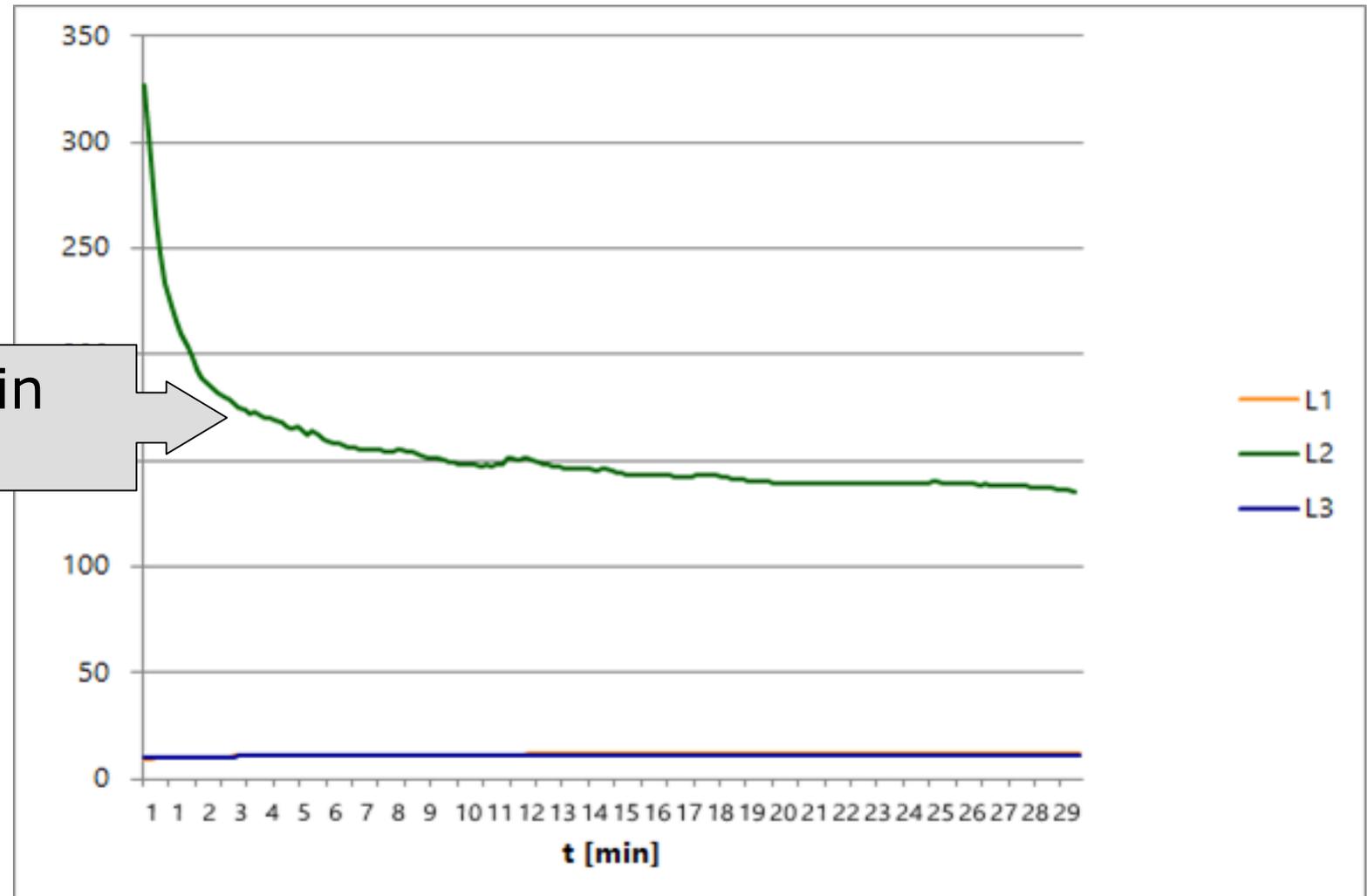


Verlustfaktormessung Kriterien

MWT – TD(t)

- Phasenvergleich
- Stabilität
- Positiv
- Negativ
- Knick

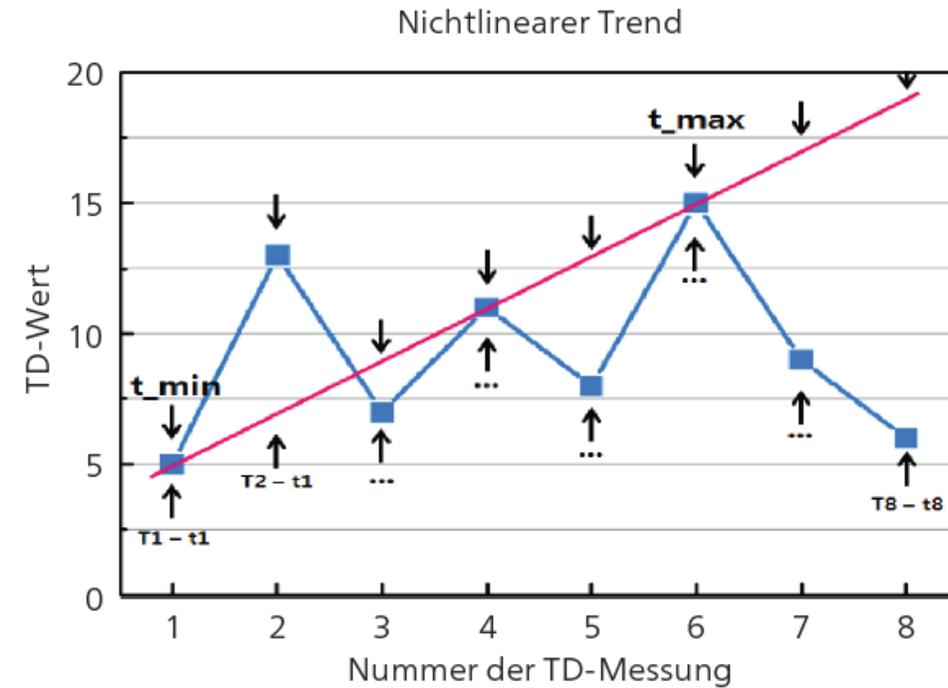
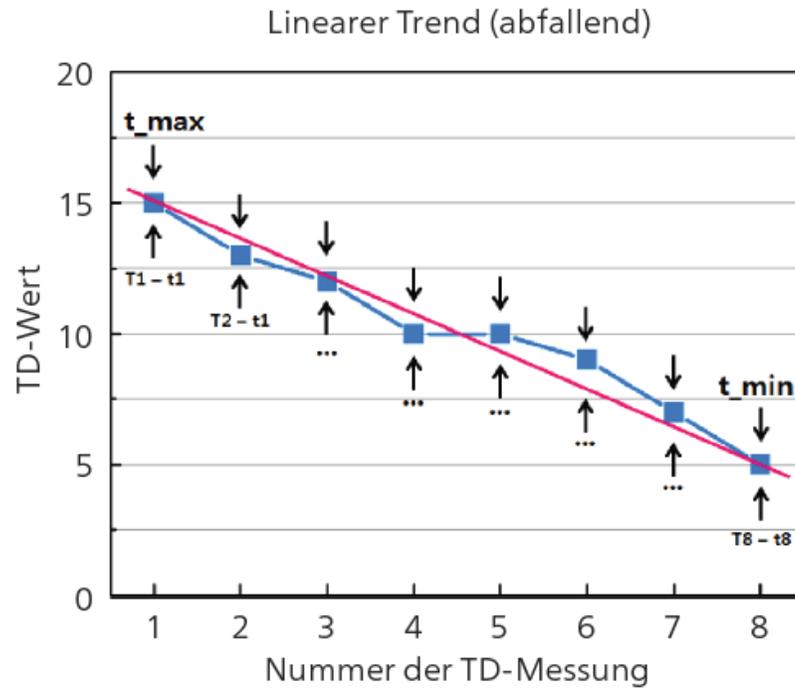
Feuchtigkeit in
Massekabel



Kriterien

TD-Skirt

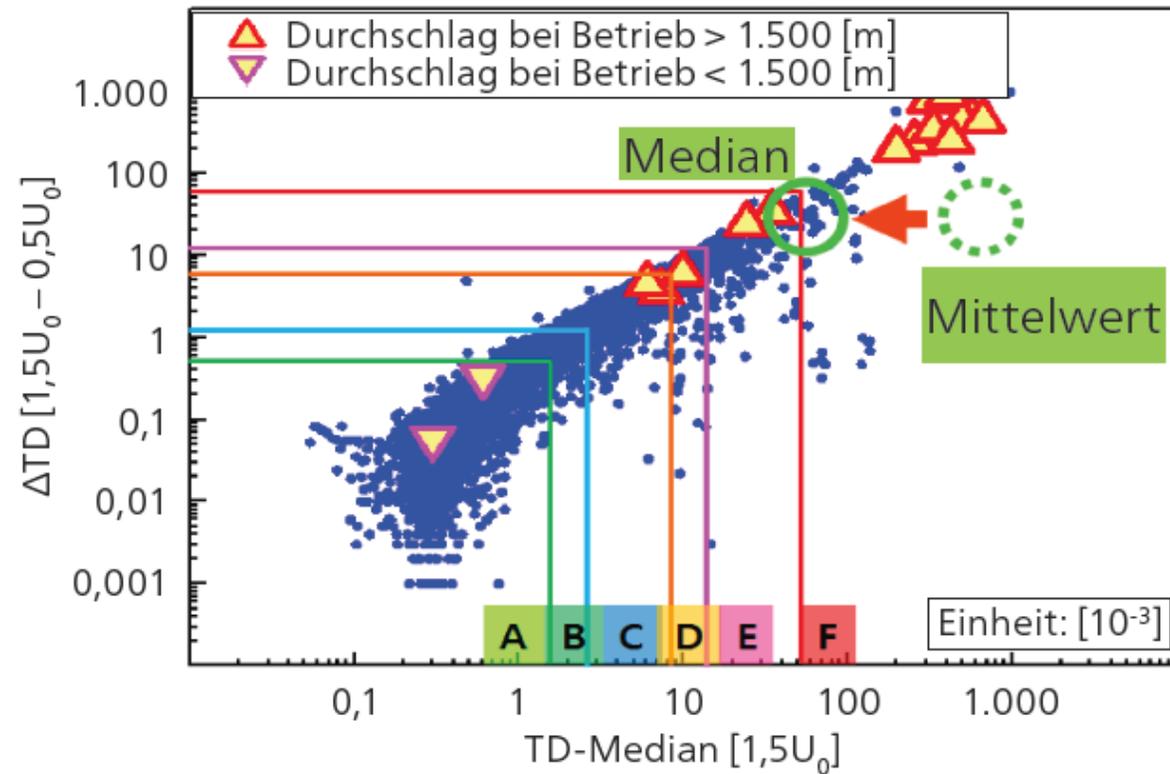
- Trendanalyse



Kriterien

TD-Median

- Mittelwert
- Ausschluss unregelmäßiger Werte



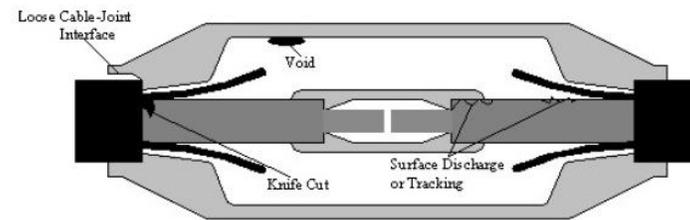
Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte

Betriebsmittel

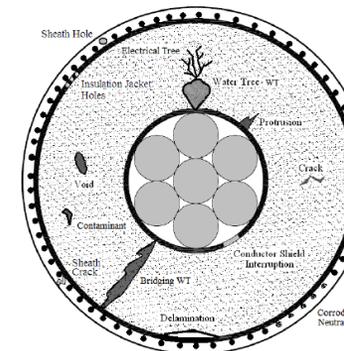
Endverschlüsse



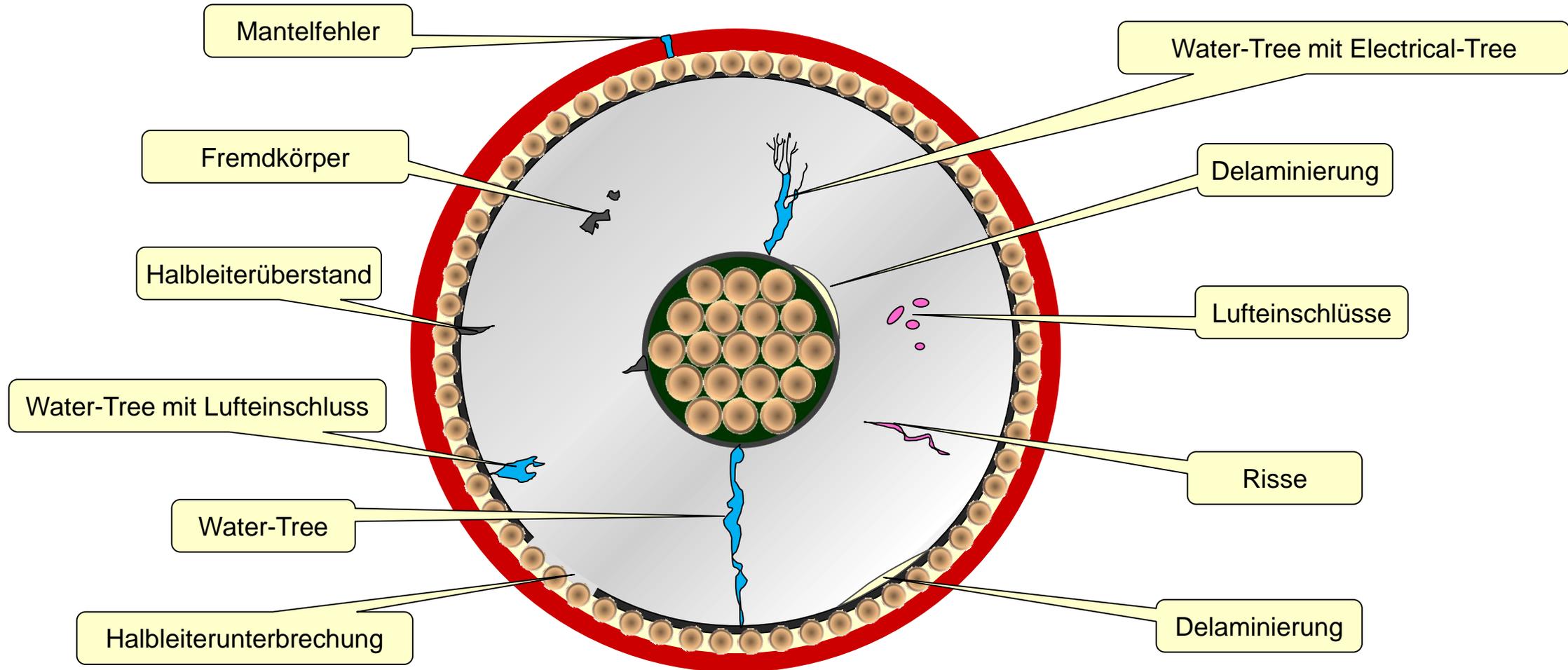
Muffen



Kabel



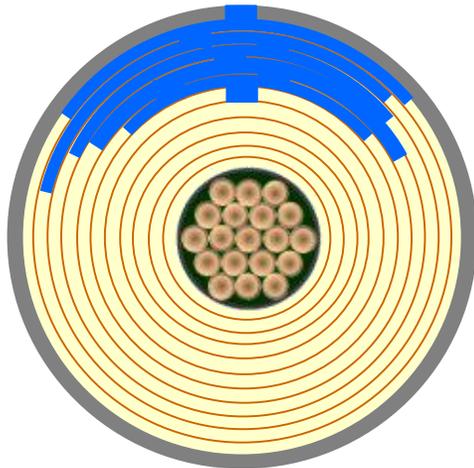
Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte Kunststoffkabel



Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte

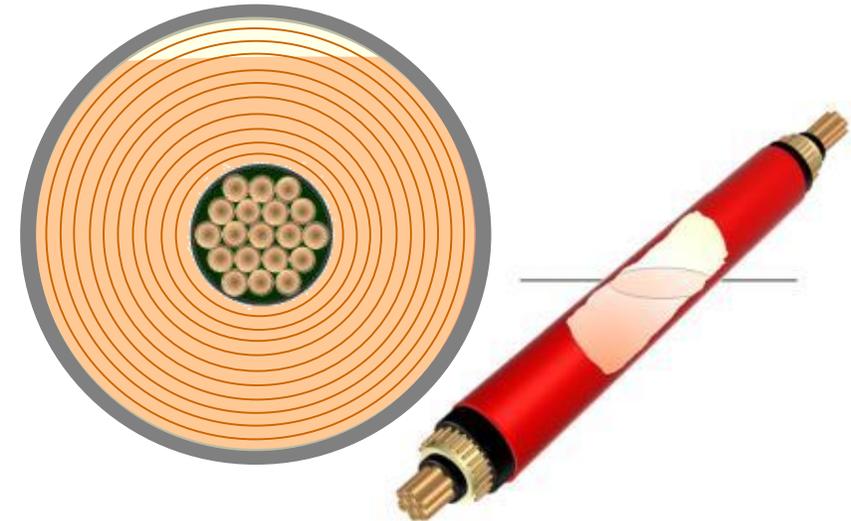
Papier-Masse-Kabel

Feuchtigkeit



- Eindringen von Wasser verringert die effektive Isolation
- Feldstärke und Beanspruchung der Restisolation nehmen zu
- Spannungsfestigkeit nimmt ab

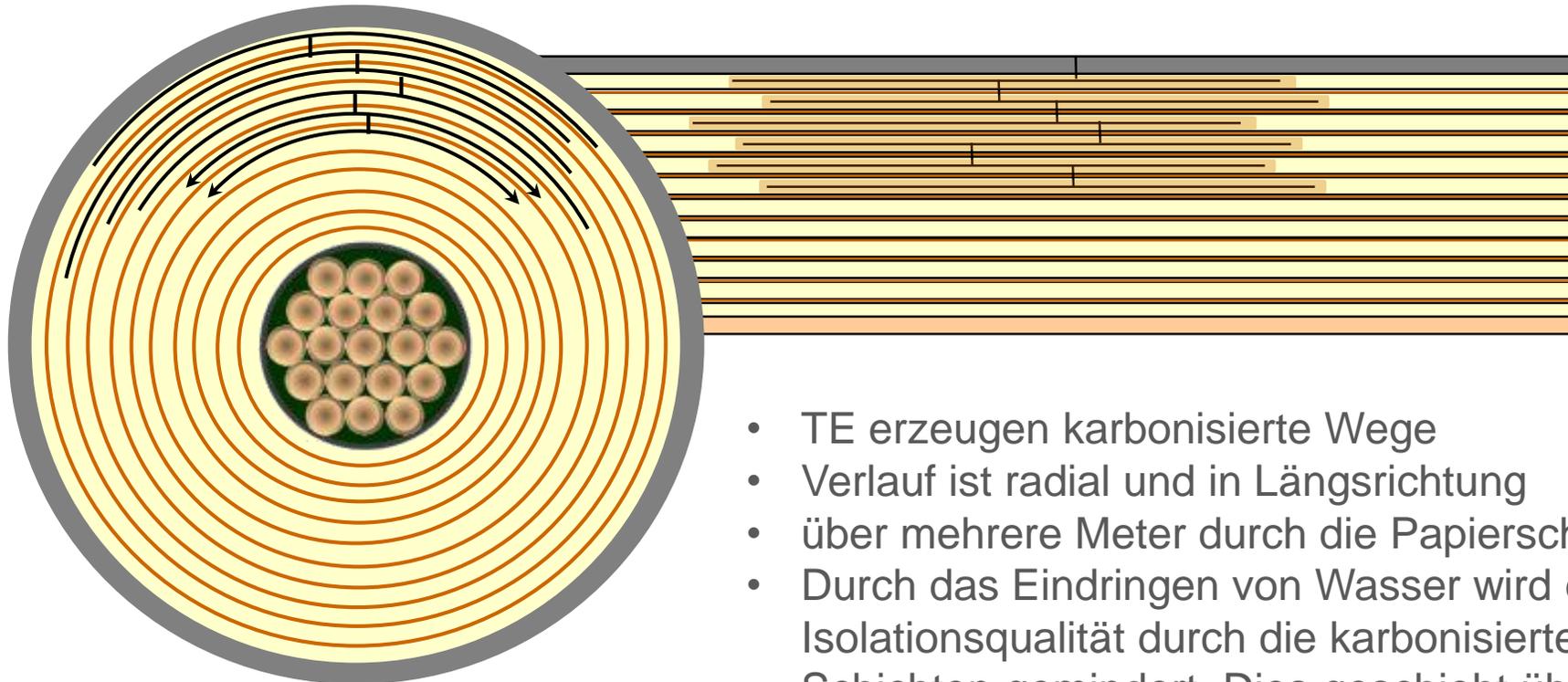
Ablaufen von Öl



- Durch Ablaufen des Öls trocknet das Kabel aus
- Isolationsqualität sinkt
- Es treten Teilentladungen auf
- Es kommt zu Ausfällen
- Selbstheilungseffekte sind möglich (erwärmtes Öl)

Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte

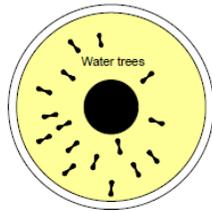
Papier-Masse-Kabel



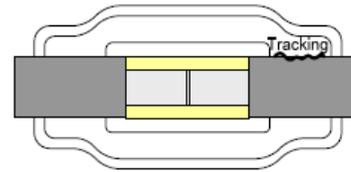
- TE erzeugen karbonisierte Wege
- Verlauf ist radial und in Längsrichtung
- über mehrere Meter durch die Papierschichten
- Durch das Eindringen von Wasser wird die Isolationsqualität durch die karbonisierten Schichten gemindert. Dies geschieht über einen längeren Zeitraum, bis das Kabel ausfällt.

Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte

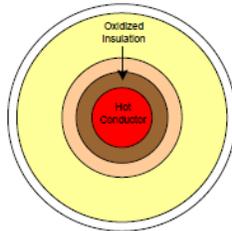
Watertrees



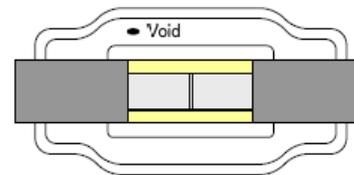
Feuchte und nasse Muffen



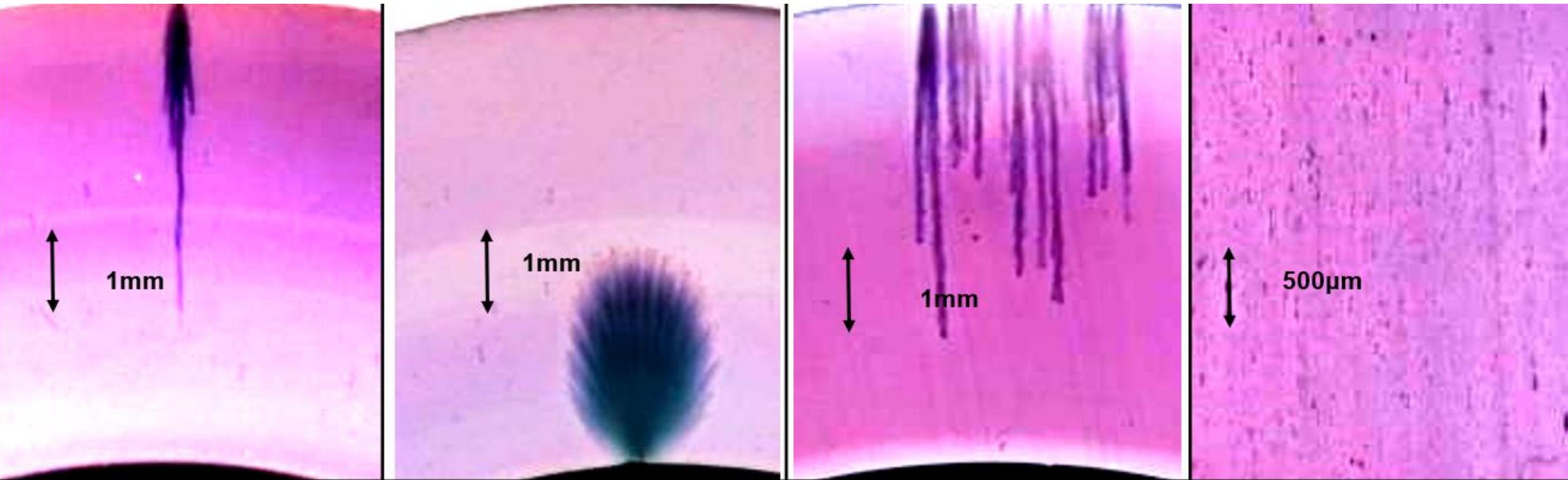
Alterung (z.B. thermisch)



Teilentladungen

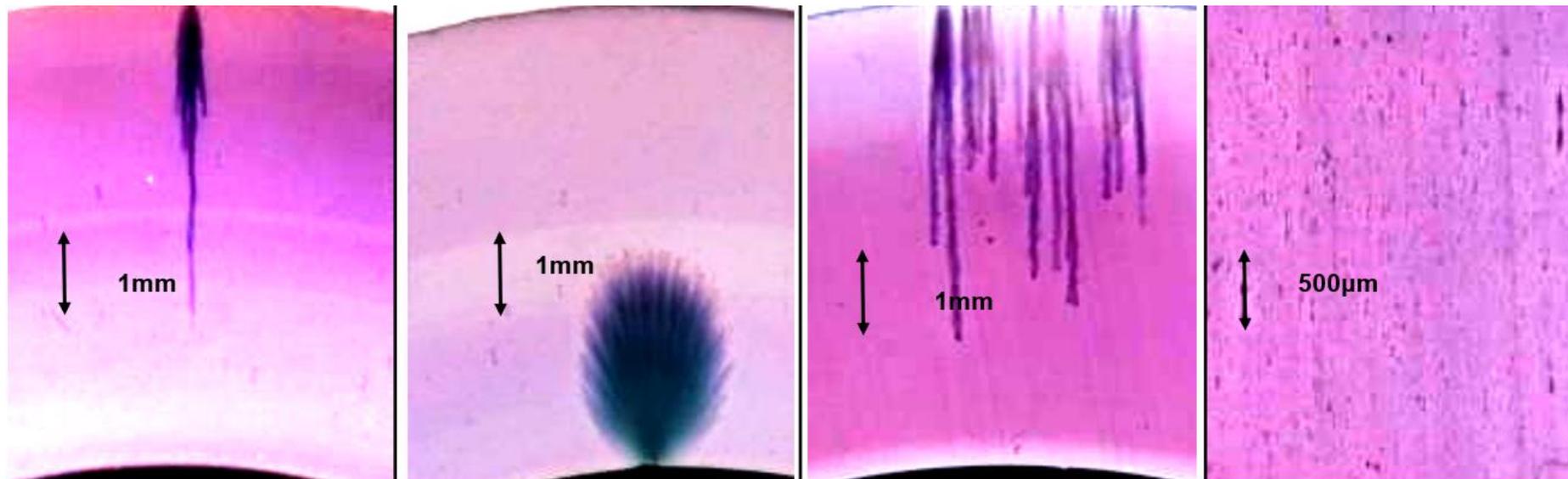


Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte Watertrees



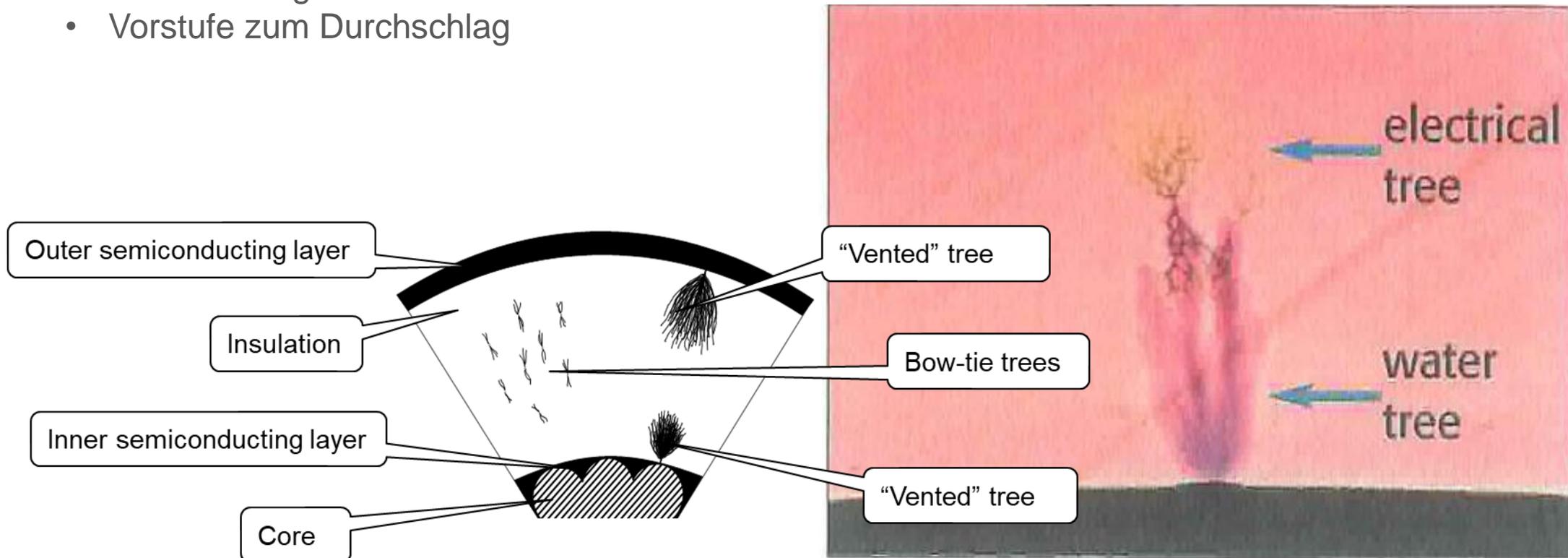
Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte Watertrees

- Wachstum auch bei geringen Feldstärken ($< 1 \text{ kV} / \text{mm}$)
- Sehr langsames Wachstum (6 ... 15 Jahre)
- Keine TE
- Nicht sichtbar, messbar oder lokalisierbar
- Es muss nicht unmittelbar zum Fehler kommen (Leitfähigkeit des Wassers)
- Erhöhte TD-Werte



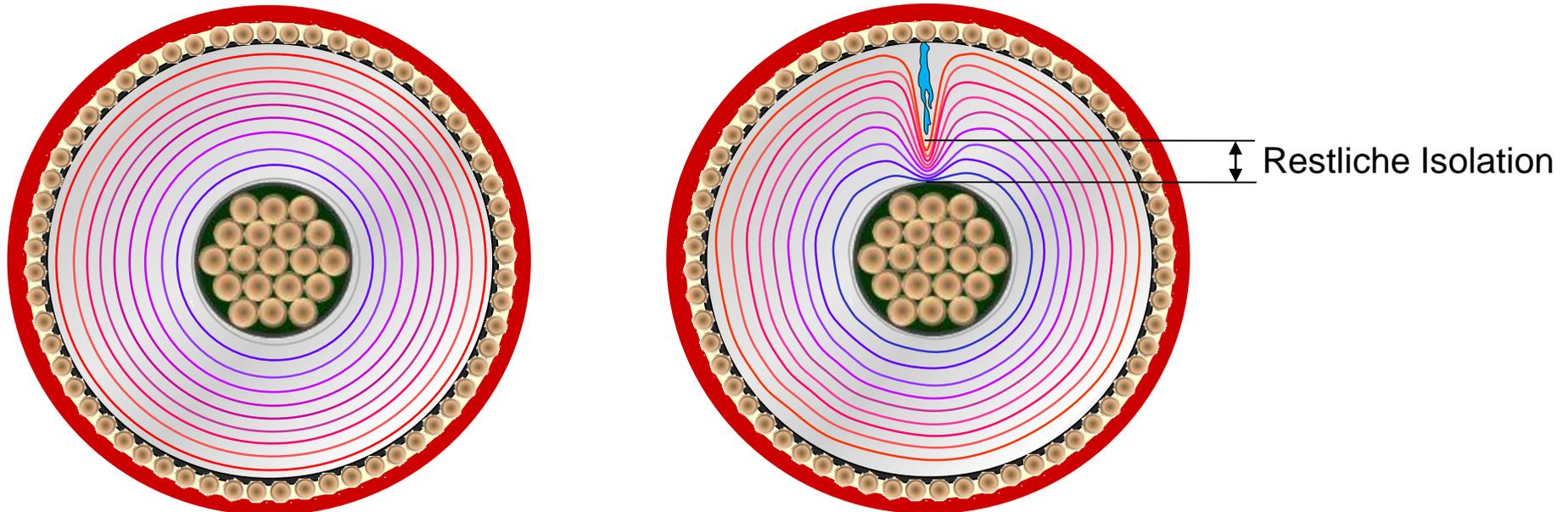
Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte Electrical Trees

- Endstufe eines WT
- Schnelle Überbrückung der Isolation
- Teilentladungen
- Vorstufe zum Durchschlag

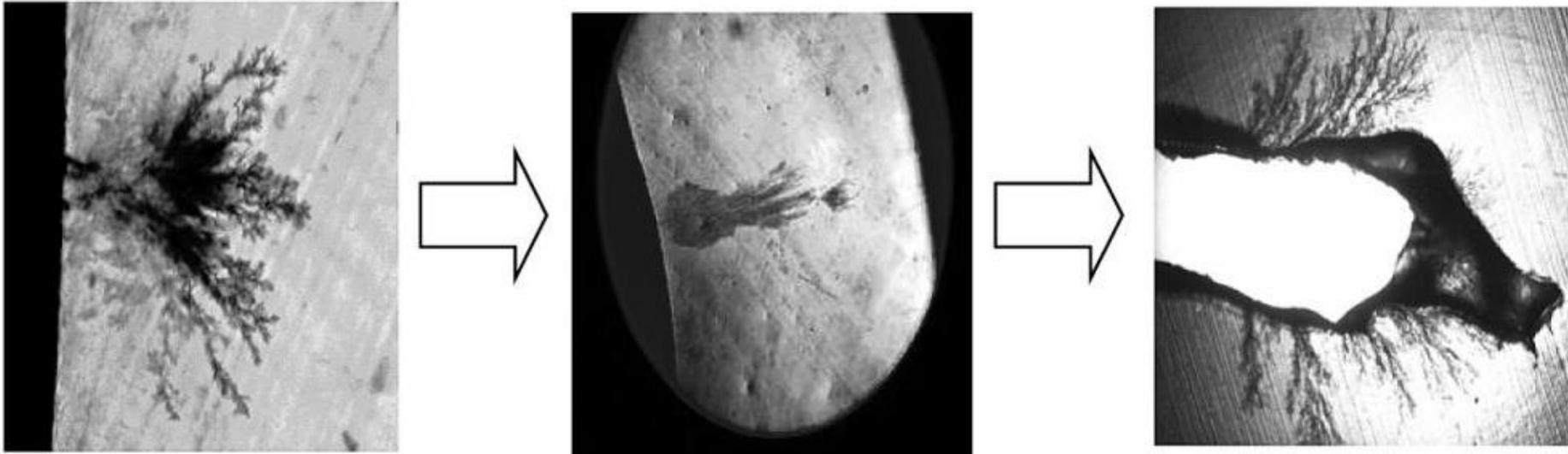


Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte

- Elektrische Feld eines guten Kabels: homogen verlaufende Feldlinien gleicher Feldstärke
- Das Feld ist um fehlerhafte Stellen wie WT, Risse, Hohlräume verzerrt
- Das elektrische Feld wird auf eine deutlich reduzierte Dicke komprimiert
- Feldstärke (kV / mm) wird erhöht → Beanspruchung steigt

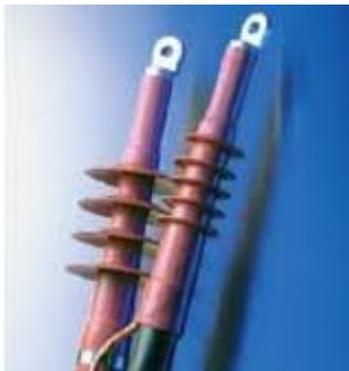
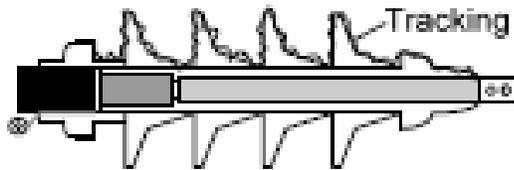


Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte Electrical Trees & Watertrees



Verlustfaktormessung

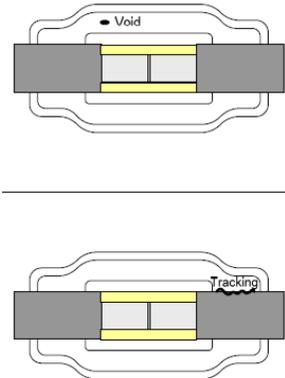
TE in Endverschlüssen als Ursachen für erhöhte TD-Werte



Ursache	Auswirkung	Phasenpattern
Verschmutzung, Oxidation	Gleitentladungen an der Oberfläche	Äußere TE
Montagefehler, Fabrikationsfehler	Teilentladungen im Inneren der Isolation	Innere TE

Verlustfaktormessung

TE in Muffen als Ursachen für erhöhte TD-Werte

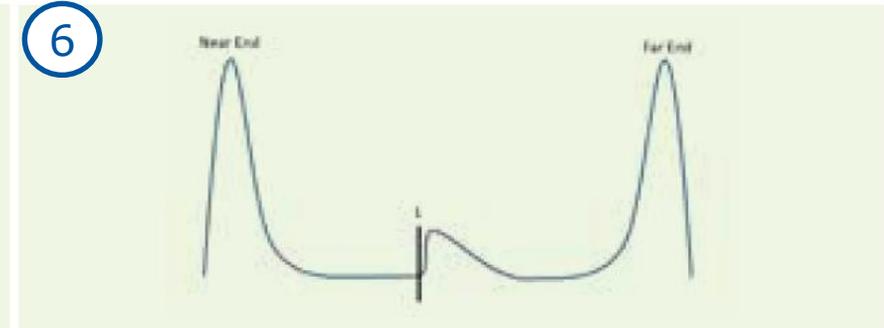
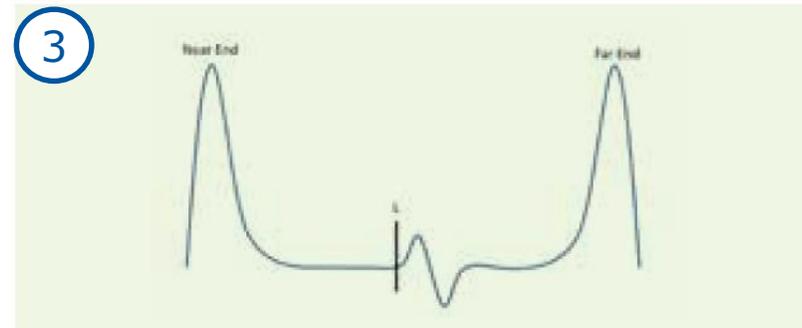
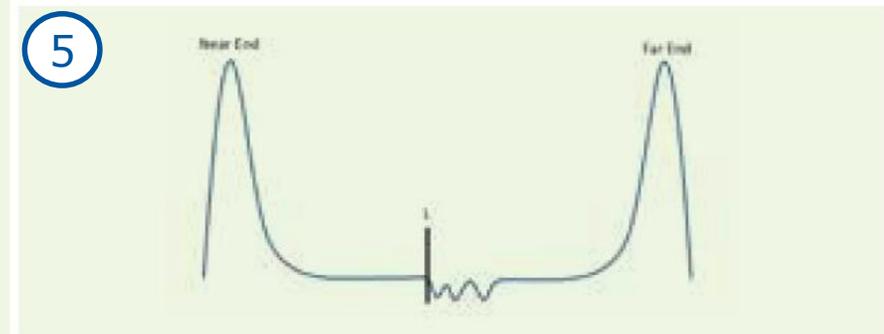
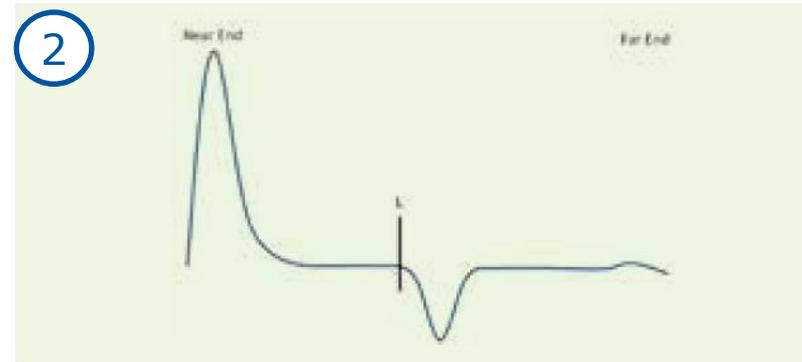
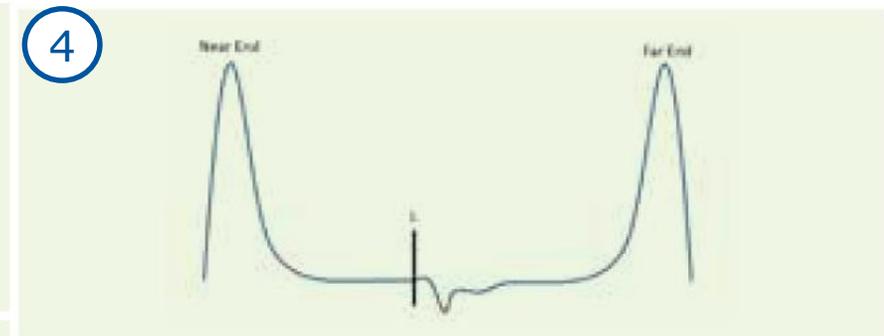
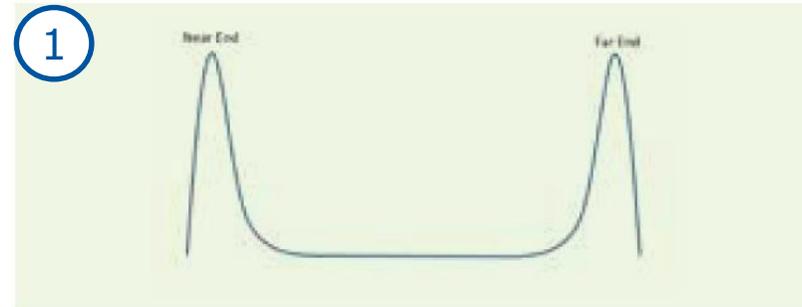


Ursache	Auswirkung	Phasenpattern
Montagefehler, Fabrikationsfehler, Alterung	Teilentladungen, langsame Zerstörung der Isolation	Innere TE
Feuchtigkeit	Gleitentladungen zwischen Leiter und Schirm	Äußere TE

Identifikation von Muffen

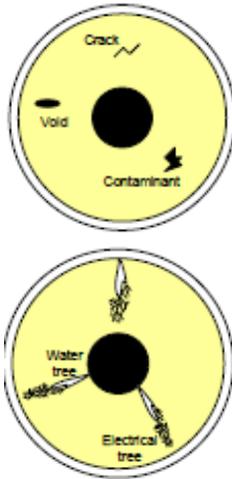
Mit Hilfe des Kalibrators

1. Keine Muffen
2. Kurzschluss bei L
3. Muffe bei L
4. Nasse Muffe
5. Nasses Kabel
6. Lokal korrodierter Neutralleiter



Verlustfaktormessung

TE in Kabeln als Ursachen für erhöhte TD-Werte



Ursache	Auswirkung	Phasenpattern
Risse, Luft einschlüsse, Verschmutzungen	Teilentladungen, langsame Zerstörung der Isolation	Innere TE
Water-Trees, Electrical-Trees	Teilentladungen, schnelle Überbrückung der Isolation	Innere TE

Verlustfaktormessung

TE Übersicht

- Innere TE erhöhen den TD-Wert
- Äußere TE erhöhen den TD-Wert
- TE können sich löschen
 - Paschen-Effekt
 - Papier-Masse
 - TD-Wert sinkt
- TE-Pegel bei Feuchtigkeit ist höher als gemessen / gedacht
- TE-Messung vor oder während TD-Messung bringt zusätzlichen nutzen

Verlustfaktormessung

Informationen

Indikator	Information
SDTD / Trend	<ul style="list-style-type: none"> • Innere Teilentladungen ↗ • Tracking ↗ • Nasse Muffen ↘ • Water-Trees ↗
MTD	<ul style="list-style-type: none"> • Water-Trees ↗ • Alterung ↗ <ul style="list-style-type: none"> • Thermisch • Chemisch
ΔTD	<ul style="list-style-type: none"> • Water-Trees ↗ • Teilentladungen ✕ • Verdampfung / Polarisation (Hysteresekurve) ↘
MWT	<ul style="list-style-type: none"> • Verdampfung / Polarisation ↘ • Konditionierung ↘

TD Auswertekriterien

	Neu	In Betrieb	Betriebsgealtert
Kunststoff	?	?	?
Papier-Masse	?	?	?
Mischkabel	?	?	?

Zustandsbewertung

VPE / in Betrieb

IEEE 400.2-2013

TD / 10⁻³	SDTD @ U₀		ΔTD @ U₀ - 2U₀		MTD @ 2 U₀
keine Aktion erforderlich	< 0,1	und	< 0,6	und	< 1,2
weitere Beobachtung empfohlen	0,1 - 0,5	oder	0,6 - 1	oder	1,2 - 2
Eingreifen erforderlich	> 0,5	oder	> 0,6	oder	> 2,2

Zustandsbewertung

Kunststoff / Neuverlegt

IEEE 400.2-2013

TD / 10⁻³	SDTD @ U₀		ΔTD @ U₀ - 2U₀		MTD @ 2 U₀
keine Aktion erforderlich	< 0,5	und	< 1,5	und	< 8,0
weitere Beobachtung empfohlen	0,5 - 1,0	oder	1,5 - 3,0	oder	8,0 - 10,0
Eingreifen erforderlich	> 1,0	oder	> 3,0	oder	>10,0

Zustandsbewertung

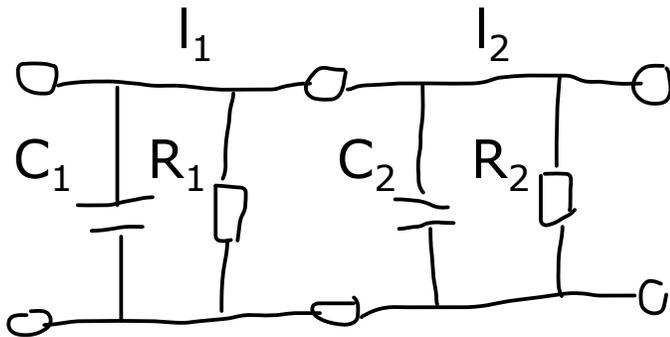
VPE / in Betrieb

Kundenspezifisch

TD / 10⁻³	MTD @ U₀	ΔTD @ 0,5 U₀ – 1,5 U₀	SDTD @ U₀	Skirt
Normal	< 0,1	< 0,5		
Attention	< 2,0	< 1,2		
Caution	< 6,0	< 6,0	> 0,1	> 0,3
Warning	< 10,0	< 12,0	< 0,2	> 0,6
Abnormal	< 27,0	< 60,0	< 0,70	< 2,20
Impending	> 27	> 60		
	OR		OR	
	AND			

Zustandsbewertung

Mischkabel



Kunststoff Papier-Masse

- Keine Angabe über Kunststoff möglich
- TD-Wert für PM ist höher als gemessen!

Annahme: $C_1=C_2$

$$TD = \frac{1}{\omega RC} = \frac{I_1}{I_G} TD_1 + \frac{I_2}{I_G} TD_2$$

Beispiel: Kunststoff-Anteil ist doppelt so lang wie Papier-Masse-Anteil

- $I_1=2I_2$
- $I_1+I_2=I_G=3I_2$

$$TD = \frac{2}{3} TD_1 + \frac{1}{3} TD_2$$

$$TD_1 \ll TD_2$$

$$TD_2 \approx 3TD$$

Zustandsbewertung Beispiele

7.6.3.1 TD trend pattern – XLPE cable in good condition

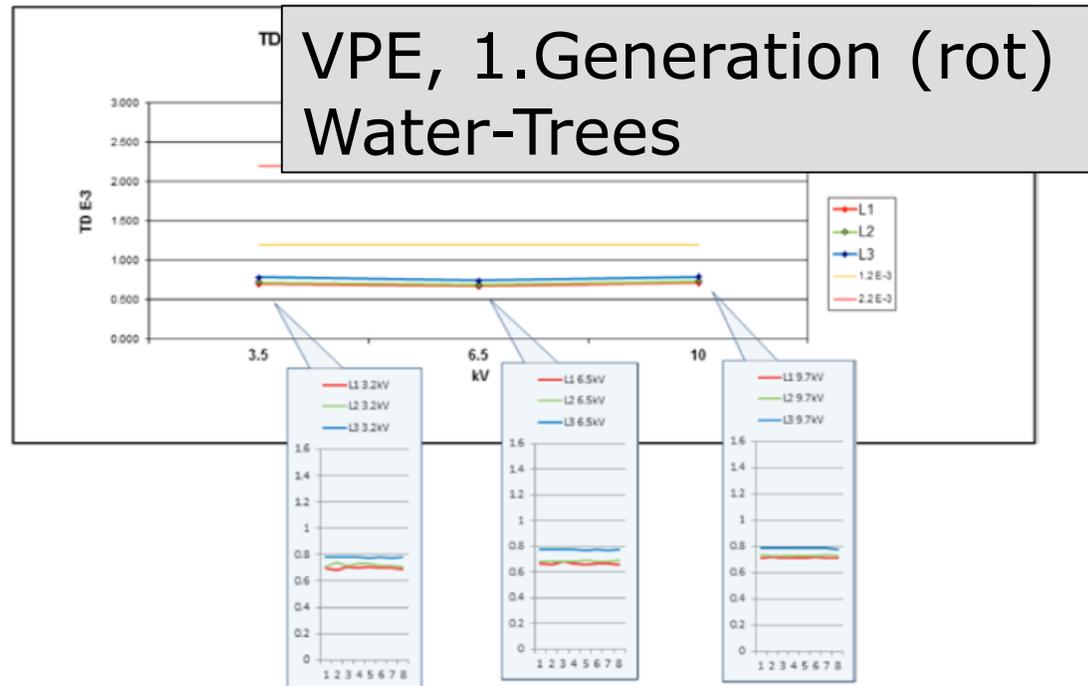


Figure 37: TD trend pattern – XLPE in good condition [20]

XLPE in good condition:

- Low TD values
- Low DTD
- Low standard dev. < 0.010 E-3
- Stable trend behaviour in all 3 voltage levels

Additional information:

- No PD activities
- Total cable length 1.688 m
- 14 joints
- (7943510)

7.6.3.2 TD trend pattern – XLPE with high water-tree ageing

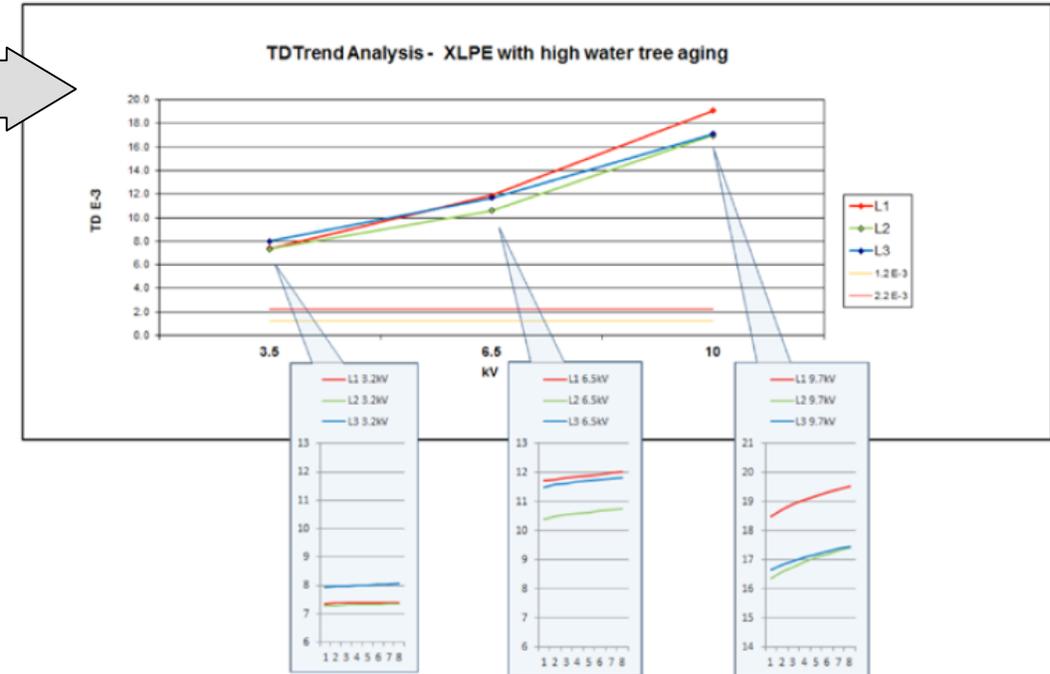


Figure 38: TD trend pattern – XLPE with high water-tree ageing [20]

XLPE with high water-tree ageing

- Increasing TD values
- High DTD
- Increased std. dev. < 0.500 E-3
- Increasing trend behaviour with higher voltage

Additional information:

- No PD activities
- Total cable length 933 m
- 15 joints
- Water-tree-prone cable section (90%)
- (3814503)

Zustandsbewertung Beispiele

7.6.3.5 TD trend pattern – PILC cable without PD activities

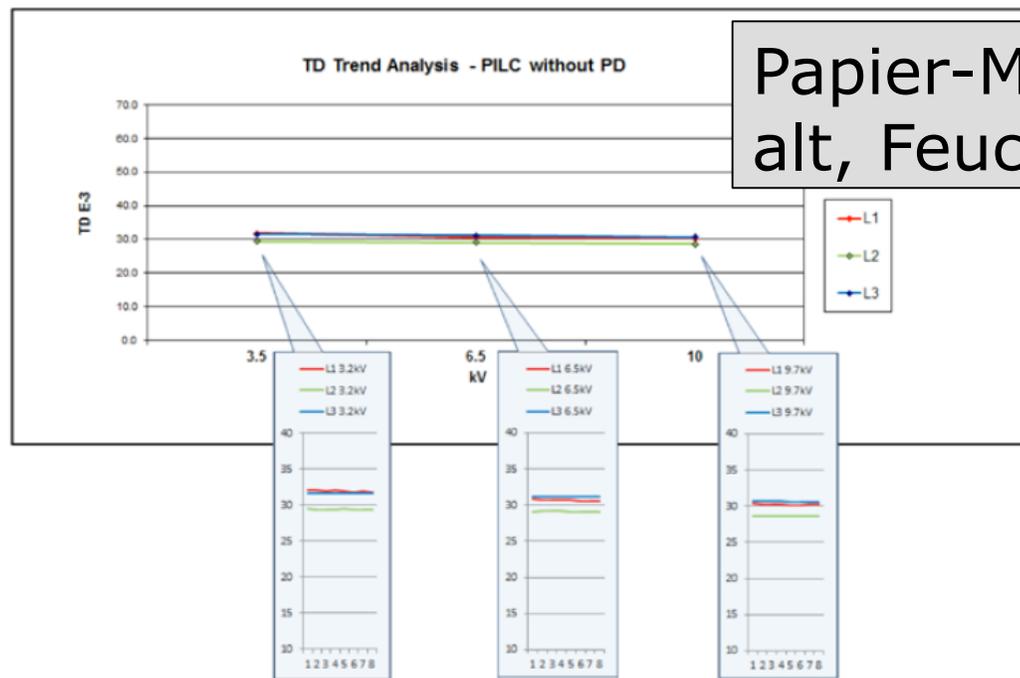


Figure 42: TD trend pattern – PILC without PD activities [20]

PILC cable without PD

- Low TD values (~30 E-3)
- Very low DTD
- Low standard dev. < 0.120 E-3
- Stable trend behaviour in all voltage levels

Additional Information:

- PD activities up to 1,000 pC in one joint
- Total cable length 1,681 m
- 12 joints
- (SS10850)

7.6.3.8 TD Trend pattern – highly service-aged PILC cable, with minor PD activities

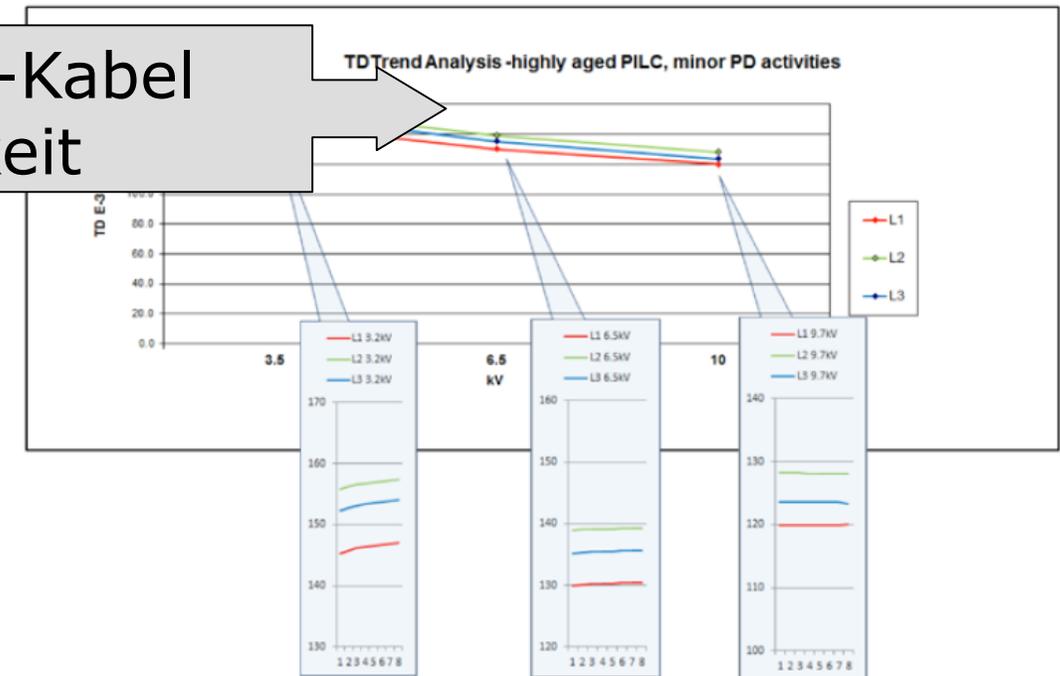


Figure 47: TD Trend pattern – PILC cable, highly service-aged, minor PD activities [20]

Highly aged PILC cable with minor PD activities

- Moderate to high TD values > 70 E-3
- Decreasing DTD
- High standard dev. > 0.500 E-3
- Increasing trend at low voltage level, stable or decreasing trend at higher voltage level

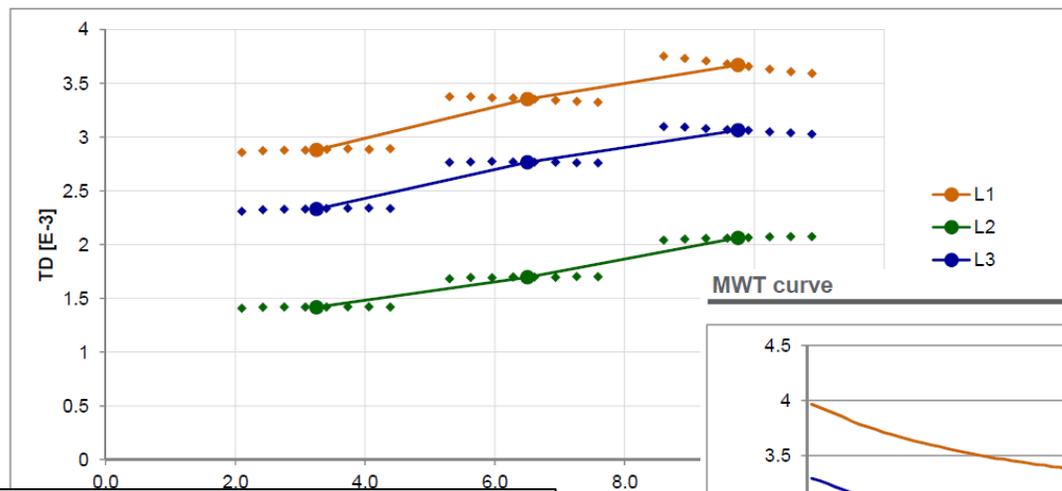
Additional Information:

- PD activities in PILC section up to 300 pC
- Total cable length 557 m (mixed cable, 30% PILC AP)
- 2 joints
- (5525S04)

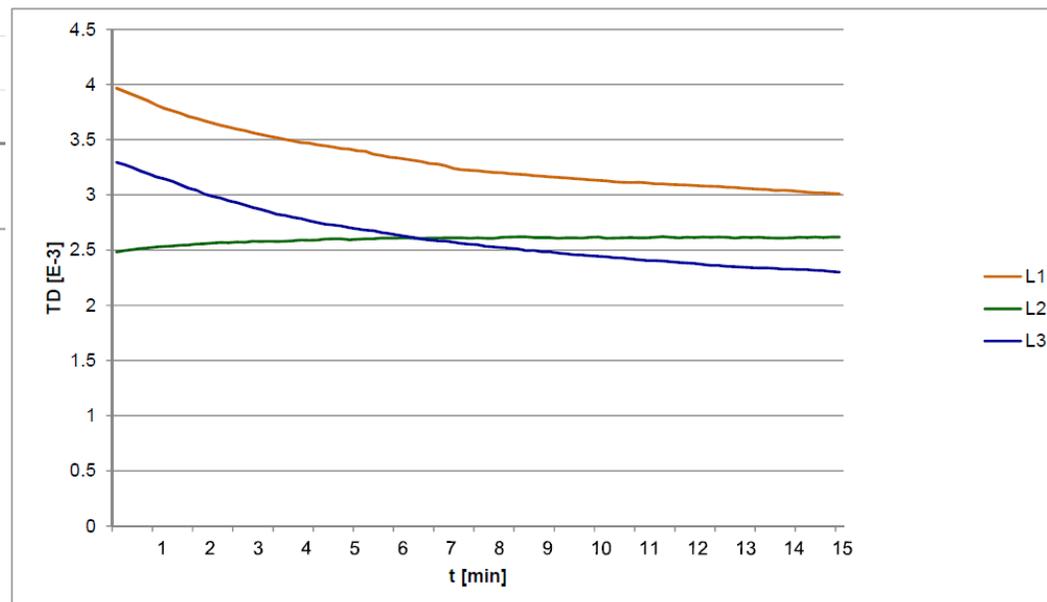
Papier-Masse-Kabel
alt, Feuchtigkeit

Zustandsbewertung Beispiele

Ramp-up curve



MWT curve

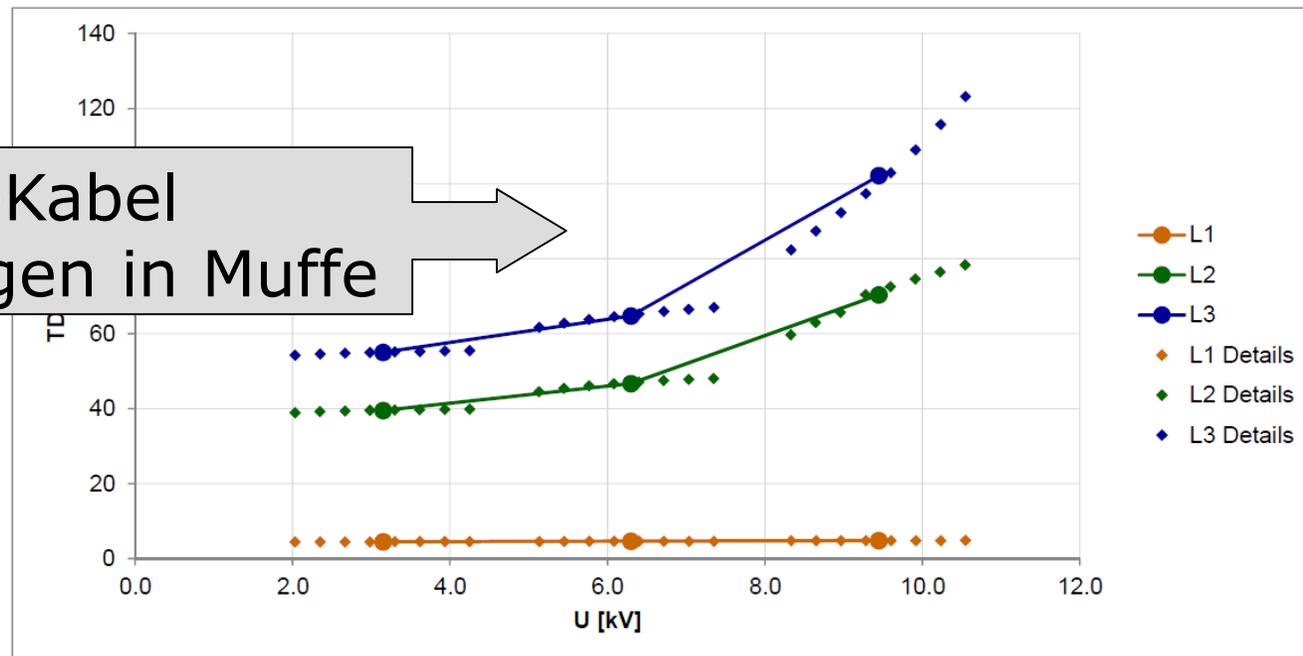


Feuchtigkeit +
Water-Trees

Zustandsbewertung Beispiele

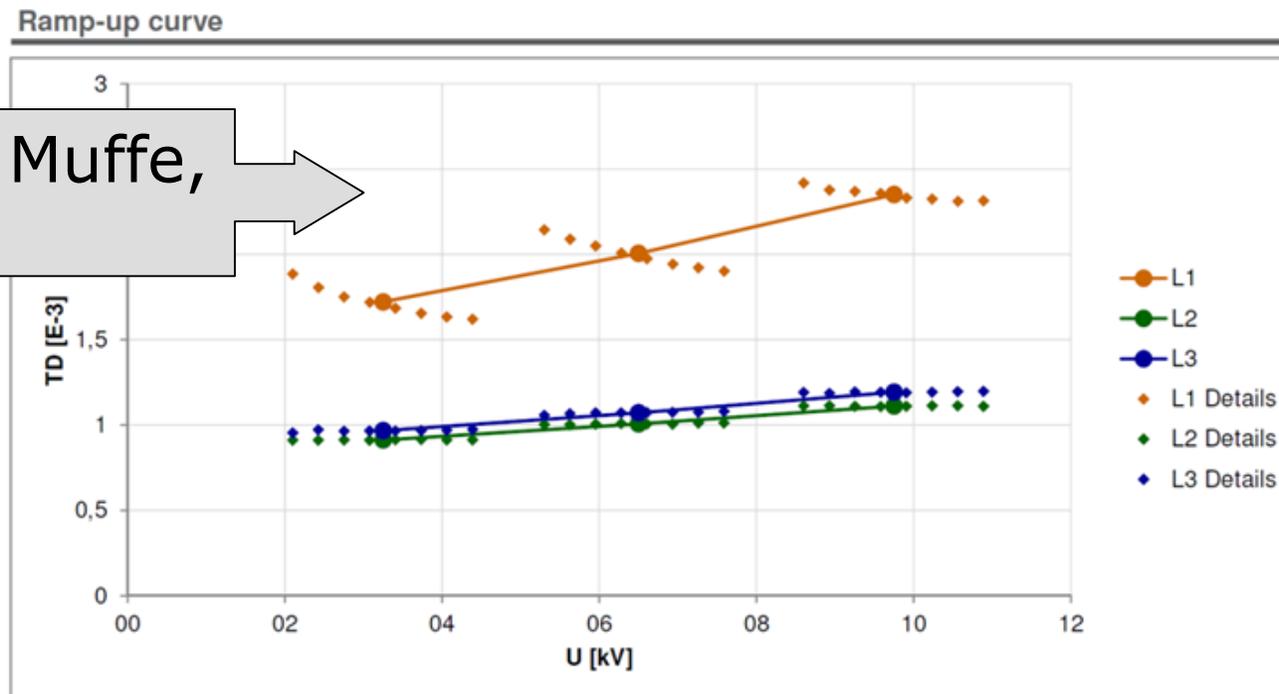
Papier-Masse-Kabel
Gleitentladungen in Muffe

Ramp-up curve



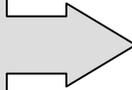
Zustandsbewertung Beispiele

Feuchtigkeit in Muffe,
Water-Trees

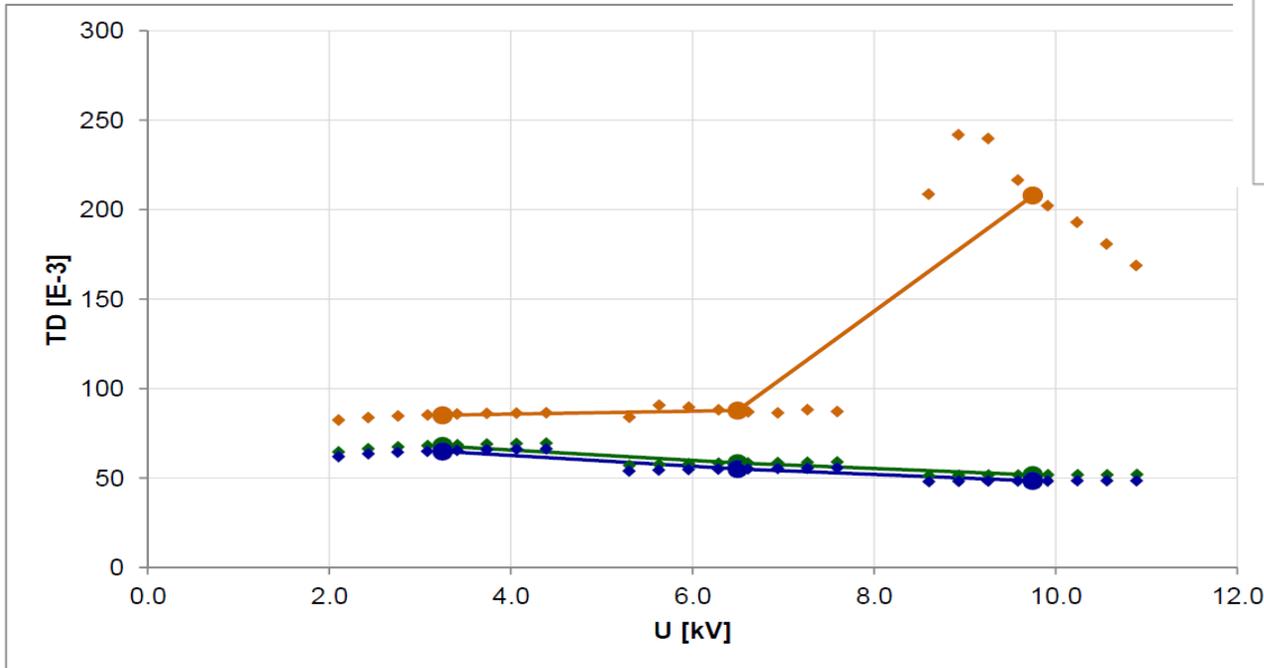


Zustandsbewertung Beispiele

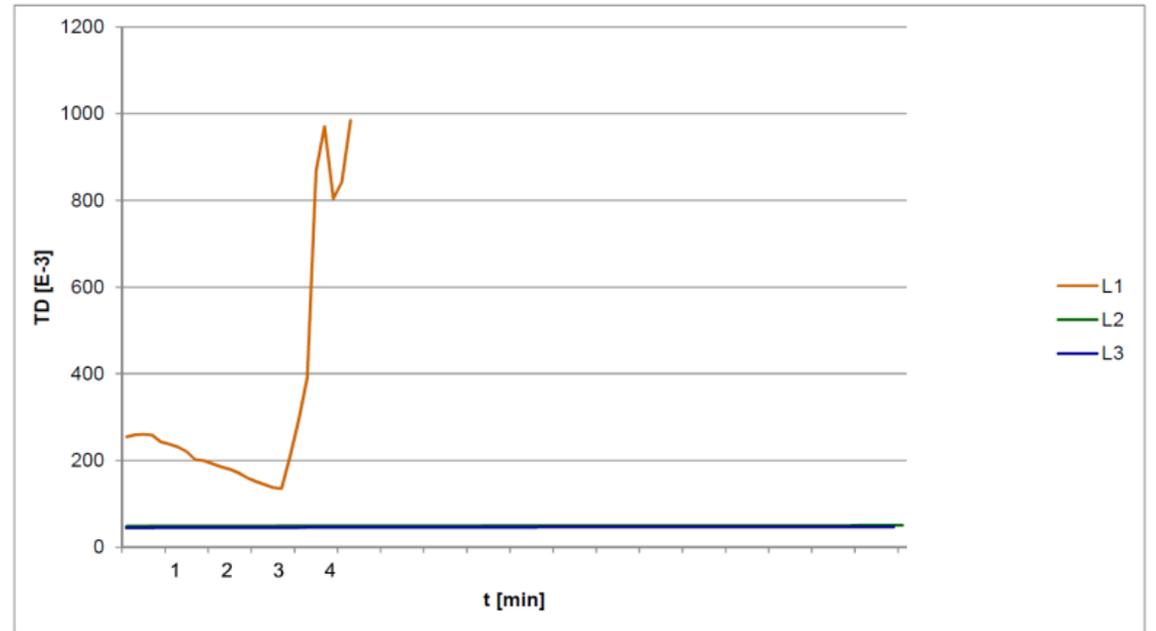
Mischkabel mit
Muffenfehler



Ramp-up curve



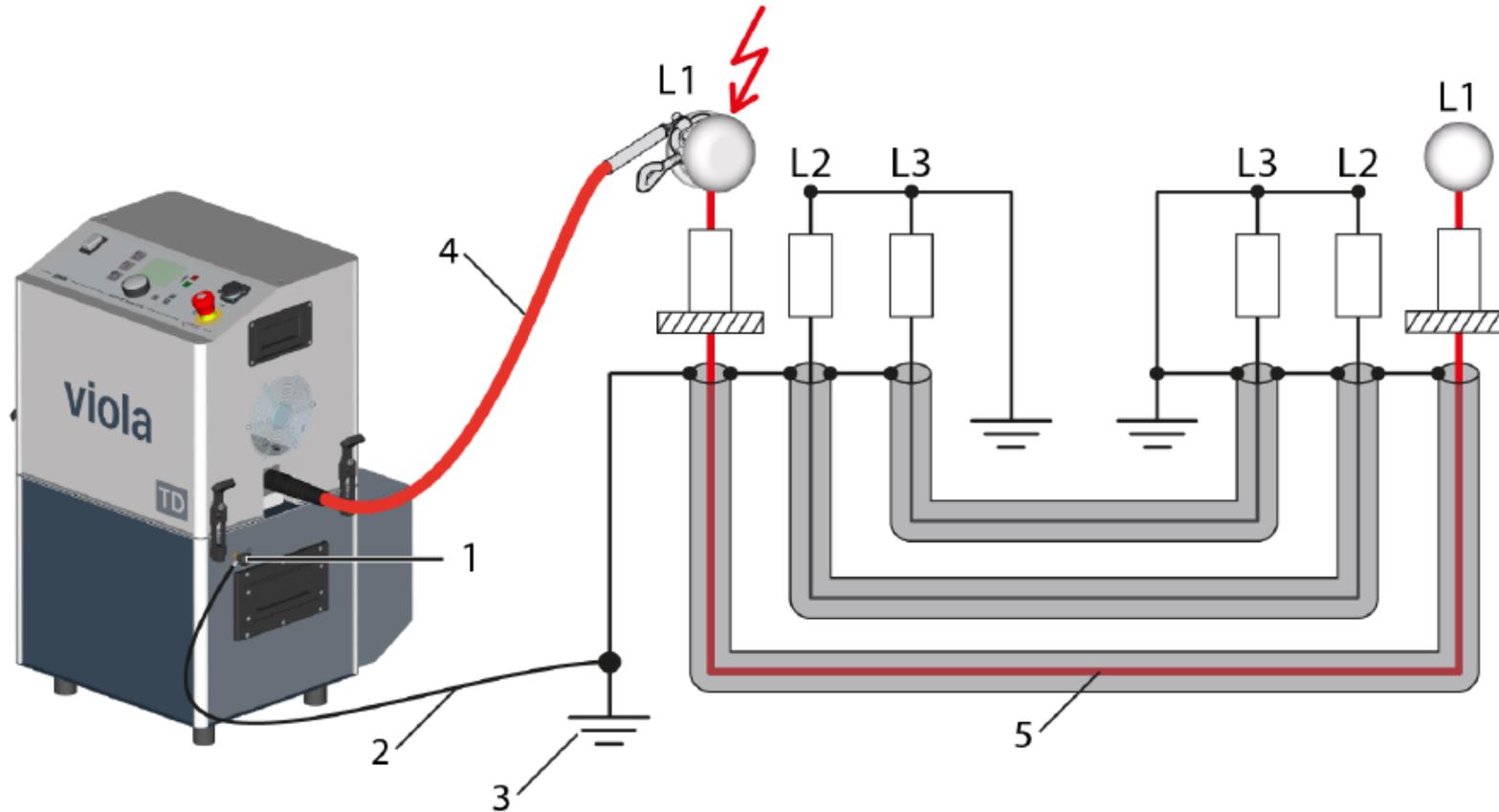
MWT curve



- L1
- L2
- L3
- ◆ L1 Details
- ◆ L2 Details
- ◆ L3 Details

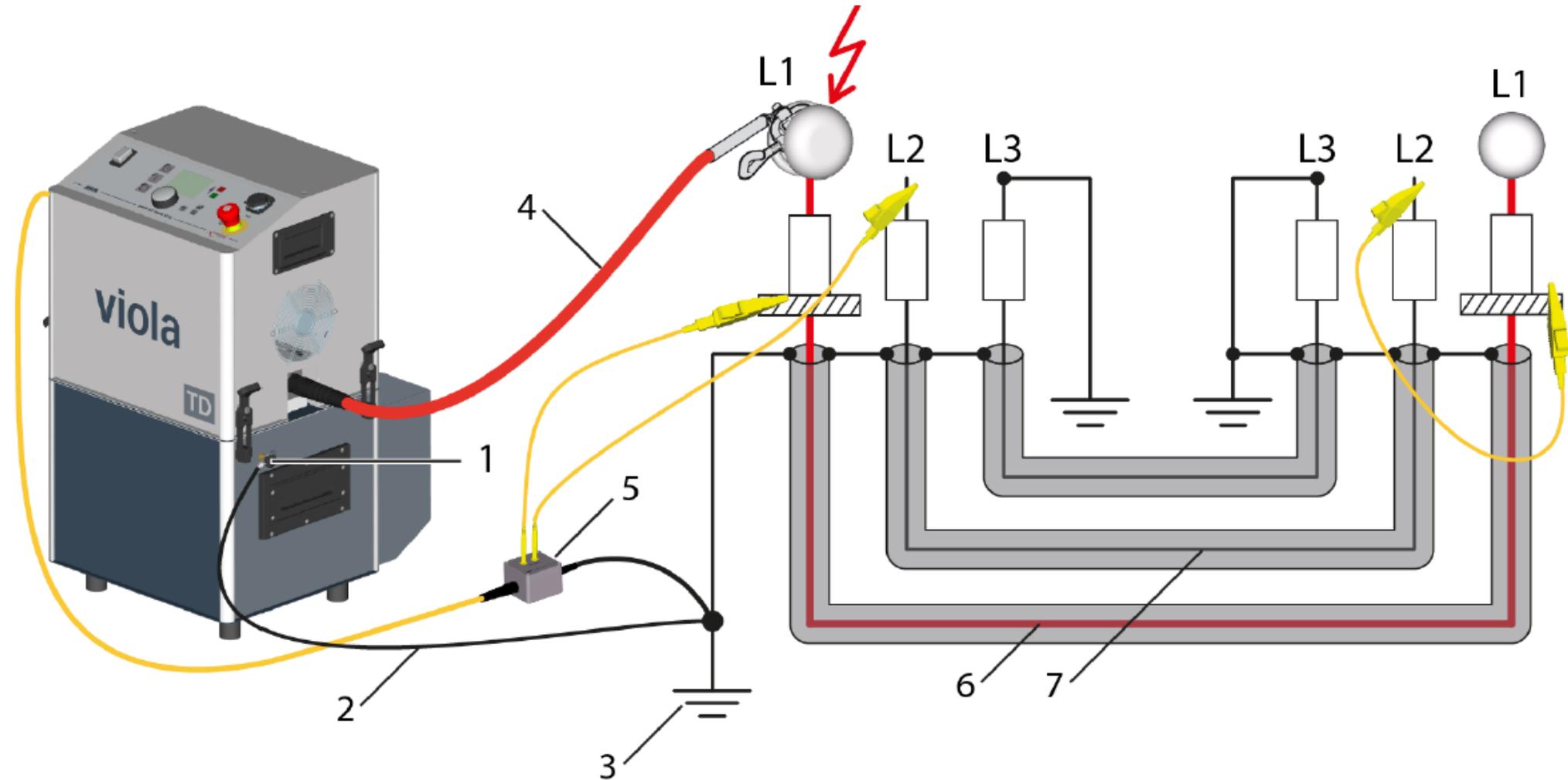
Anschluss

ohne VSE-Box, ohne Laptop



Anschluss

mit VSE-Box, ohne Laptop



Anschlussstechnik

Bis 25 kV_{rms}

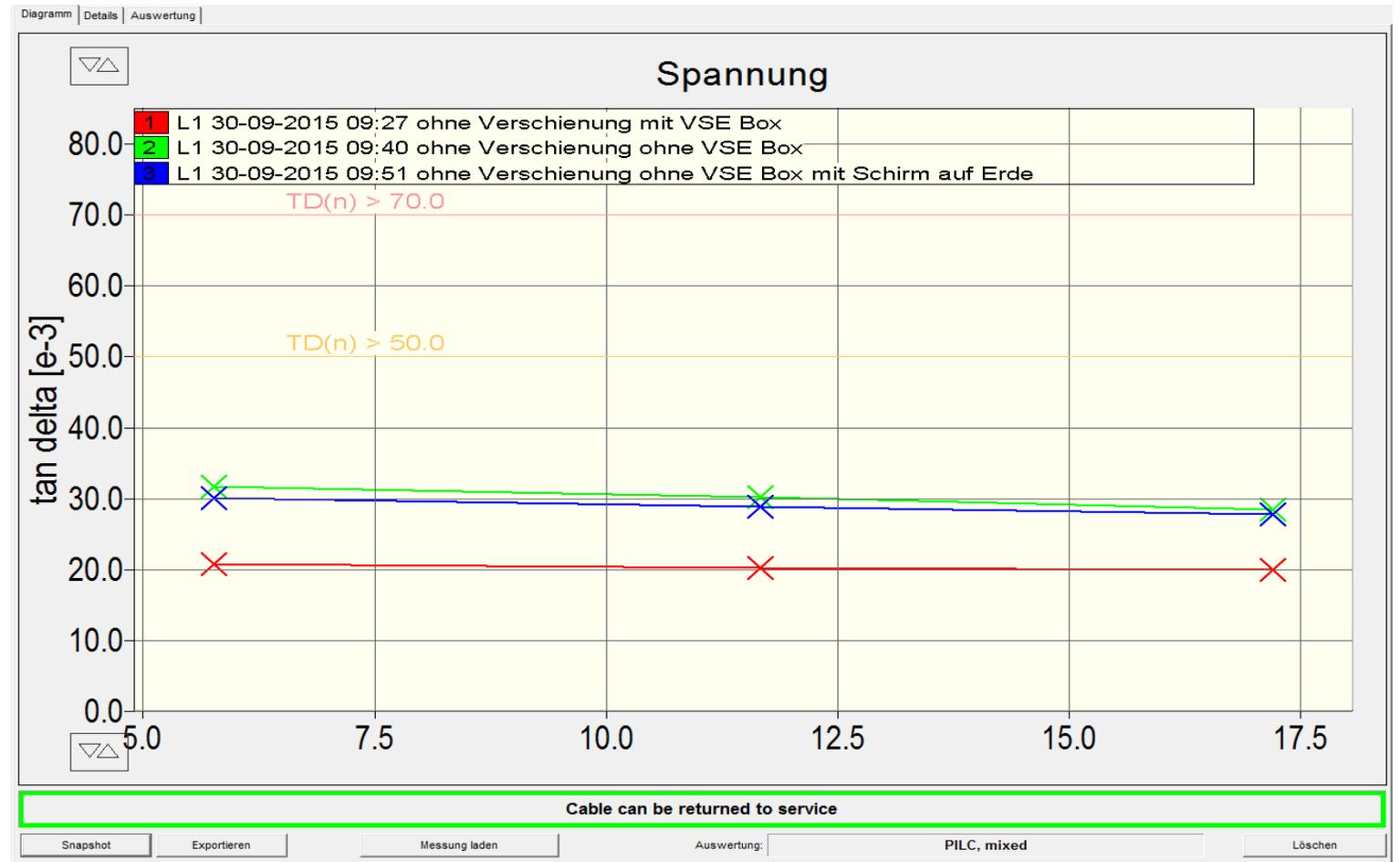


Über 25 kV_{rms}



Anschlussstechnik

Vergleichsmessung: Mit- und ohne VSE Box

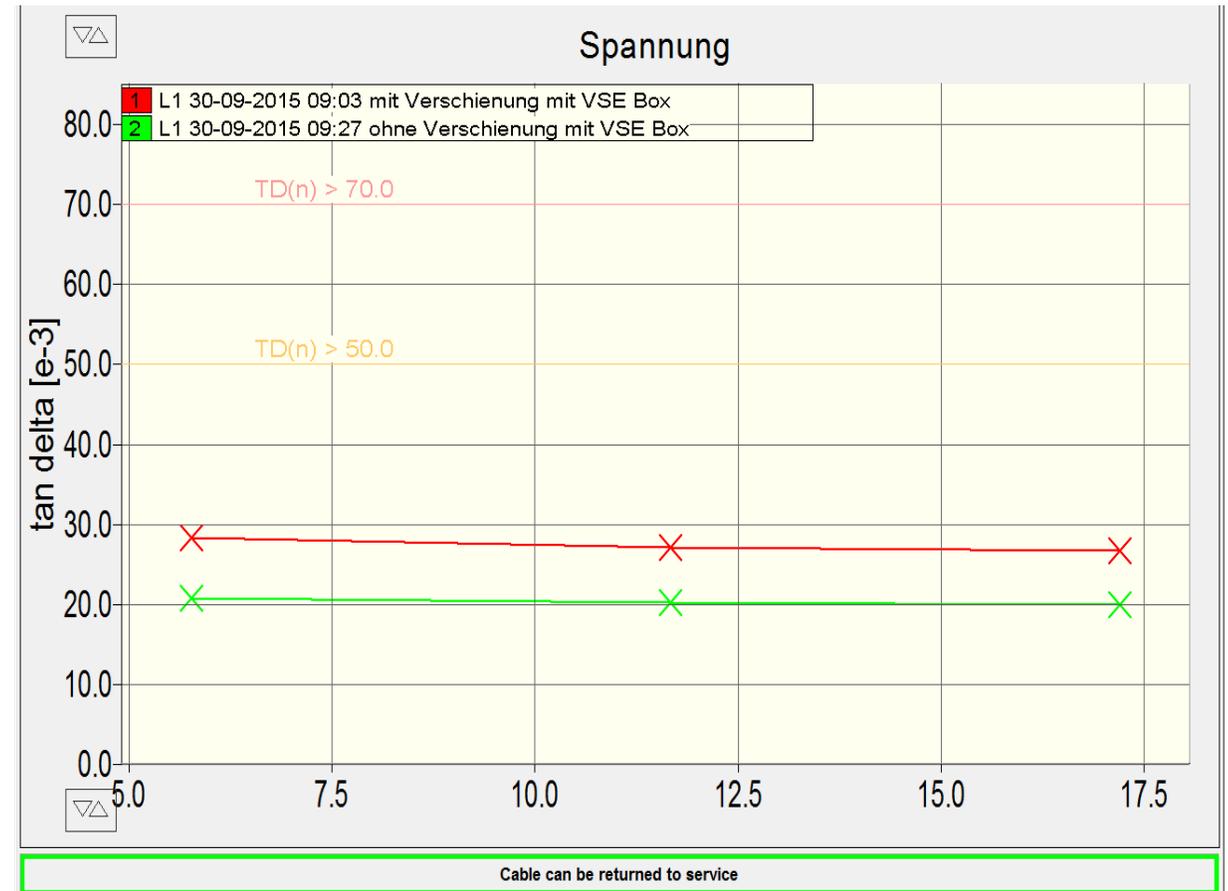


Anschlussstechnik

Vergleichsmessung: Mit- und ohne abgelegten Kabeln



Anschluss Verlustfaktormessung mit Verschiebung (links) und ohne Verschiebung (rechts)

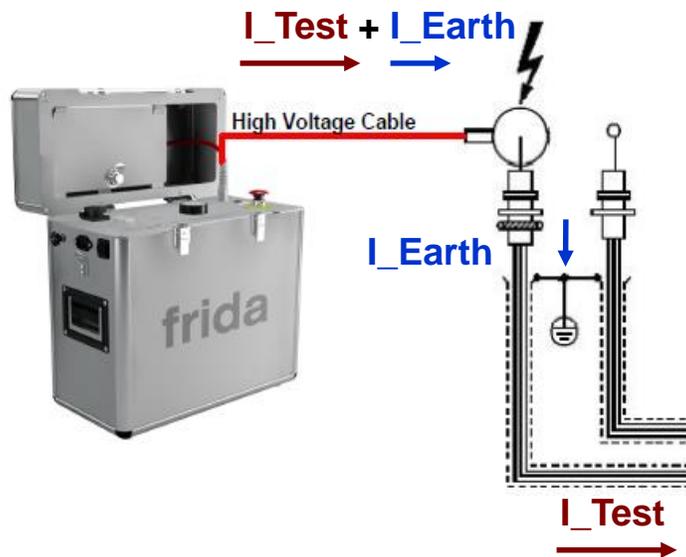


Messergebnis mit / ohne Verschiebung

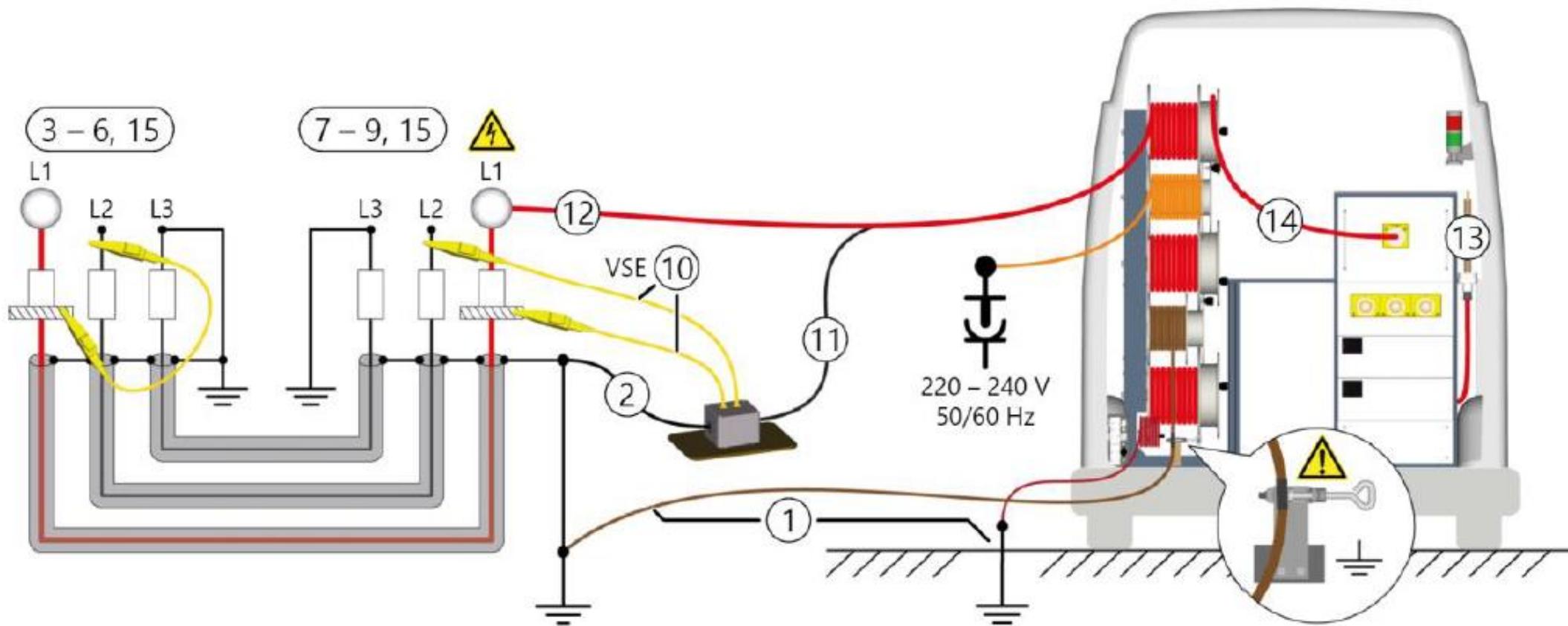
VSE

Messung ohne VSE-Box

- Kriechstrom beeinflusst TD-Messung
- Besonders kritisch:
 - VPE-Kabel
 - Verschmutzte Endverschlüsse
 - Hohe Luftfeuchtigkeit



VSE



Bedienoberfläche

Programm

Name **Programm_Jan_19_0913**

Ramp up

Spg. U₀ (Leiter-Erde) 5.0 kVeff
 Anzahl Stufen (S) [1..20] 3
 Anzahl Mess. (M) [1..20] 6
 Anzahl Leiter (L) [1..3] 1

Max. Spannung 10.0 kVeff

Weiter Abbrechen

Programm

Ramp up

Stufe	Prüfspannung
Stufe 1	1.0 x U ₀
Stufe 2	1.5 x U ₀
Stufe 3	2.0 x U ₀

Max. Spannung 10.0 kVeff

Speichern Zurück Abbrechen

Programm

Ramp up

Stufe	MTD	ΔTD	SDTD	Prüfspannung
1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0 x U ₀
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.5 x U ₀
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.0 x U ₀

Max. Spannung 10.0 kVeff

Speichern Zurück Abbrechen

Auswertung

Name **Auswertung_Jan_24**

Schwellenwert für TD

Abbruch	>	---	E-3
Hohes Risiko	>	---	E-3
Risiko	>	---	E-3

Schwellenwert für ΔTD

Abbruch	>	---	E-3
Hohes Risiko	>	---	E-3
Risiko	>	---	E-3

Speichern Zurück

VLf-MWT | XLPE

10.0 kVeff

TD= 0.772 E-3

U_{max}= 10.0 kVeff
 I= 0.000 mA
 C= 0.0 nF

MTD= 0.810 E-3
 ΔTD= 0.834 E-3
 SDTD= 0.013 E-3
 ΔTD_t= 0.020 E-3

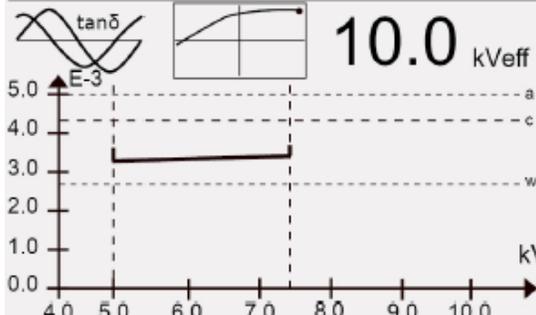
t: 10/30 min MWT L: 1/3 M: 62/180

Stopp Ansicht Prüfdauer

Programm_Jan_19_0913

tan δ

10.0 kVeff



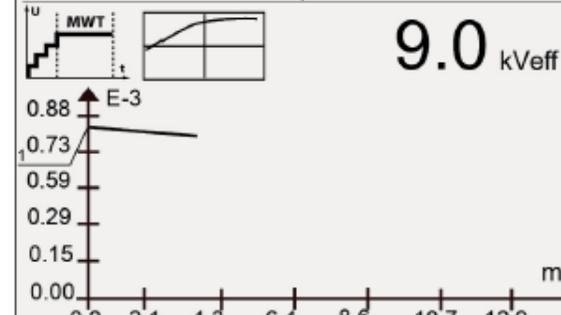
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0

4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0

Stopp Ansicht

IEEE 400.2 | XLPE

9.0 kVeff



0.88
0.73
0.59
0.29
0.15
0.00

0.0 2.1 4.3 6.4 8.6 10.7 12.9

Stopp Ansicht

IEEE 400.2 | XLPE

Ramp up

Stuf.:	MTD:	SDT
1	3.758 E-3	0.353
2	3.898 E-3	0.331
3	4.171 E-3	0.360
MWT	---	---
5 min	4.271 E-3	0.062
10 min	4.282 E-3	0.068
15 min	4.283 E-3	0.065
20 min	4.287 E-3	0.062 E-3

Stufe 1

- 3.867 E-3
- 3.901 E-3
- 4.045 E-3
- 4.115 E-3
- 3.202 E-3

Start Ansicht

frida



- Max. Prüfspannung $24 \text{ kV}_{\text{eff}} / 34 \text{ kV}_{\text{Spitze}}$
- Max. kapazitative Last $0,5 \mu\text{F}$ bei $0,1 \text{ Hz}$, $24 \text{ kV}_{\text{eff}} / 34 \text{ kV}_{\text{Spitze}}$
- VLF-truesinus®, VLF-Rechteckspannung und Gleichspannung
- lastabhängige Frequenzauswahl ($0,01 - 0,1 \text{ Hz}$)
- Verlustfaktordiagnose von Betriebsmitteln und Mittelspannungskabeln bis 20 kV
- Verlustfaktormessung mit einer Genauigkeit von 1×10^{-4}
- Erfassung von Ableitströmen durch VSE-Box
- Full MWT in Kombination mit PD-TaD 62
- Vollautomatische und individuell programmierbare Diagnoseabläufe inkl. Auswertung
- Datentransfer über USB-Schnittstelle
- Automatische Entladeeinrichtung

viola

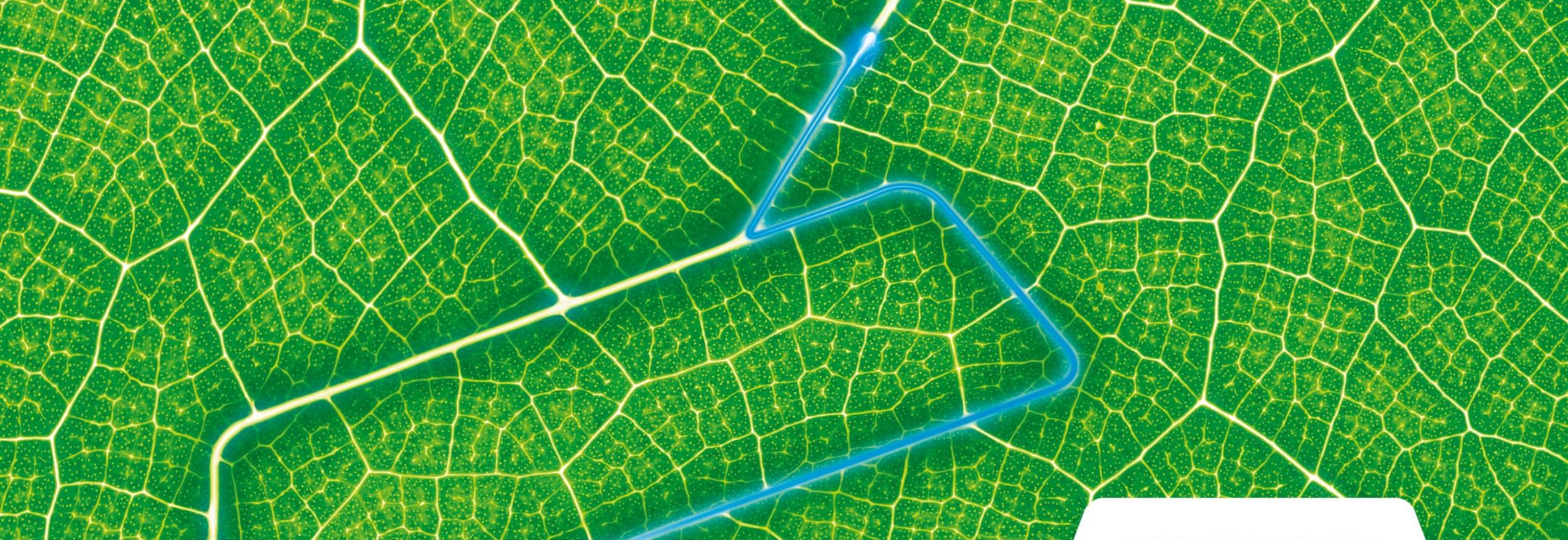


- Max. Prüfspannung $44 \text{ kV}_{\text{eff}} / 62 \text{ kV}_{\text{Spitze}}$
- Max. kapazitative Last $0,85 \mu\text{F}$ bei $0,1 \text{ Hz}$, $44 \text{ kV}_{\text{eff}} / 62 \text{ kV}_{\text{Spitze}}$
- VLF-truesinus®, VLF-Rechteckspannung und Gleichspannung
- lastabhängige Frequenzwahl ($0,01 - 0,1 \text{ Hz}$)
- Verlustfaktordiagnose von Betriebsmitteln und Mittelspannungskabeln bis 35 kV
- Verlustfaktormessung mit einer Genauigkeit von 1×10^{-4}
- Erfassung von Ableitströmen durch VSE-Box
- Full MWT in Kombination mit PD-TaD 62
- Vollautomatische und individuell programmierbare Diagnoseabläufe inkl. Auswertung
- Datentransfer über USB-Schnittstelle
- Automatische Entladeeinrichtung

PHG 80



- Max. Prüfspannung $57 \text{ kV}_{\text{eff}} / 80 \text{ kV}_{\text{Spitze}}$
- Max. kapazitative Last $1,2 \mu\text{F}$ bei $0,1 \text{ Hz}$, $57 \text{ kV}_{\text{eff}} / 80 \text{ kV}_{\text{Spitze}}$
- VLF-truesinus®, VLF-Rechteckspannung und Gleichspannung
- lastabhängige Frequenzauswahl ($0,01 - 0,1 \text{ Hz}$)
- Verlustfaktordiagnose von Betriebsmitteln und Mittelspannungskabeln bis 50 kV
- Verlustfaktormessung mit einer Genauigkeit von 1×10^{-4}
- Erfassung von Ableitströmen durch VSE-Box
- Full MWT in Kombination mit PD-TaD 62
- Vollautomatische und individuell programmierbare Diagnoseabläufe inkl. Auswertung
- Datentransfer über USB-Schnittstelle
- Automatische Entladeeinrichtung



Kabeldiagnostik

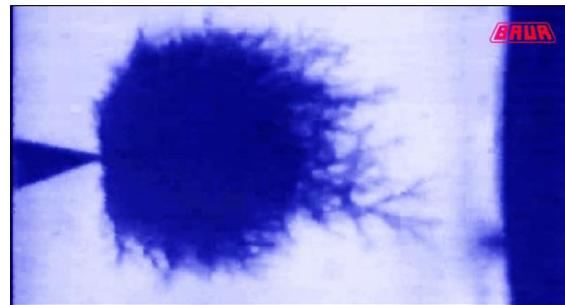
Teilentladungsmessung

Teilentladungsmessung

Begriffe und Definitionen

Teilentladungen

- lokale dielektrische Entladungen
- in einem Teilbereich eines elektrischen Isolationssystems
- unter hoher Feldbeanspruchung
- Vorstufe eines vollständigen Durchschlags



Teilentladungsmessung

Begriffe und Definitionen

Kalibrierung

- Einspeisung eines bekannten Ladungswertes am Prüfling
- Abstimmung: Kabel – Messsystem

TE-Pegel

- Energiegehalt eines TE-Einzelimpulses
- an den Klemmen des Prüflings scheinbar gemessenen Ladung

Grundstörpegel

- immer im Umfeld der Messung vorhandene Störungen
- Schaltvorgänge, Sendern etc.

TE-Einsatzspannung

- Spannung, bei der die ersten Teilentladungen festgestellt werden
- unter oder über Betriebsspannung (U_0)

TE-Aussetzspannung

- Aussetzspannung ist kleiner als die Einsatzspannung

Teilentladungsmessung

Informationsgewinn

Erkennung von

- defekten Garnituren
- Isolierungsdefekten
- mechanischen Beschädigungen

TE-Lokalisierung in

- Muffen
- Endverschlüssen
- Electrical-Trees
- Papier-Masse-Kabeln

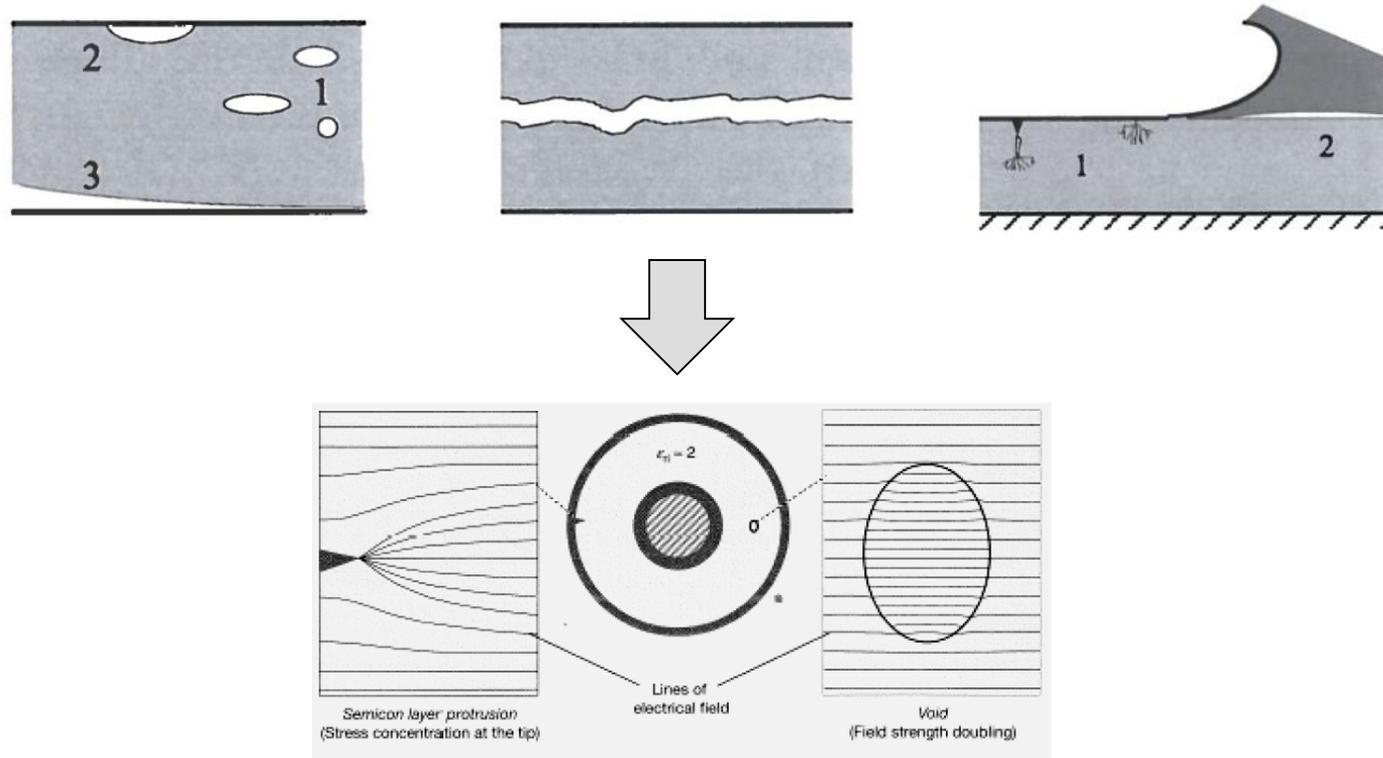
Messung von TE-Pegeln (scheinbare Ladung)

Messung von TE-Ein- und Aussetzspannung

Teilentladungsmessung

Ursachen

Defekte im Isolationsmaterial → erhöhte lokale Feldstärke



Teilentladungsmessung

Ursachen an Papier-Masse-Kabelstrecken

- Topographisch bedingte „Austrocknung“ einzelner Kabelabschnitte
- Austrocknung bedingt durch Verbindung von Papiermasse- und Kunststoffkabel (Übergangsmuffen)
- Beschädigungen des Kabels und damit verbundener Ölverlust
- Beschädigung des Bleimantel durch Korrosion und damit die Gefahr des Eindringens von Feuchtigkeit in das Kabel
- Sogenannter „Bleifraß“ infolge der Bodenbeschaffenheit oder dem Einwirken von Erdströmen (U- / S-Bahn)

Ursachen an Kunststoffkabelstrecken

- Durch Herstellung verursachte Verunreinigungen der Isolation
- Hohlräume
- Umschlagen von Watertrees in Electrical Trees

Ablauf einer Teilentladungsmessung

Übersicht (Software)

1. Eingabe der Kabeldaten
2. Eingabe von Art und Position der Garnituren
3. Kalibrierung
4. Messung
5. Auswertung
6. Bericht

Ablauf der Teilentladungsmessung

Eingabe der Kabeldaten

Kabeldaten BAUR true:sinus®

Projekt

Name des Projektes:	Zusatzinformation:
<input type="text"/>	<input type="text"/>
Von Station:	Nach Station:
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Kabeldaten

ID:	Hersteller:	Verlegejahr:
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Typ:	Nennspannung [kV]:	Länge [m]:
<input type="text"/>	<input type="text"/>	1000
Phasenbezeichnung:	Anzahl der Phasen:	Ausbreitungsgeschwind. [m/us]:
<input type="text"/>	<input type="text"/>	80.00

Name des Prüfers:

Muffen und Endverschlüsse

Kommentar

Ablauf der Teilentladungsmessung

Eingabe von Art und Position der Garnituren

Entfernung [m]: Name: + Phase: Symbol: Farbe:

Liste:

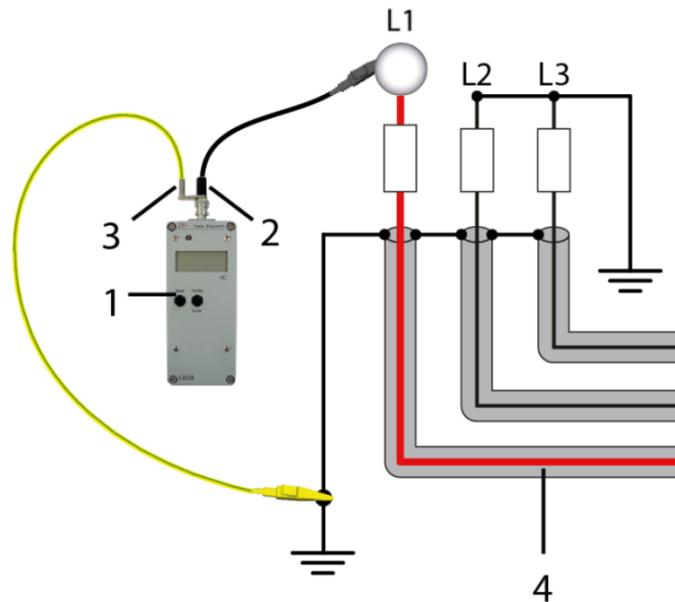
	Entfernung	Name	Symbol	Phase
	0.0	EV 1	Dreieck; Rot	L1
	0.0	EV 1	Dreieck; Rot	L2
	0.0	EV 1	Dreieck; Rot	L3
	258.0	VM1	Dreieck; Rot	L1
	258.0	VM1	Dreieck; Rot	L2
	258.0	VM1	Dreieck; Rot	L3
	621.0	VM2	Dreieck; Rot	L1
	621.0	VM2	Dreieck; Rot	L2
	621.0	VM2	Dreieck; Rot	L3
	1106.0	VM3	Dreieck; Rot	L1
	1106.0	VM3	Dreieck; Rot	L2
	1106.0	VM3	Dreieck; Rot	L3
	1255.0	VM4	Dreieck; Rot	L1
	1255.0	VM4	Dreieck; Rot	L2
	1255.0	VM4	Dreieck; Rot	L3
	1748.0	VM5	Dreieck; Rot	L1
	1748.0	VM5	Dreieck; Rot	L2
	1748.0	VM5	Dreieck; Rot	L3
	2243.0	VM6	Dreieck; Rot	L1
	2243.0	VM6	Dreieck; Rot	L2
	2243.0	VM6	Dreieck; Rot	L3

Phase wählen:

Abbrechen Hinzufügen Löschen OK

Kalibrierung

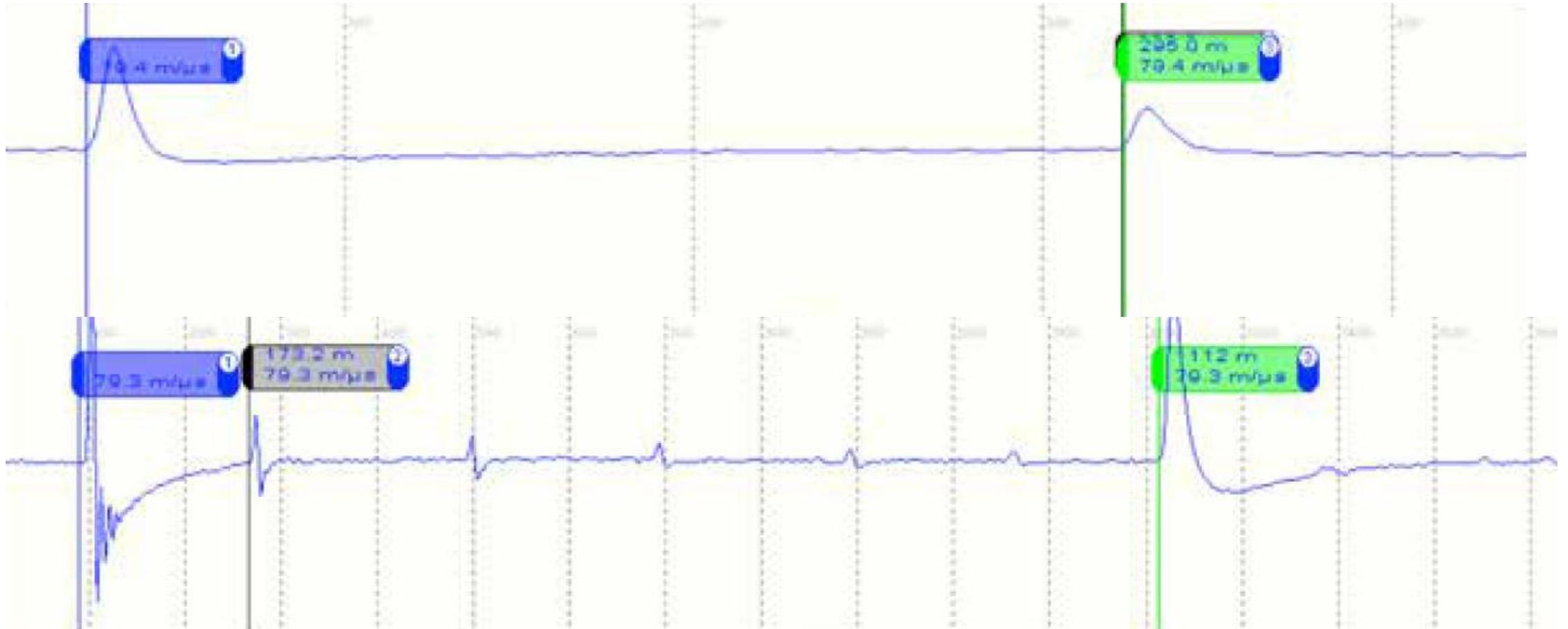
Anschluss



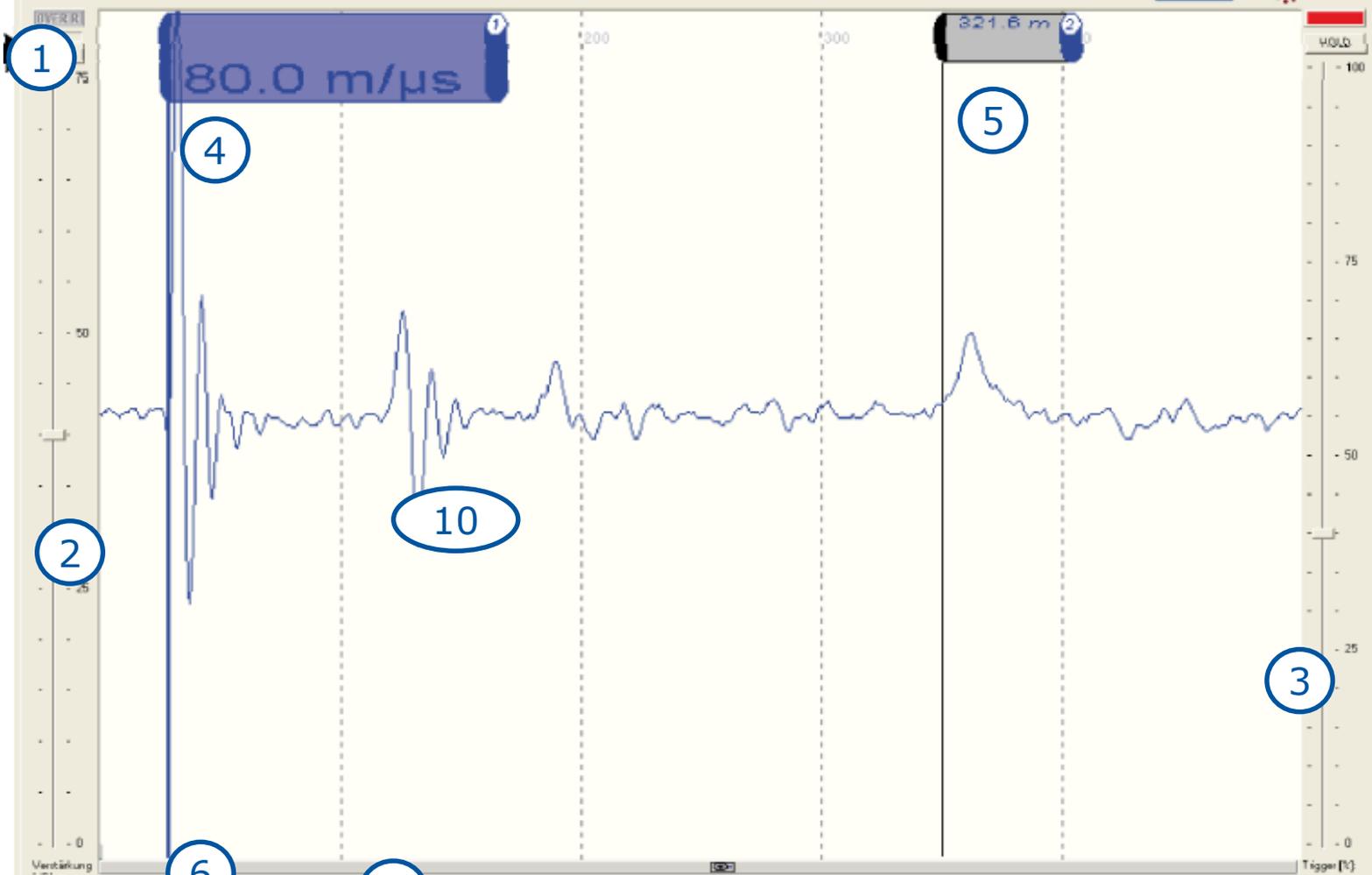
1. Kalibrator
2. Signalausgang
3. Schutzerdungsanschluss
4. Prüfobjekt

Identifikation von Muffen

Mit Hilfe des Kalibrators



Kalibrierung - 3.3.0.355 - L1



PHO

Spannung

Well

0.0

Generator starten

[wert]:

3.0

Dienmodus: Aus

Anlieggeschw: []

Frequenz: 0.10 Hz

Spannungsform: Sinus

Max. Spannung: 8.0 kV

Last C: 3.0 nF

Last R: 218.90 MΩ

Generatorstatus: **Generator gestoppt.**

Einstellungen

FD: Verbunden

Beenden

Verstärkung [mV]

Anzeigebereich [mV]: 200

Kabellänge [m]: 200

Kalb. Ladung [nC]: 1780 0

Stops bei: 1 sec

Auton. Anzeigebereich

Länge

V/2

Kalibrieren

Anfang

Nächster Schritt >>

Arbeitsschritte

Kabeldaten

Kalibrierung

Messung

Auswertung

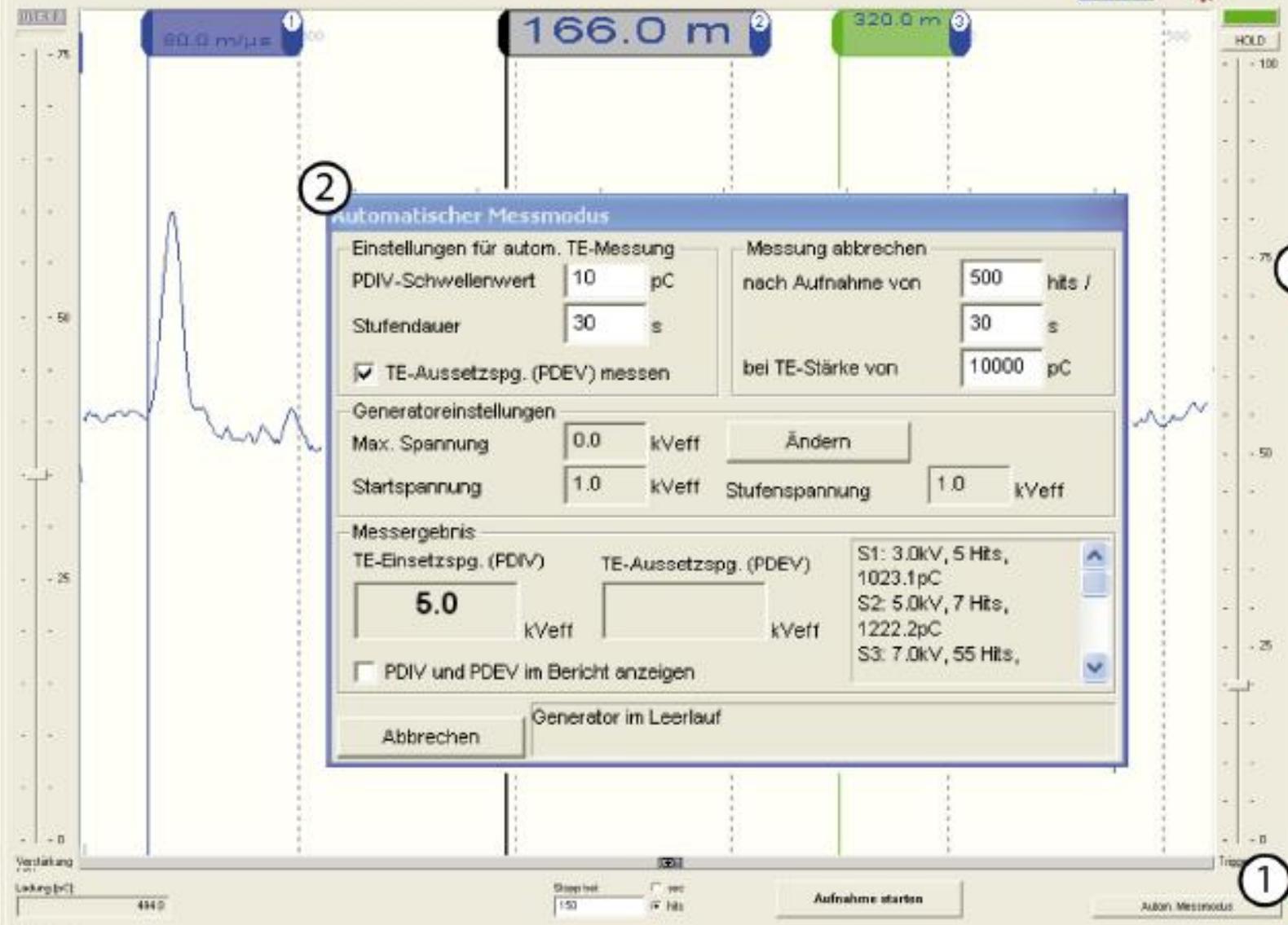
Bericht

Beenden

Ablauf der Teilentladungsmessung

Messung

1. Kalibrator ausschalten und trennen
2. Automatische oder manuelle Messmethode wählen
3. Parameter der Messung einstellen
4. Generator einstellen (max. Spannung, Form, Frequenz)
5. Aufnahme starten



Automatischer Messmodus

Einstellungen für autom. TE-Messung

PDIV-Schwellenwert: 10 pC

Stufendauer: 30 s

TE-Aussetzspg. (FDEV) messen

Messung abbrechen nach Aufnahme von: 500 hits / 30 s bei TE-Stärke von: 10000 pC

Generatoreinstellungen

Max. Spannung: 0.0 kVeff

Startspannung: 1.0 kVeff Stufenspannung: 1.0 kVeff

Messergebnis

TE-Einsatzspg. (FDIV): 5.0 kVeff

TE-Aussetzspg. (PDEV): [] kVeff

PDIV und PDEV im Bericht anzeigen

S1: 3.0kV, 5 Hits, 1023.1pC
 S2: 5.0kV, 7 Hits, 1222.2pC
 S3: 7.0kV, 55 Hits

Spannung

kVeff: 3.0

Generator Stopp

kVeff: 3.0

Ordnungsmodus: Aus

Anlagegeschw.: []

Frequenz: 0.10 Hz

Spannungskorn: Sinus

Max. Spannung: 9.0 kV

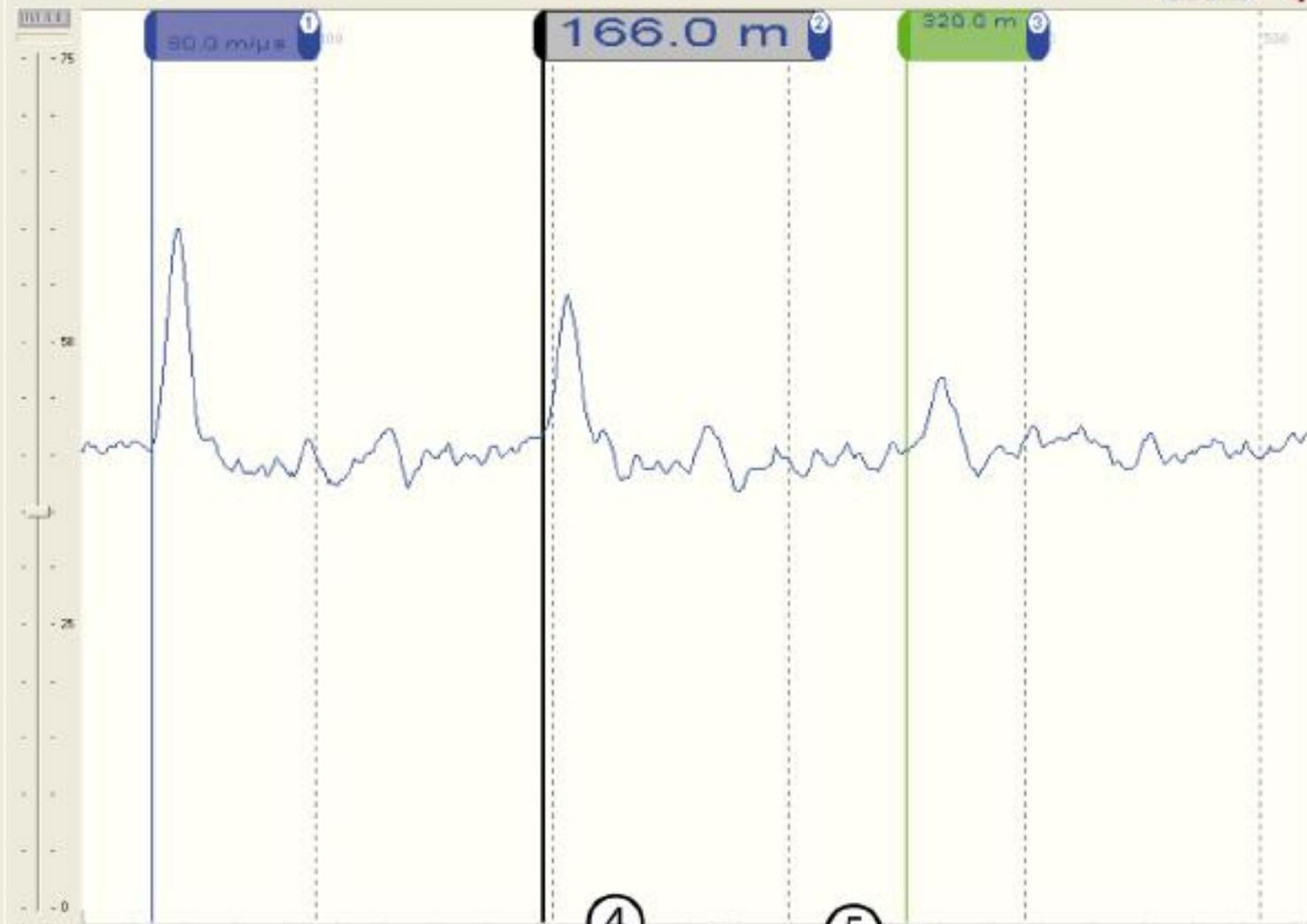
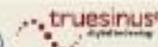
Last C: 30 µF

Last E: 21.88 MΩ

Generatorstatus: **Generator aktiv**

00h 01m 06s

Manuelle Messung - 3.3.0.355 - L1



Spannung

kVwert **3.0**

2 Generator Stopp

kVwert **3.0**

3 [down arrow] [up arrow]

Brinniveau: Aus
 Anlegegeschw.:
 Frequenz: 0.10 Hz
 Spannungskorn: Sinus
 Max. Spannung: 50.0 V
 Last C: 30.0 µF
 Last R: 20.0 MΩ

Generatorstatus: **Generator aktiv!**

1 00h 01m 06s

Arbeitsschritte

Kabeldaten Kalibrierung **Messung** Auswertung Bericht

Beenden

Ablauf der Teilentladungsmessung

Auswertung der Teilentladungsmessung

Auswertung starten

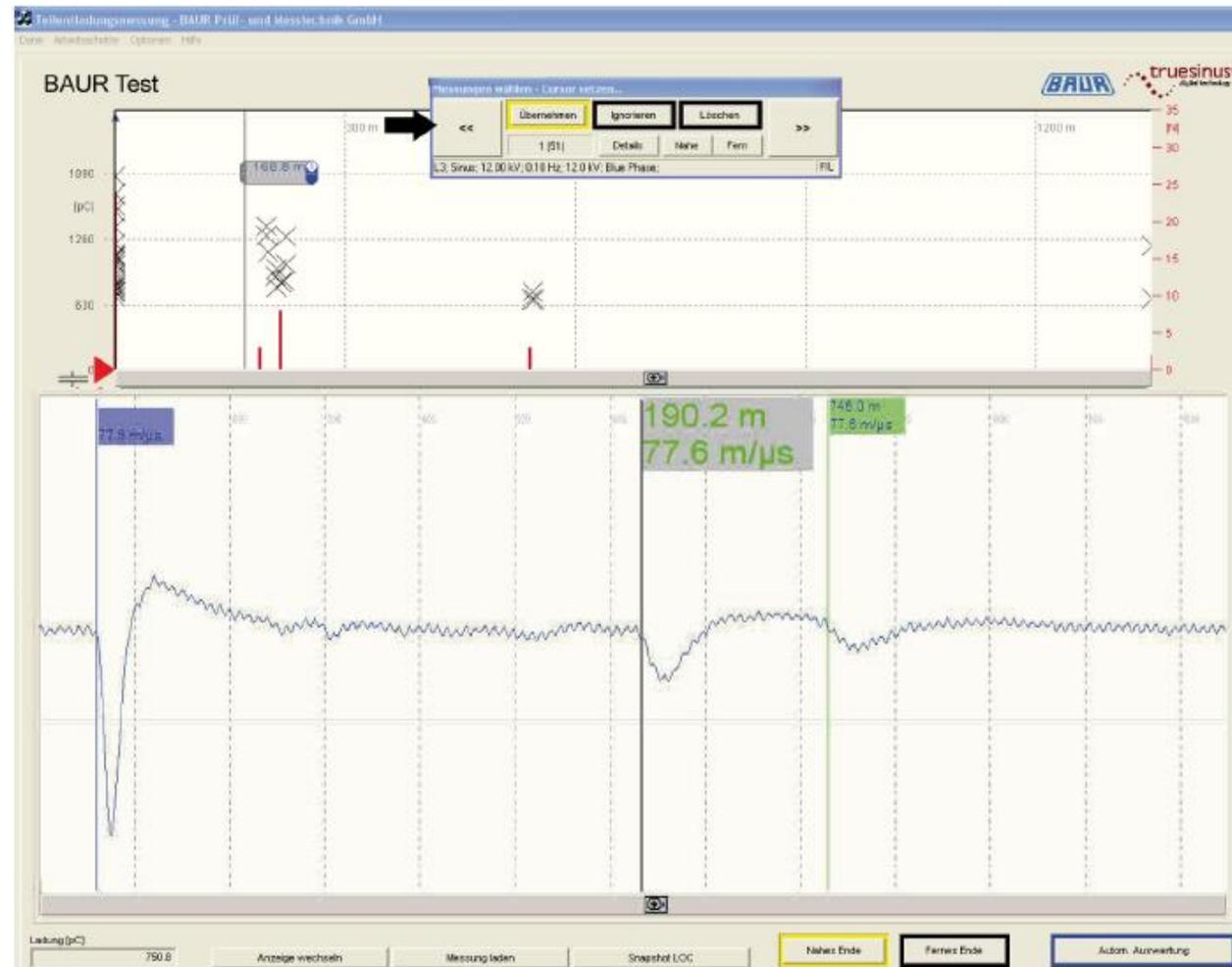
3 Anzeigemodi:

- PD-Diagramm
- LOC-Graph
- Kombiniert

Phasenaufgelöste Darstellung

Auswertung der Teilentladungsmessung

Kombinierte Ansicht



Auswertung der Teilentladungsmessung

Steuerungsleiste

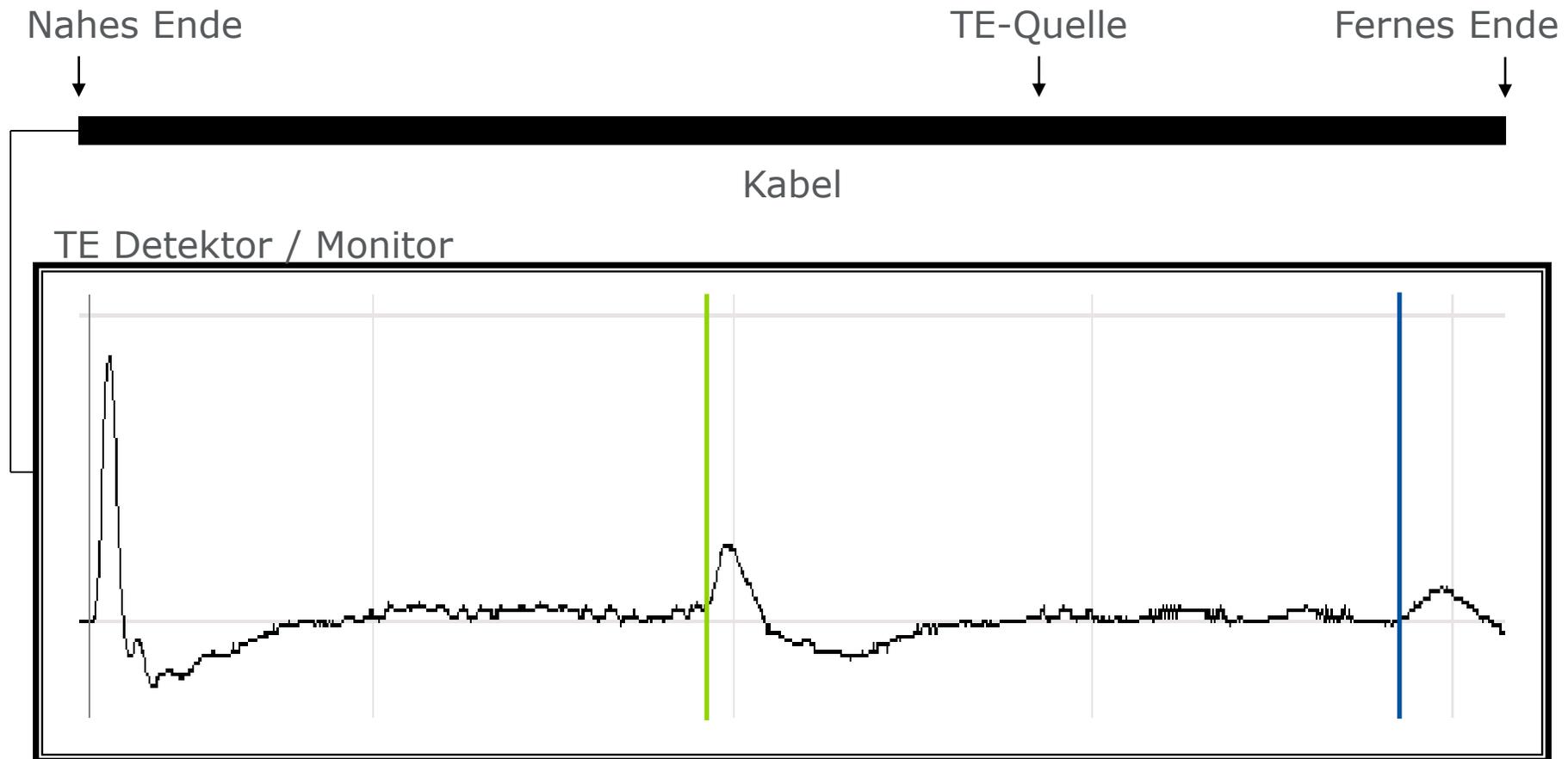
Messungen wählen - Cursor setzen...

<<	Übernehmen	Ignorieren	Löschen	>>
	1 (11)	Details	Nahe	Fern

L2; Sinus; 30.00 kV; 0.10 Hz; 30.0 kV; 500 pc; G:45 db; T:10;

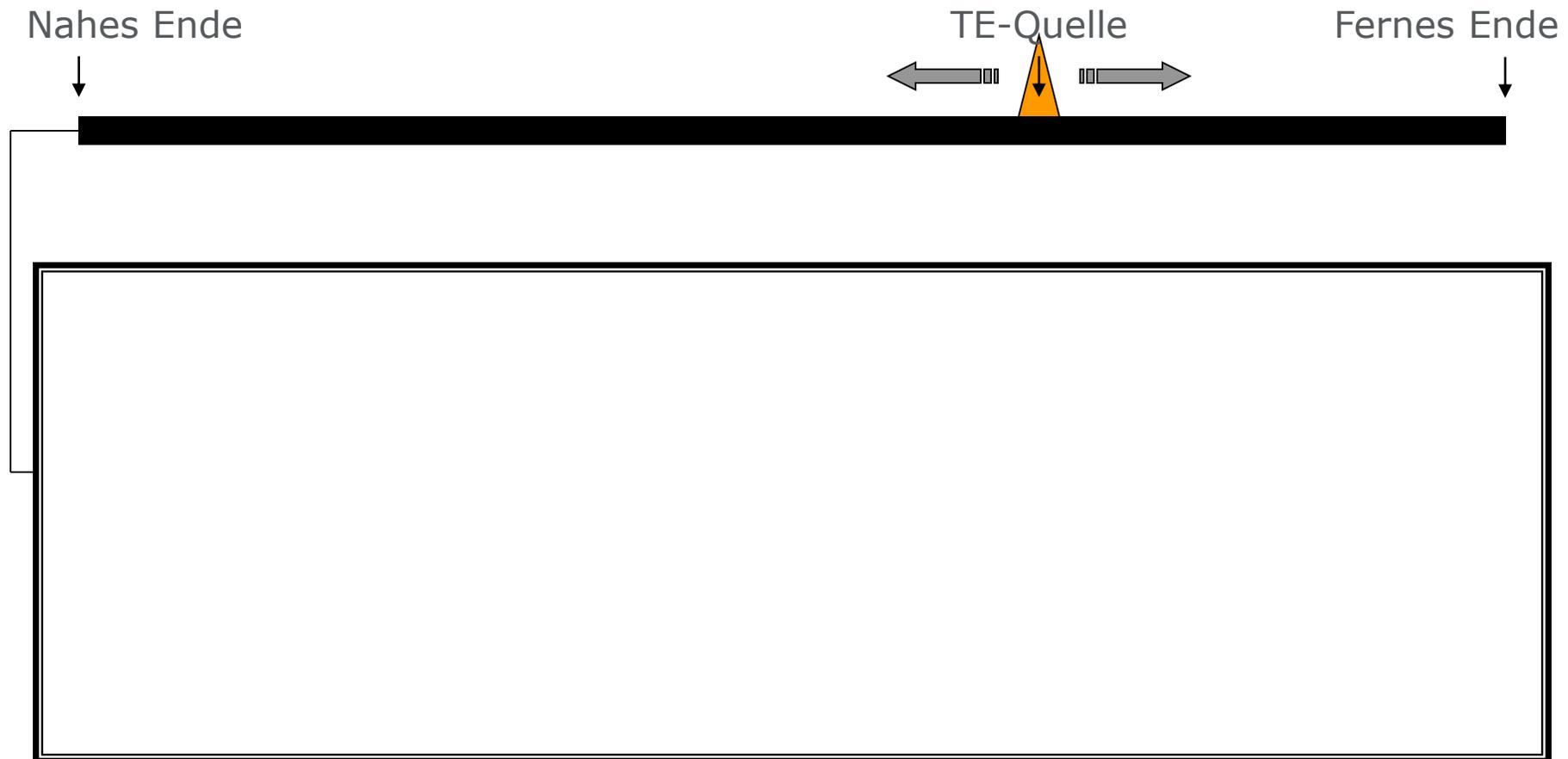
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

Messaufbau



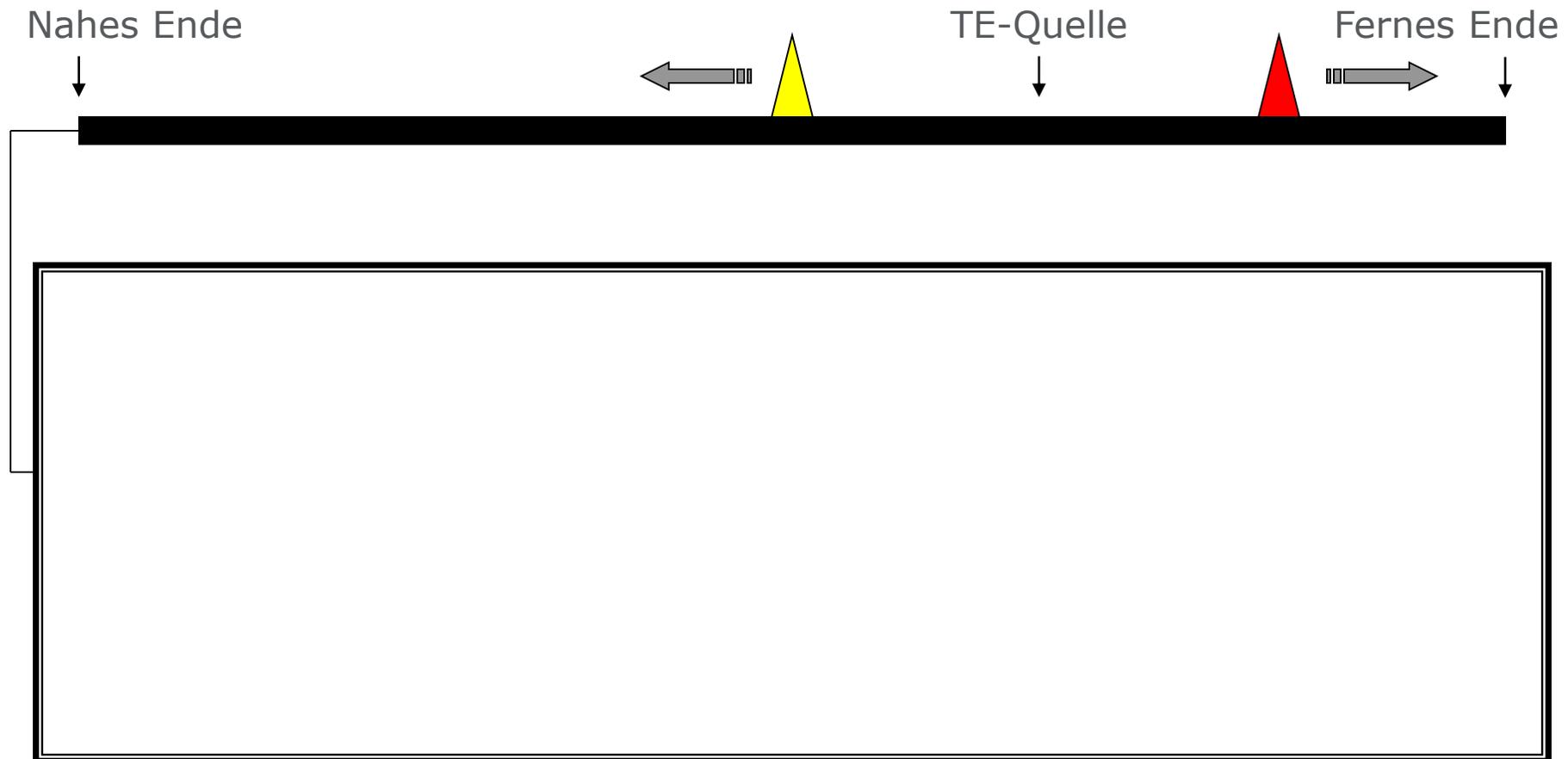
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

1. Entstehung



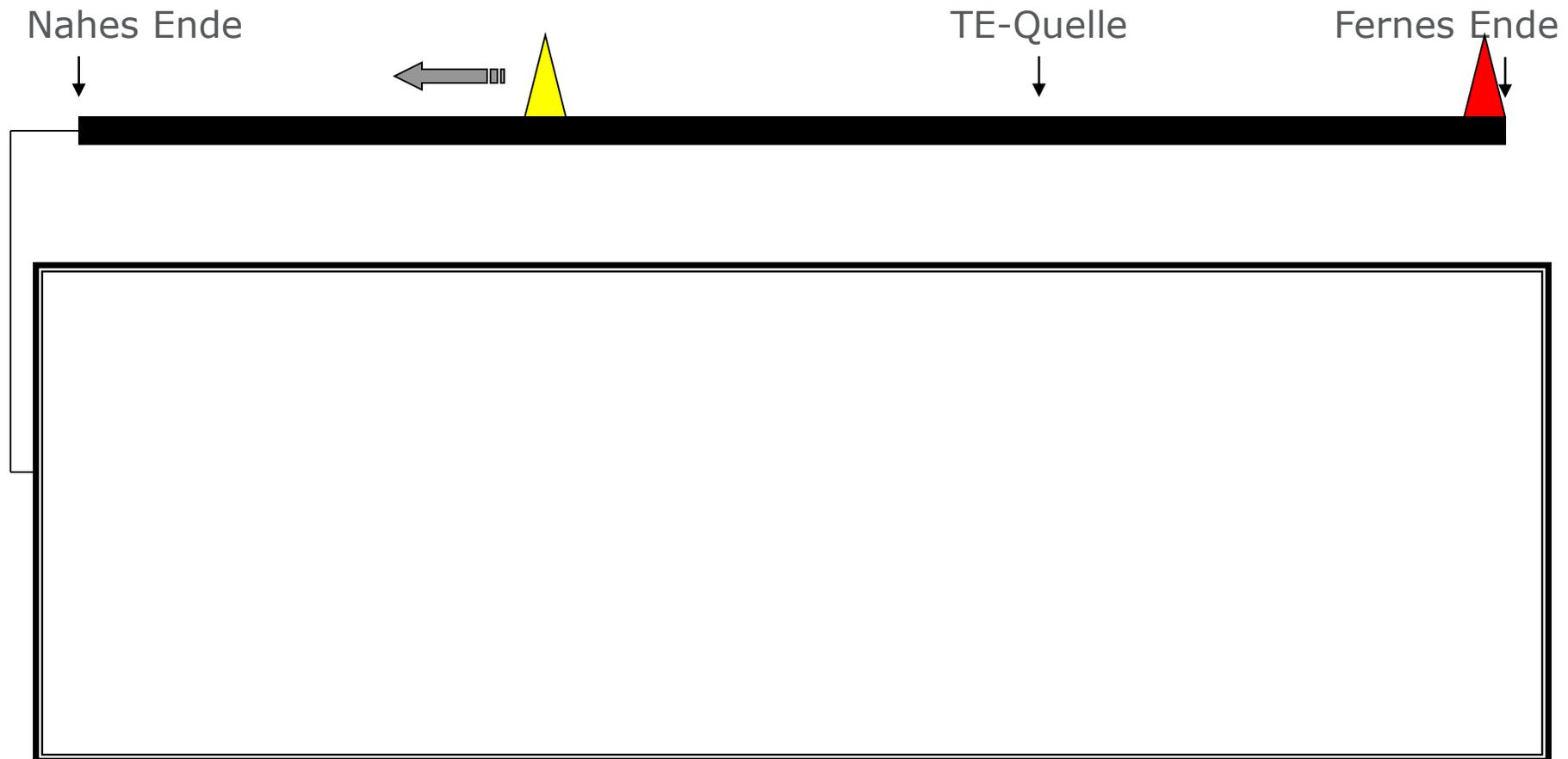
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

2. Ausbreitung



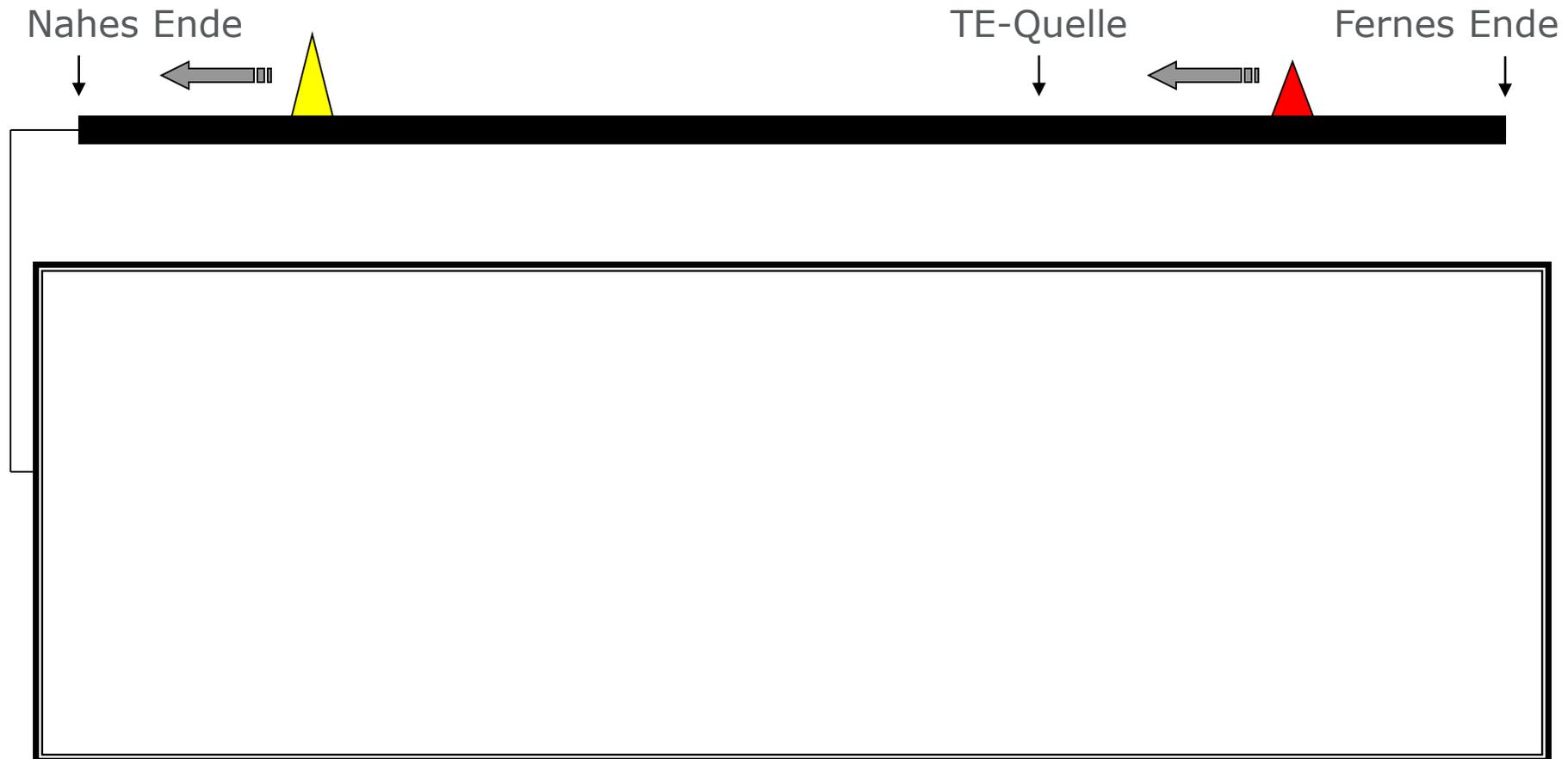
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

3. Reflexion am fernen Ende



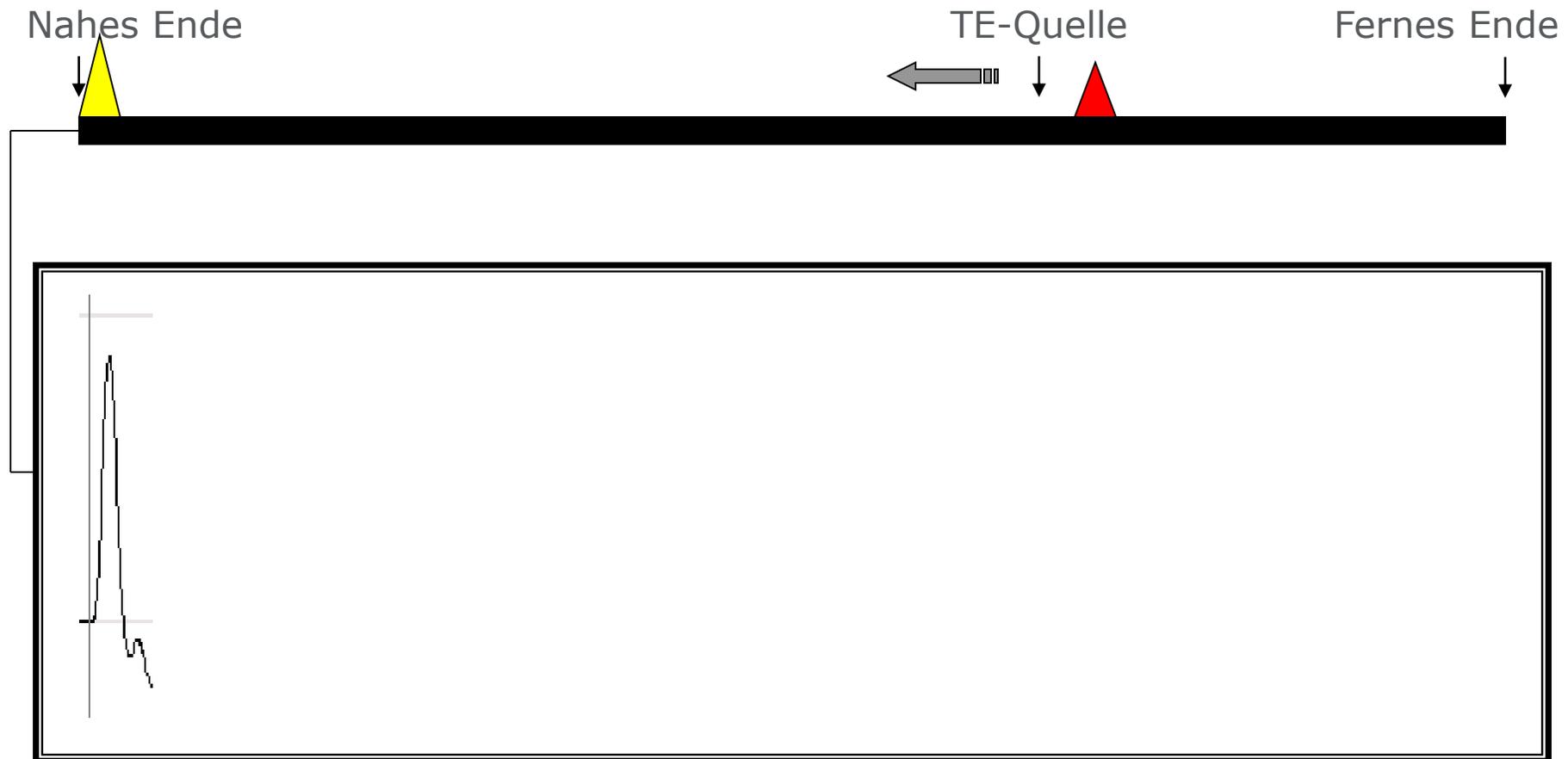
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

4. Ausbreitung



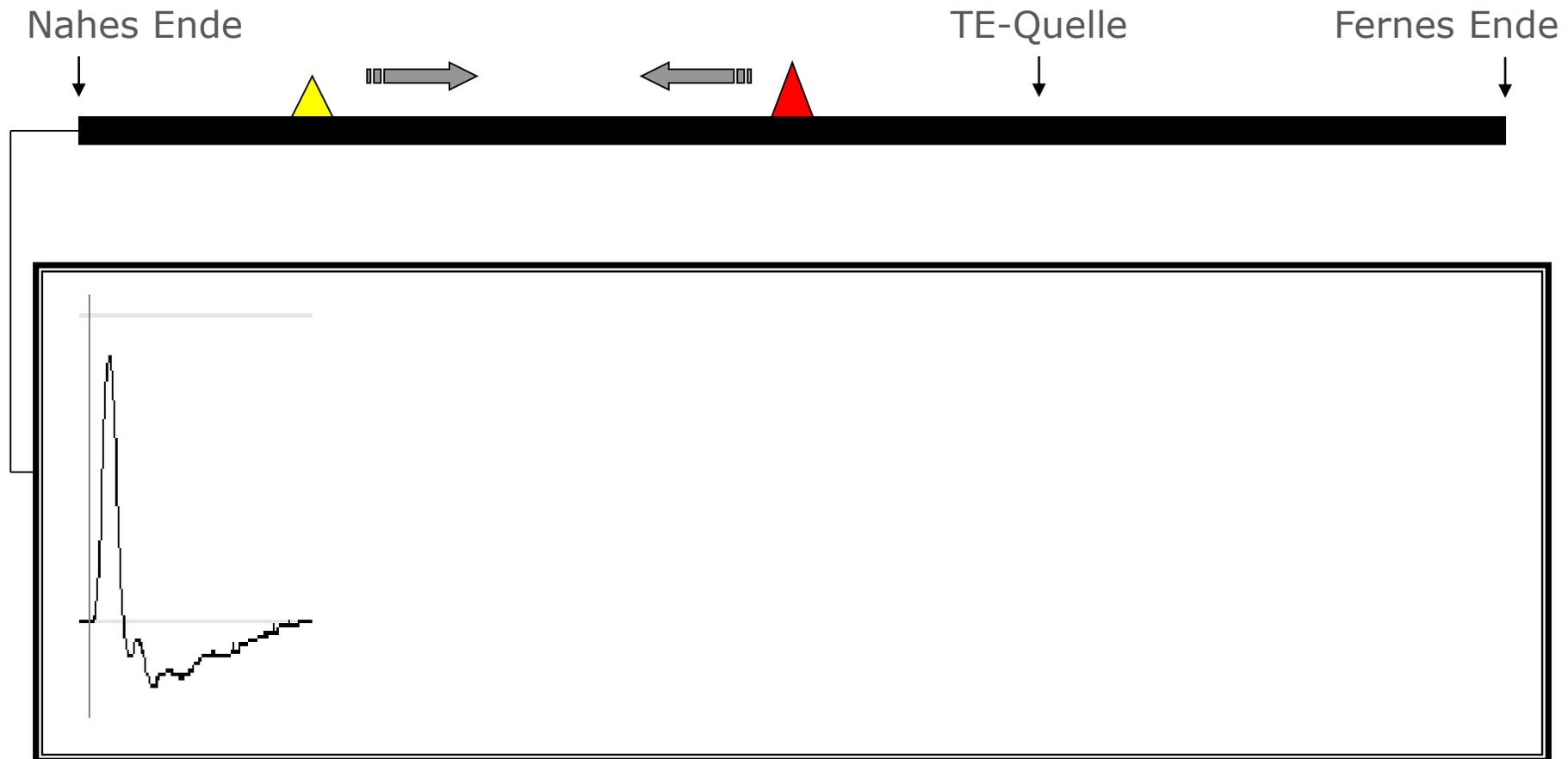
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

5. Triggerung des Detektors und Reflektion am nahen Ende



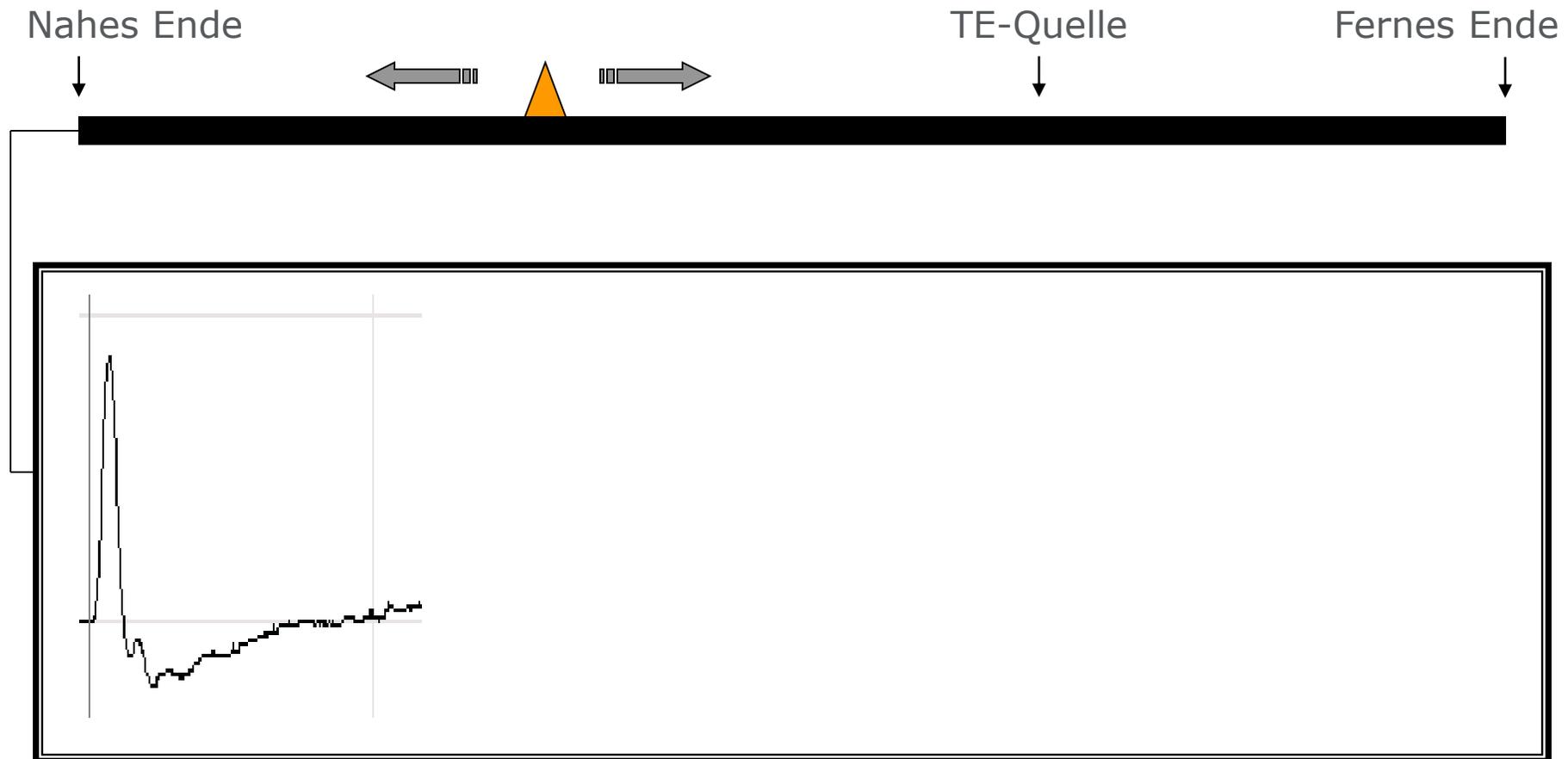
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

6. Ausbreitung



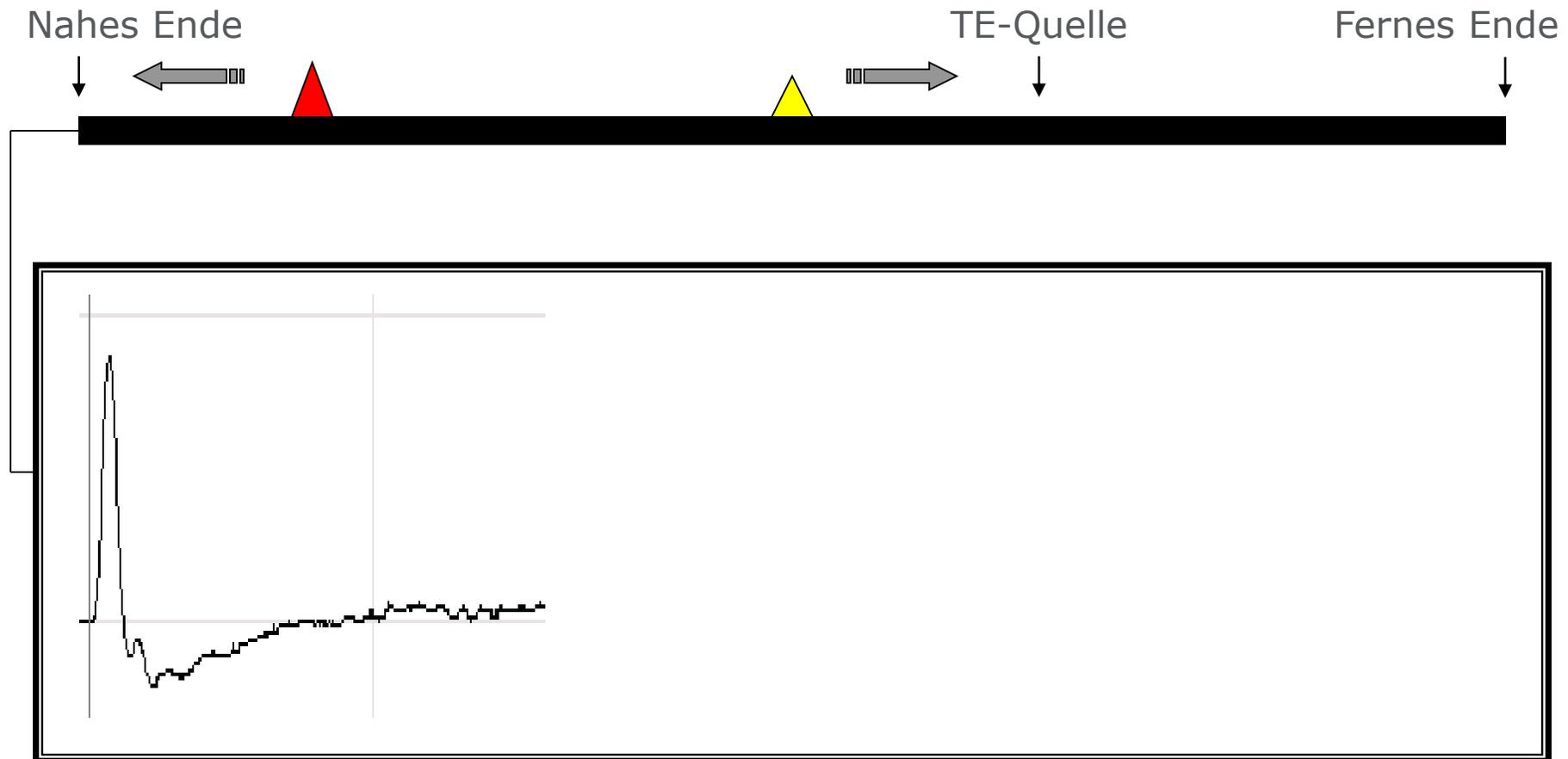
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

7. Ausbreitung



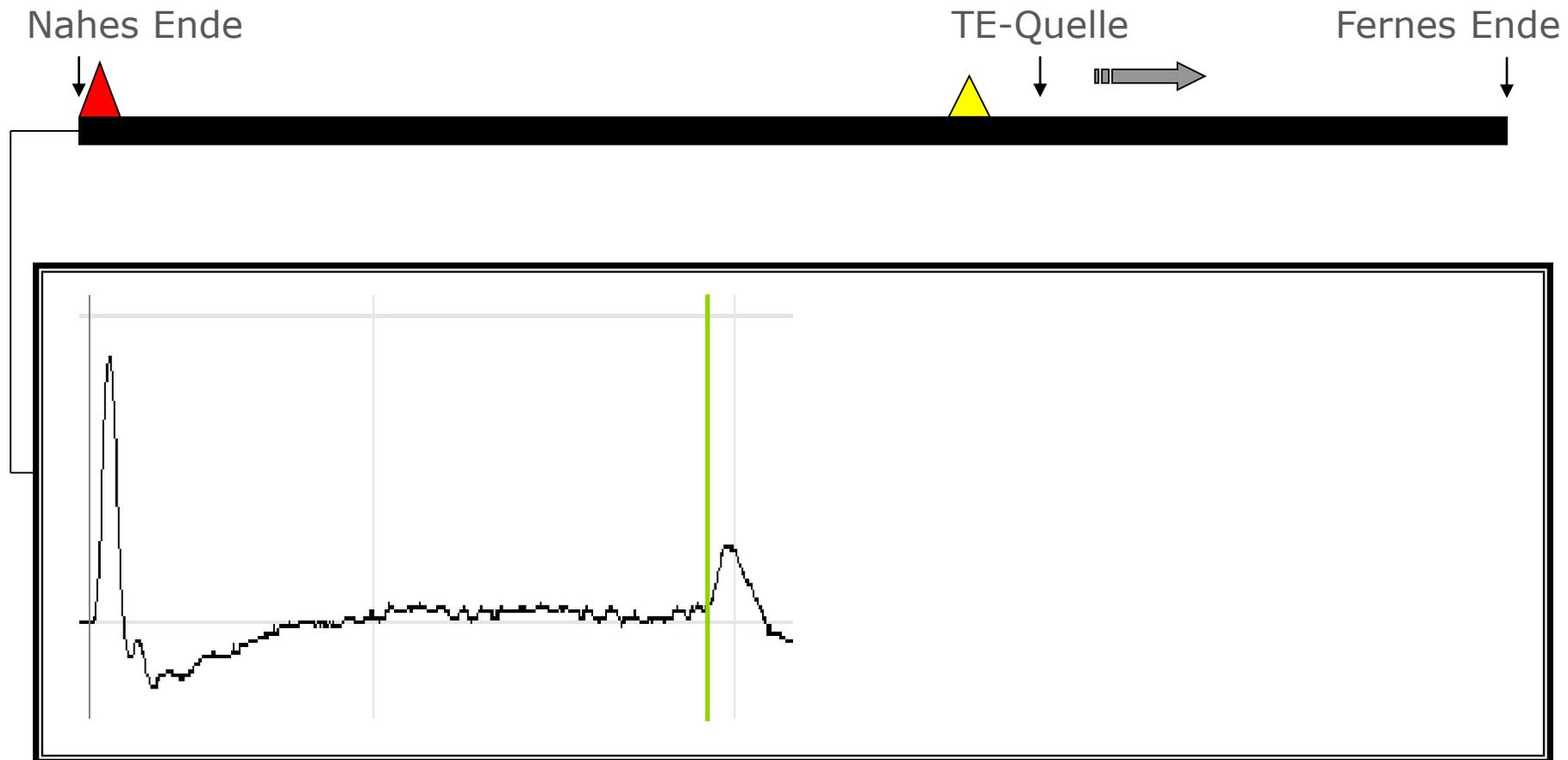
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

8. Ausbreitung



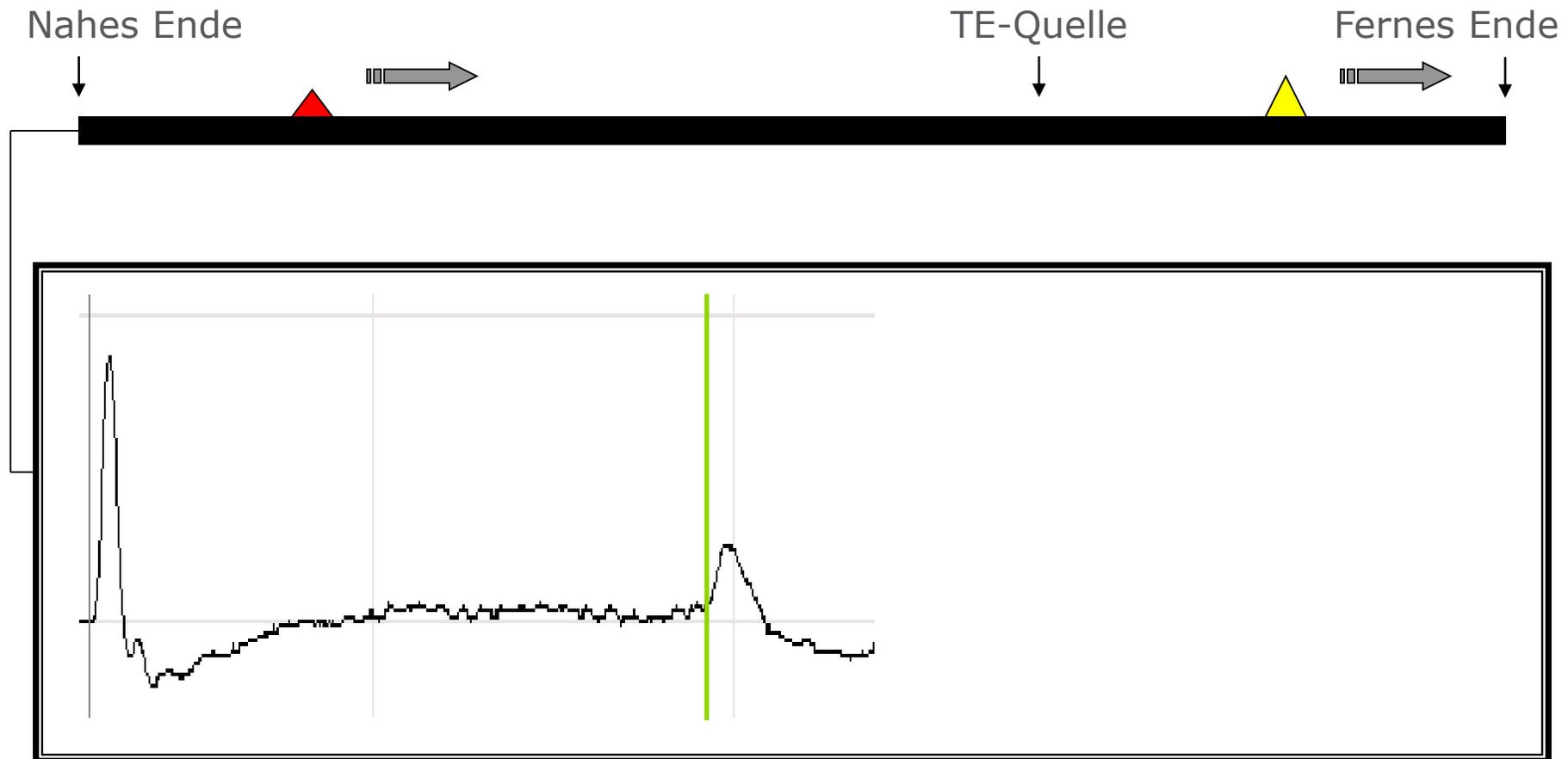
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

9. Reflexion am nahen Ende



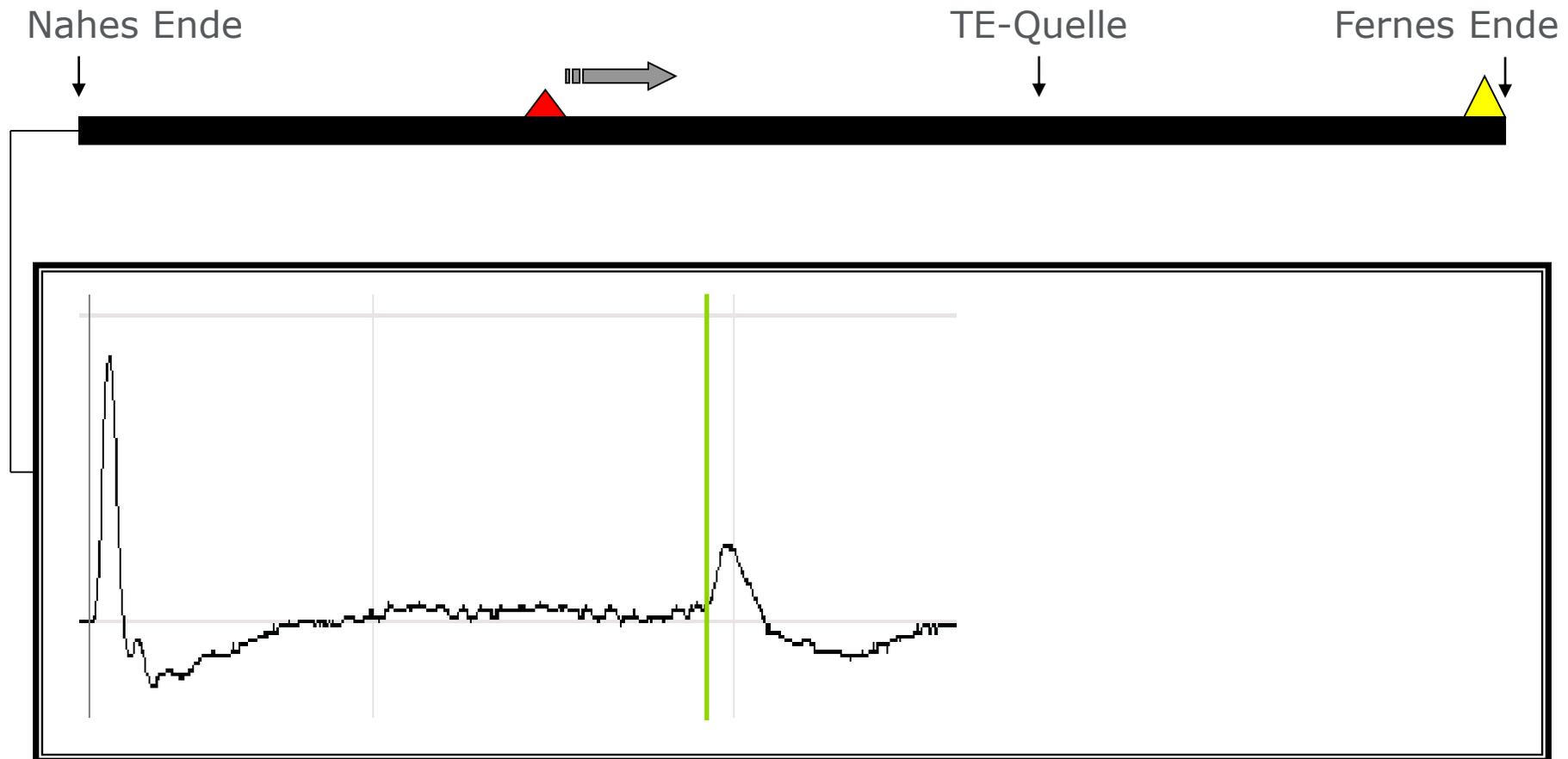
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

10. Ausbreitung



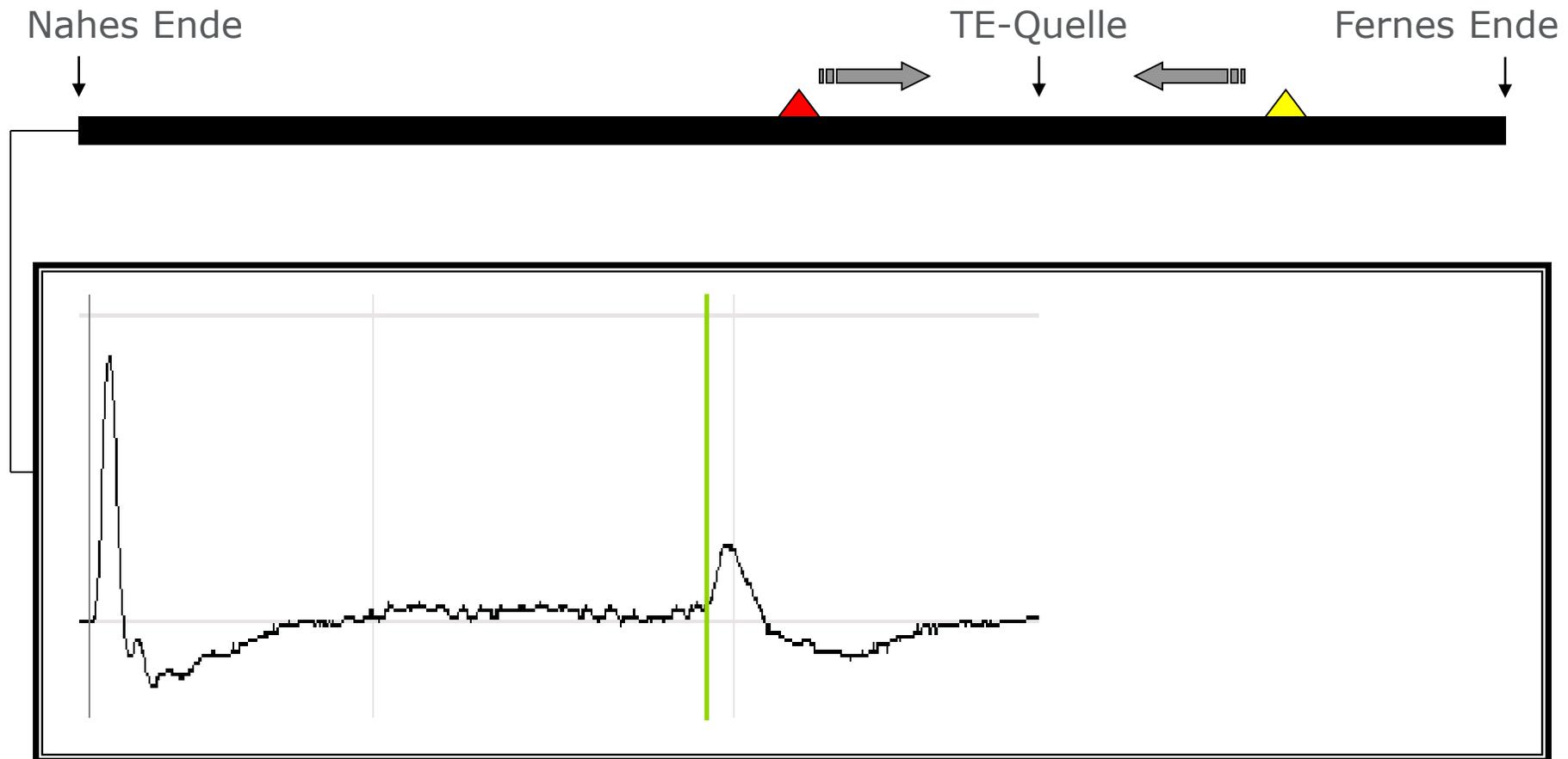
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

11. Reflexion am fernen Ende



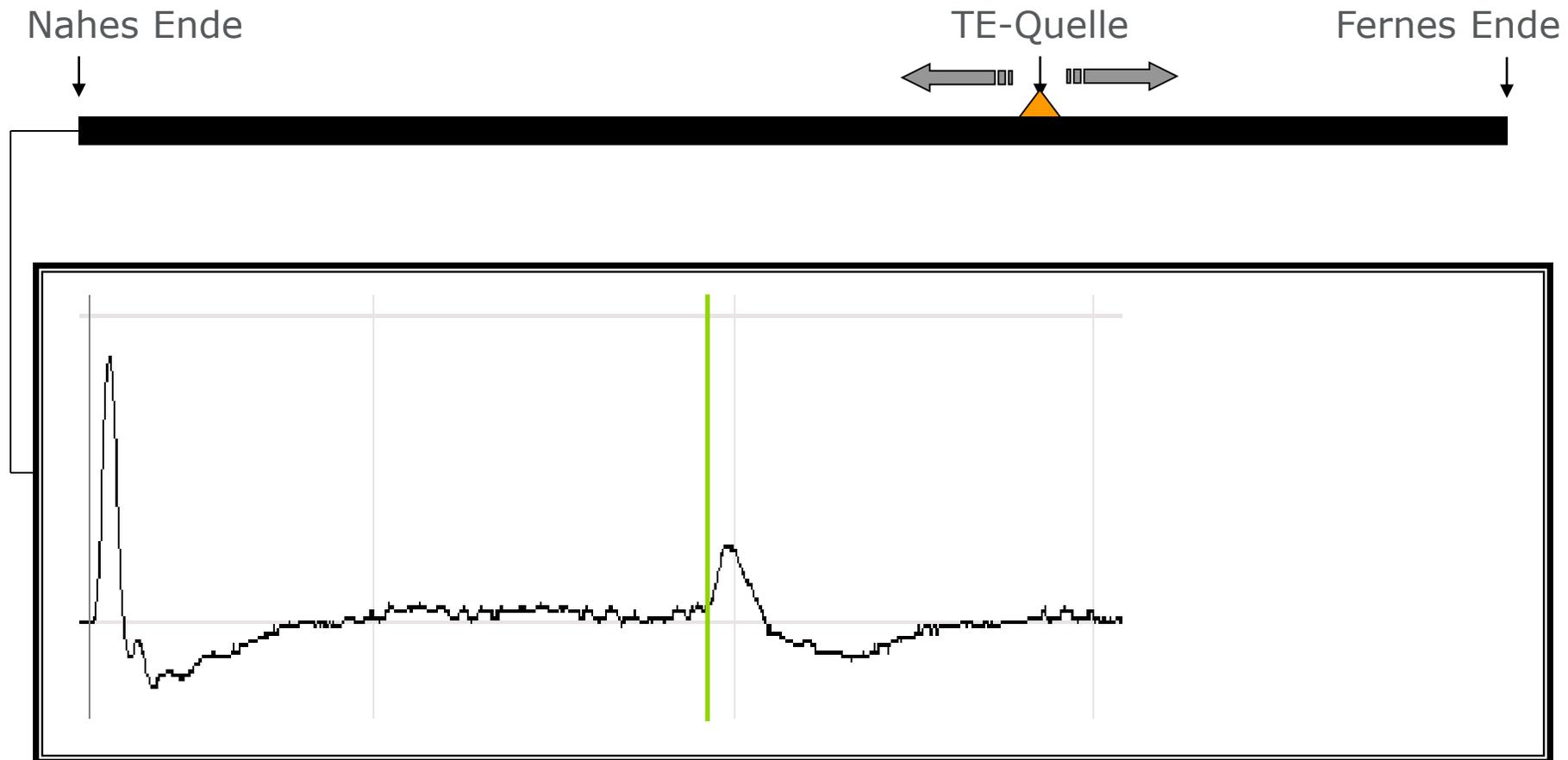
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

12. Ausbreitung



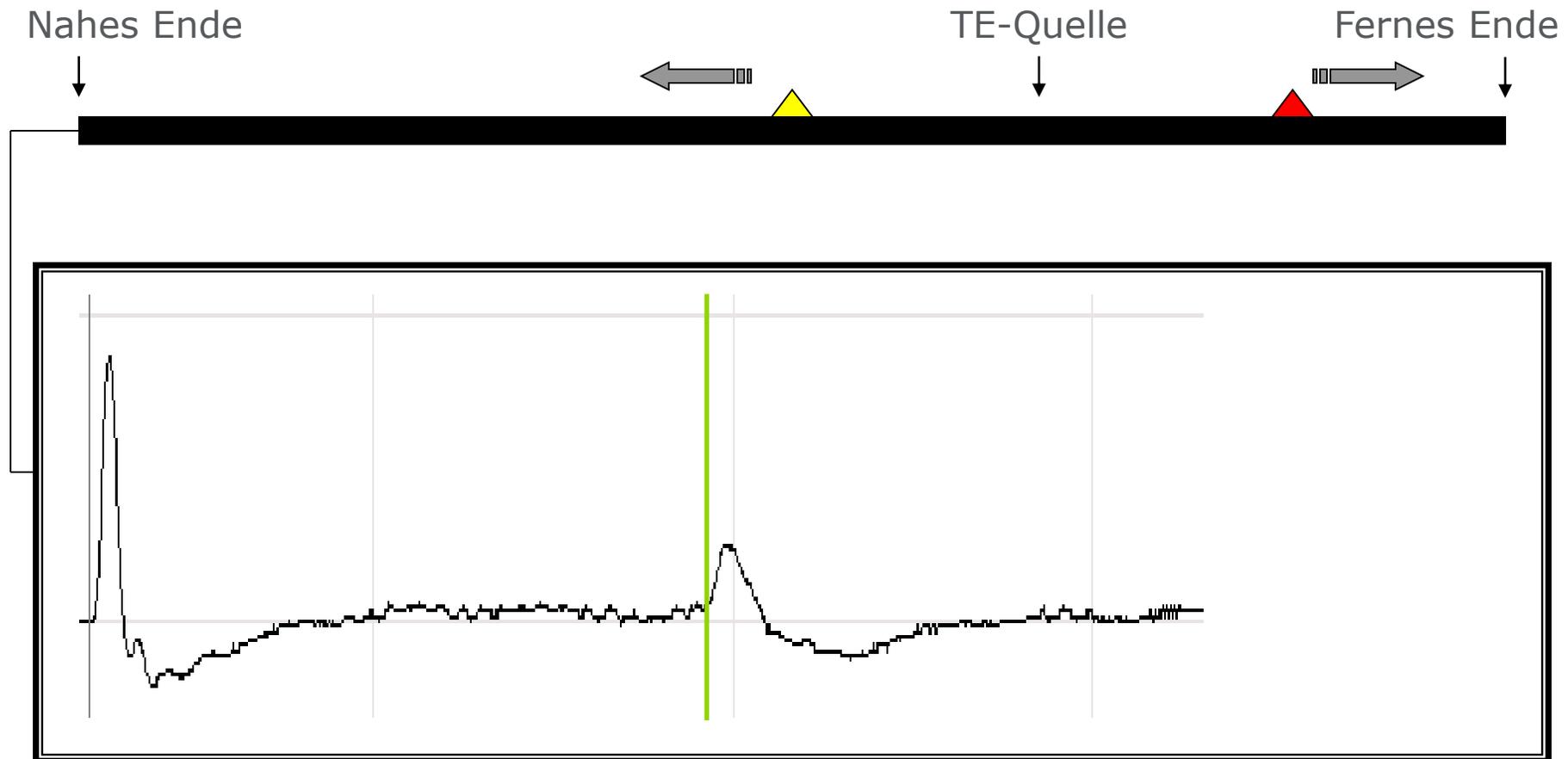
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

13. Ausbreitung



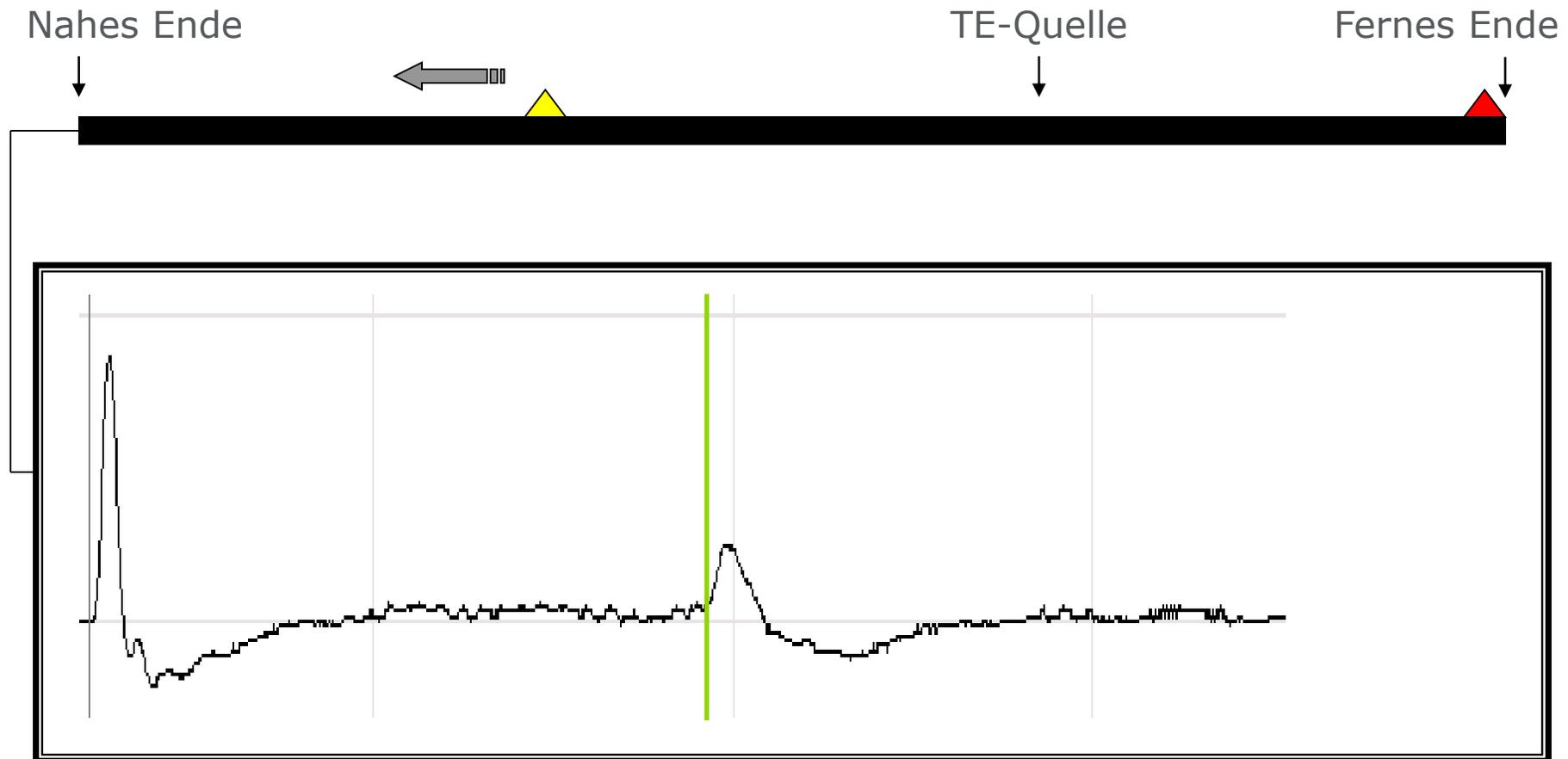
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

14. Ausbreitung



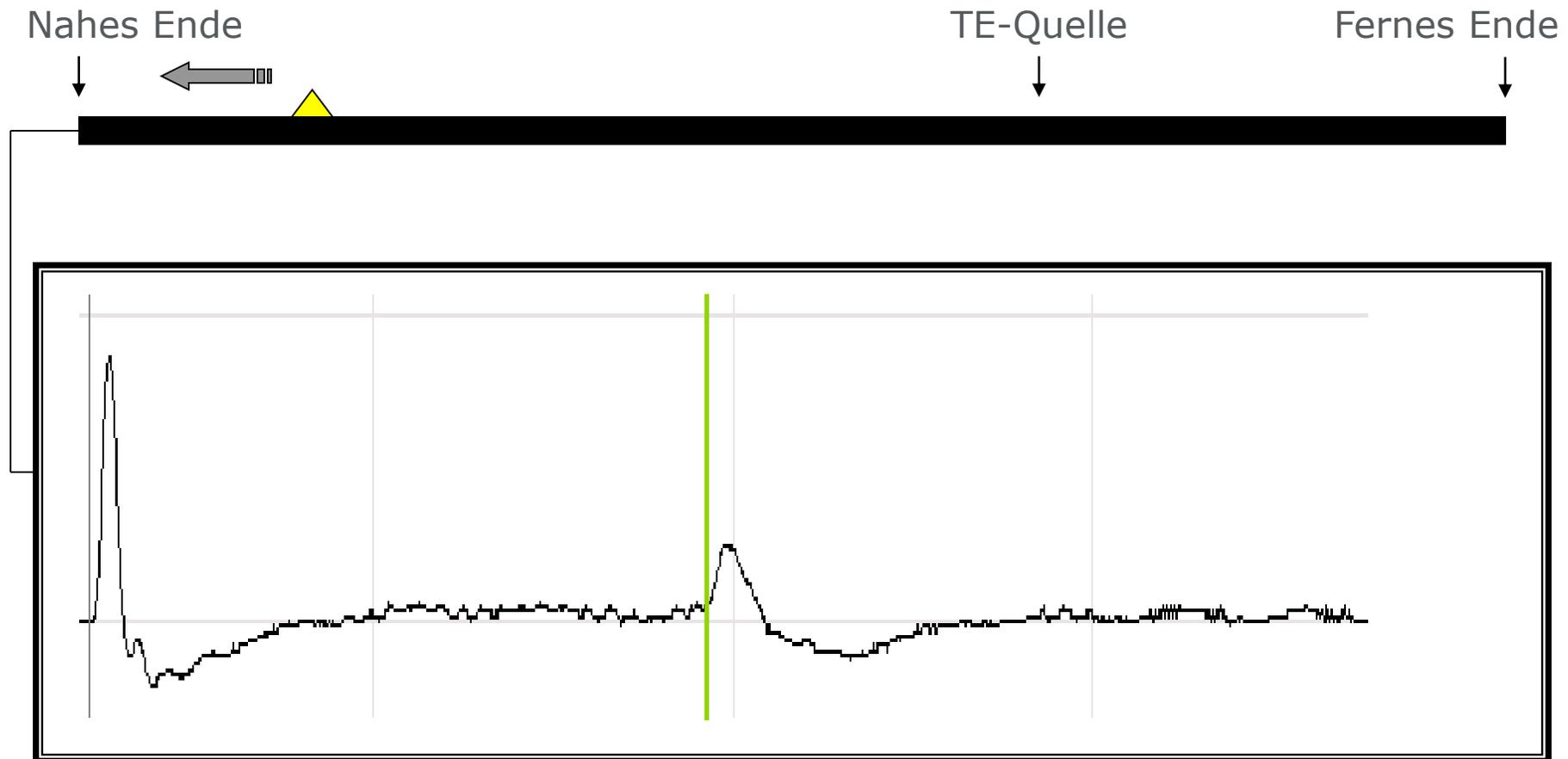
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

15. Reflexion am fernen Ende



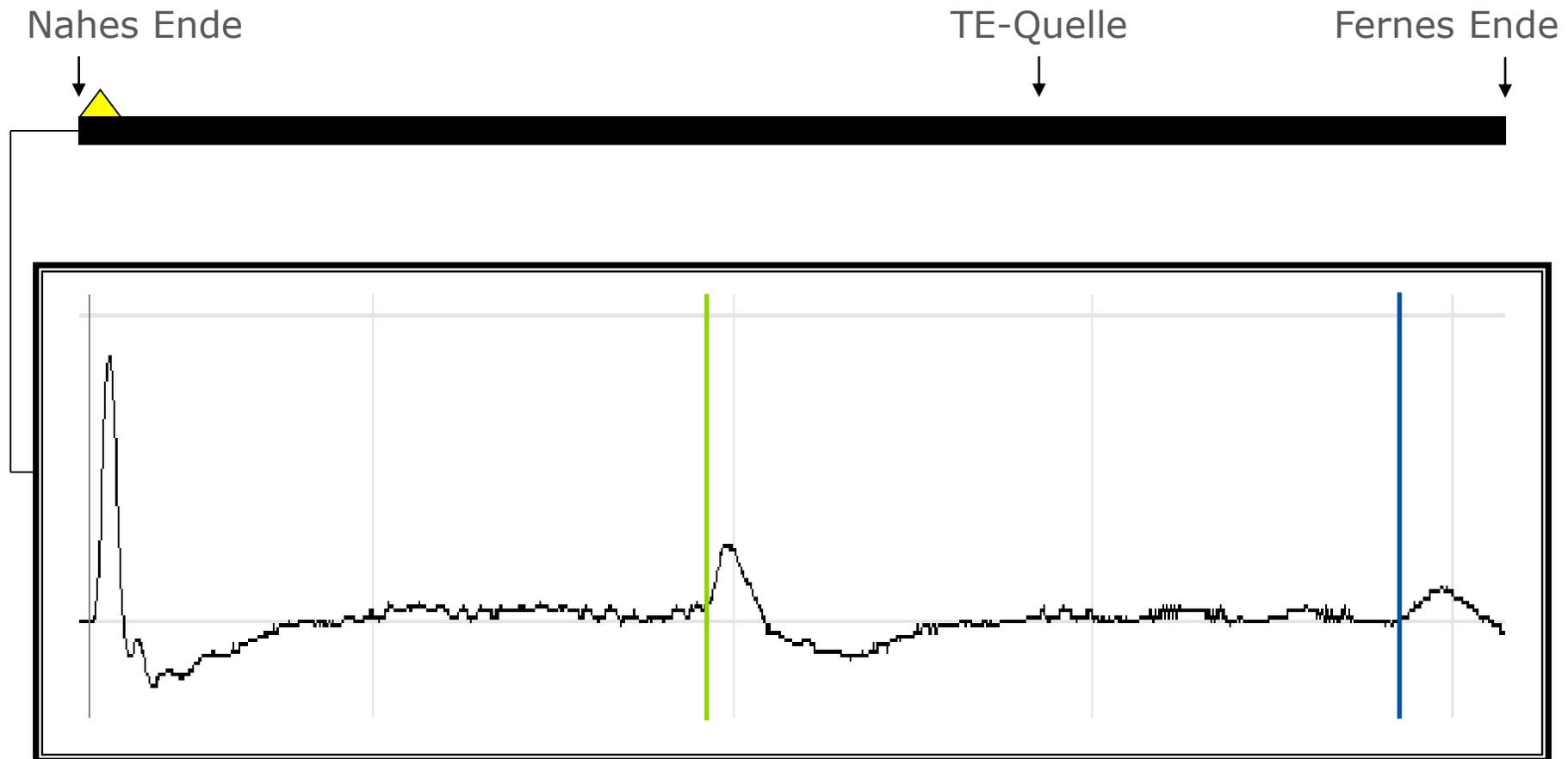
Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

16. Ausbreitung

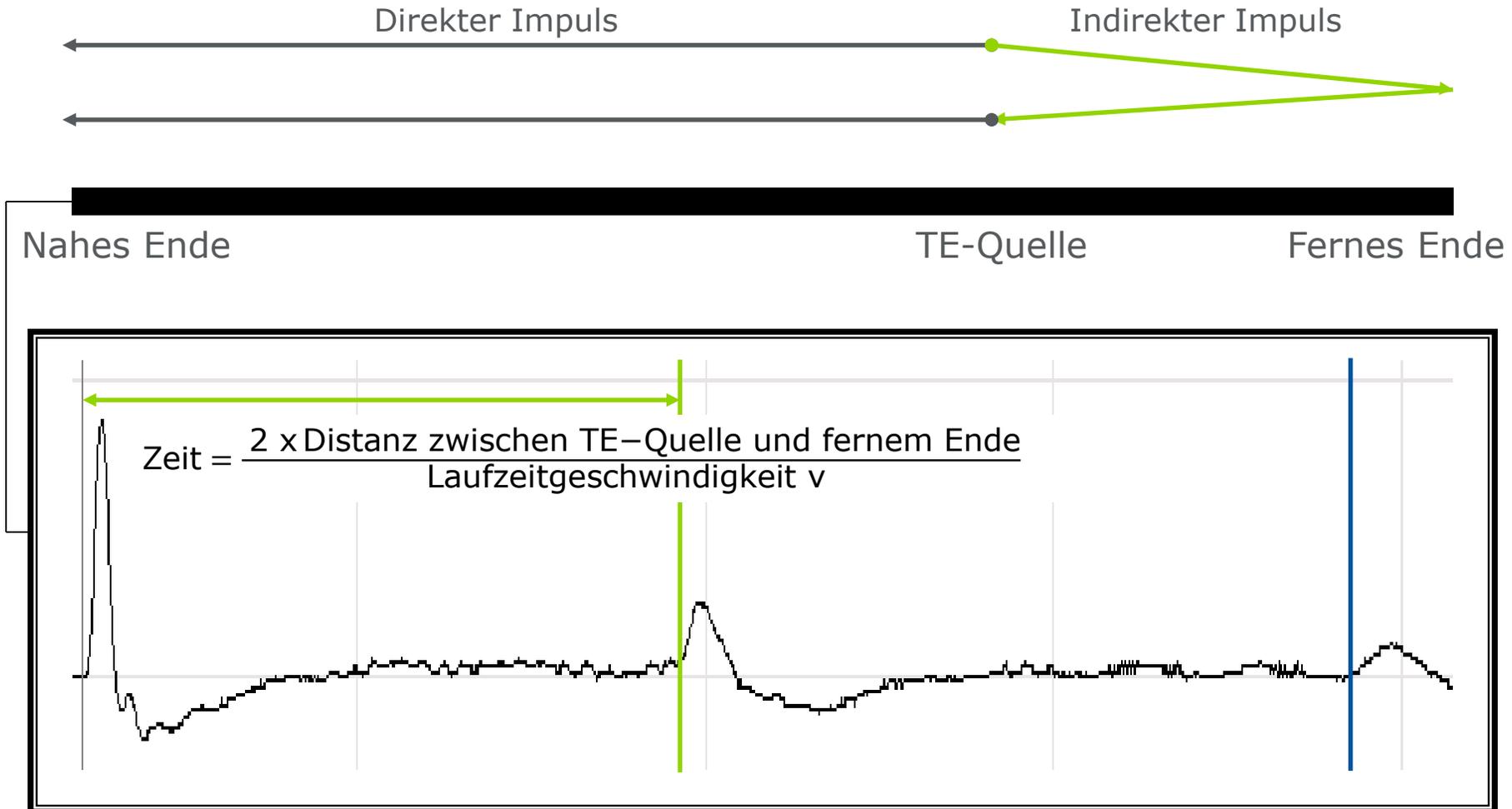


Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

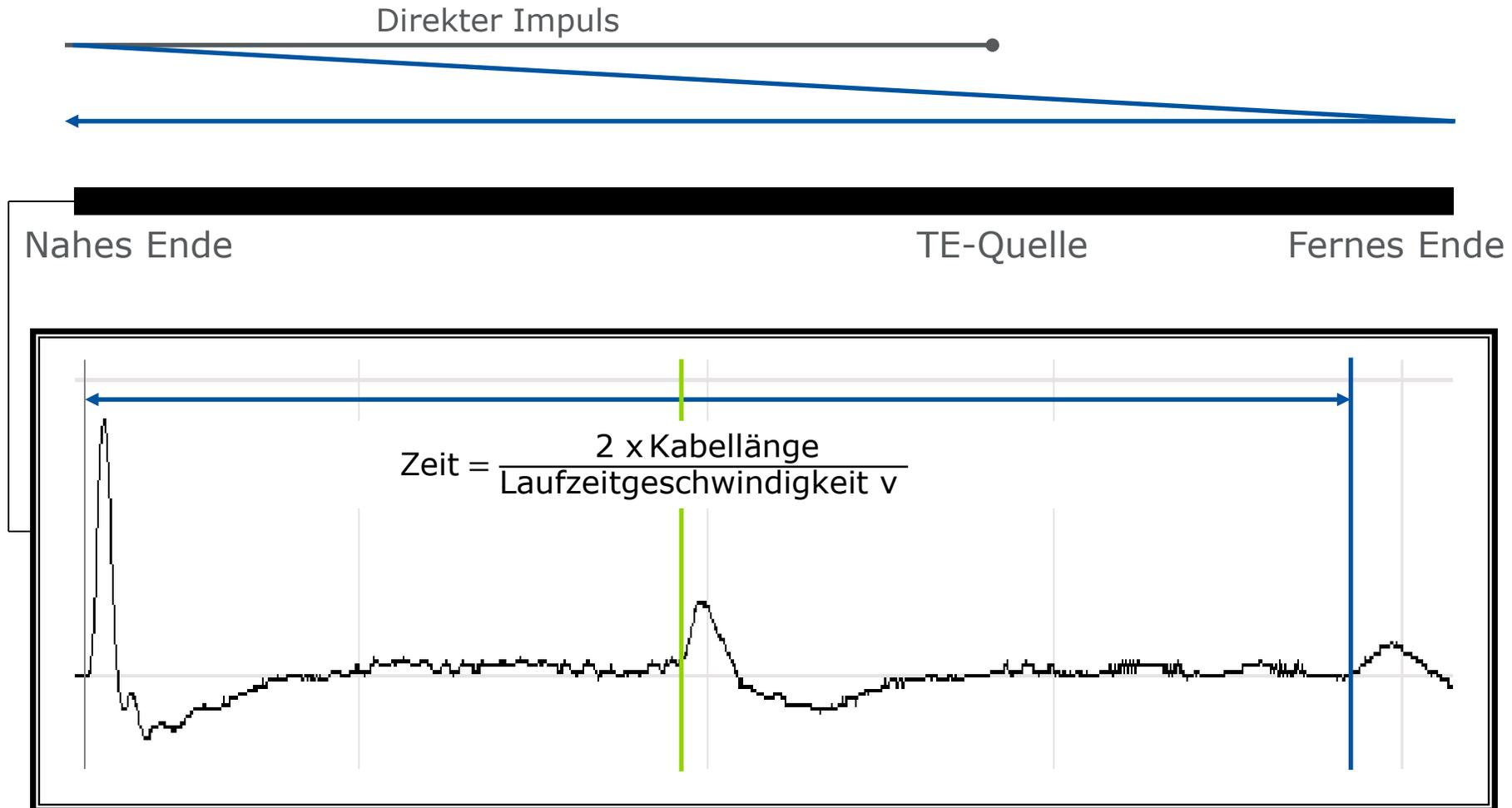
17. Reflexion am nahen Ende



Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

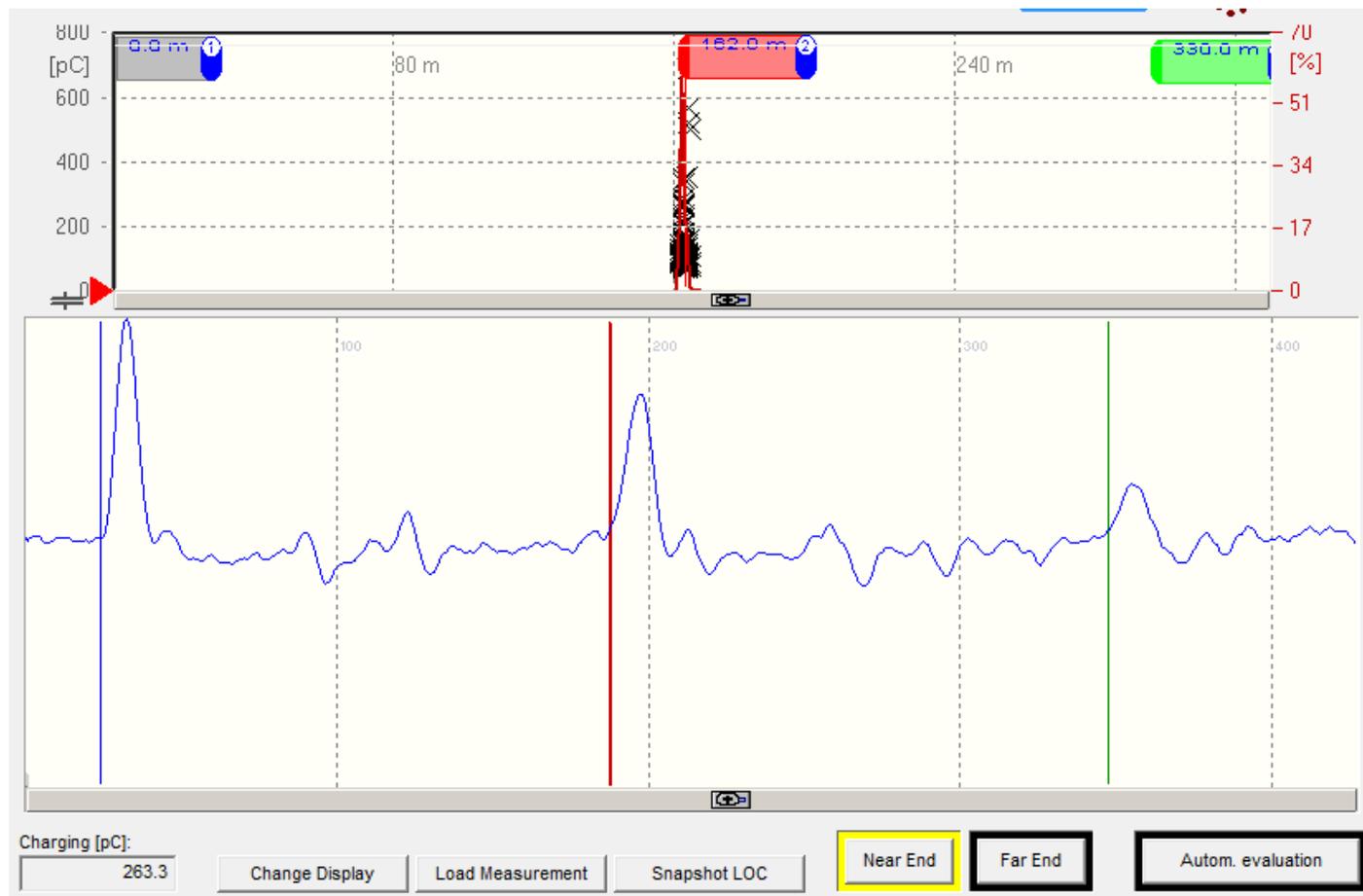


Ortung von Teilentladungen in einem Kabel



Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

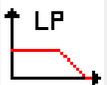
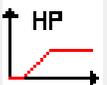
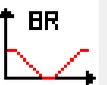
Darstellung in der Software



Auswertung

TE-Frequenzfilter

TE-Frequenzfilter ✕

 LP <input type="checkbox"/>	 HP <input type="checkbox"/>	 BP <input type="checkbox"/>	 BR <input type="checkbox"/>	
<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.5"/>	<input type="text" value="0.5"/>	MHz
		<input type="text" value="4"/>	<input type="text" value="4"/>	MHz

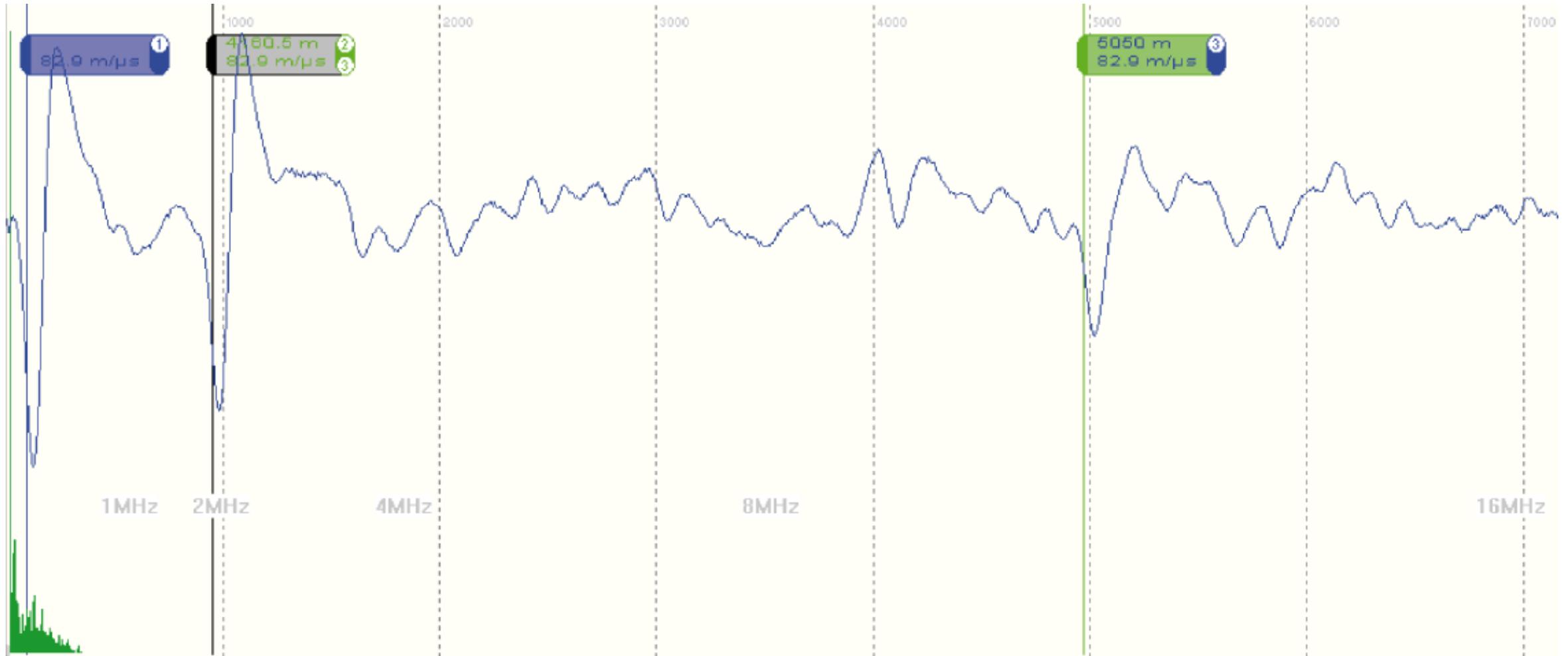
Auswertung

TE-Frequenzfilter



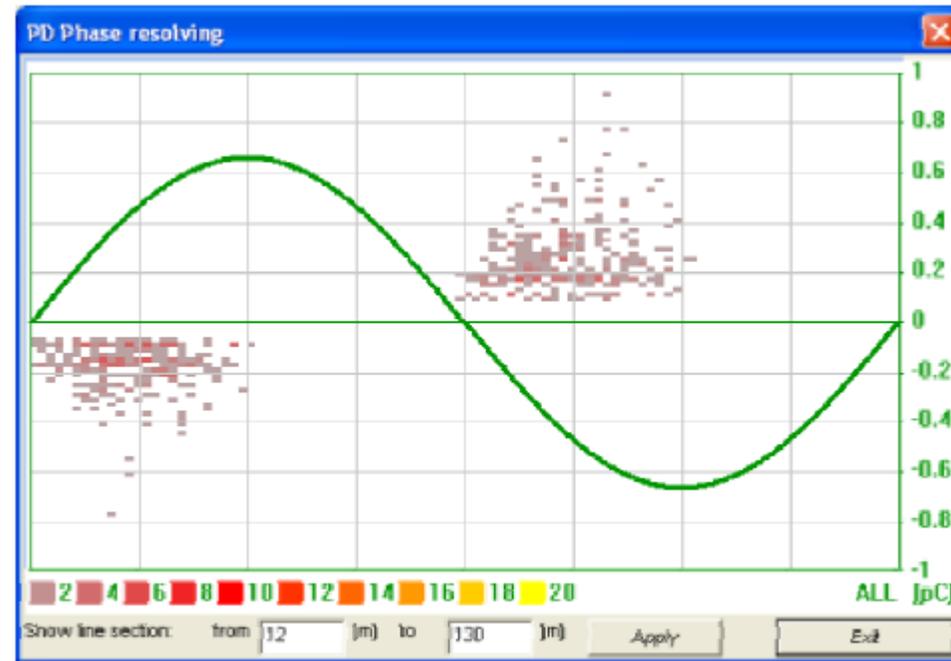
Auswertung

TE-Frequenzfilter



Auswertung

TE-Phasenauflösung

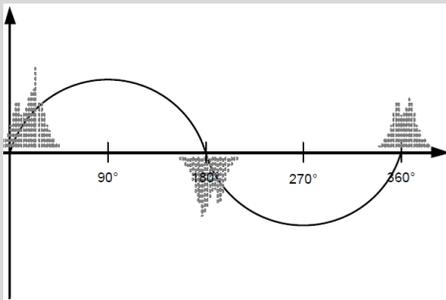


- Darstellung TE-Pegel und TE-Häufigkeit
- in Bezug auf Phasenwinkel
- Unterscheidung zwischen inneren und äußeren TE

Auswertung

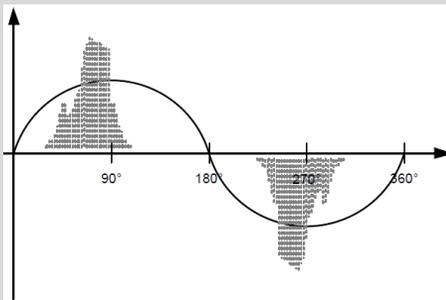
TE-Phasenauflösung

Innere Teilentladungen



- Feldveränderungen in der Isolation
- gas- oder flüssigkeitsgefüllte Einschlüsse in der Isolierung
- Risse in der Isolierung
- Electrical-Trees
- abgelöste Endkappen
- in der Isolierung eingeschlossene Metallteile

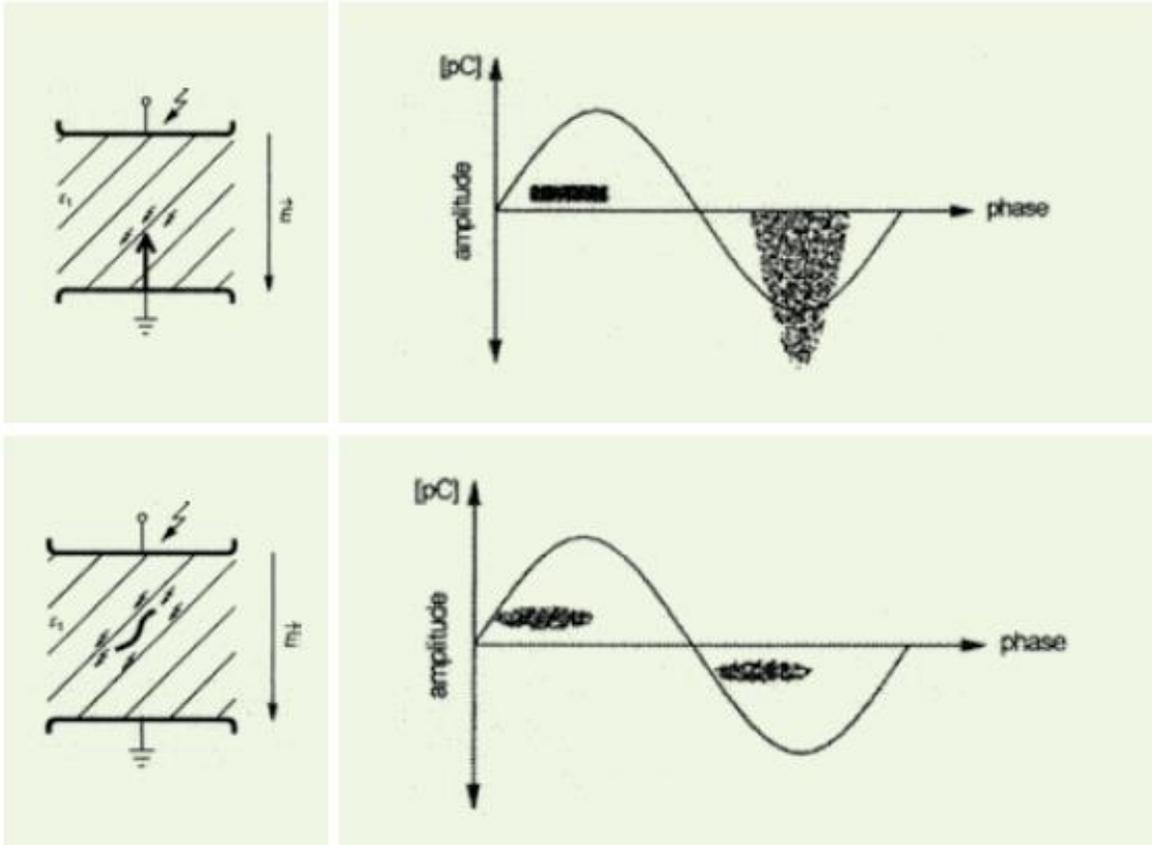
Äußere Teilentladungen



- Spitze-Platte-Anordnung
- Koronaentladungen
- Oberflächen, an denen hohe elektrische Feldstärken auftreten
- einem inhomogenen Feld einer Anordnung Leiter-über-Erde

Auswertung

TE-Phasenauflösung

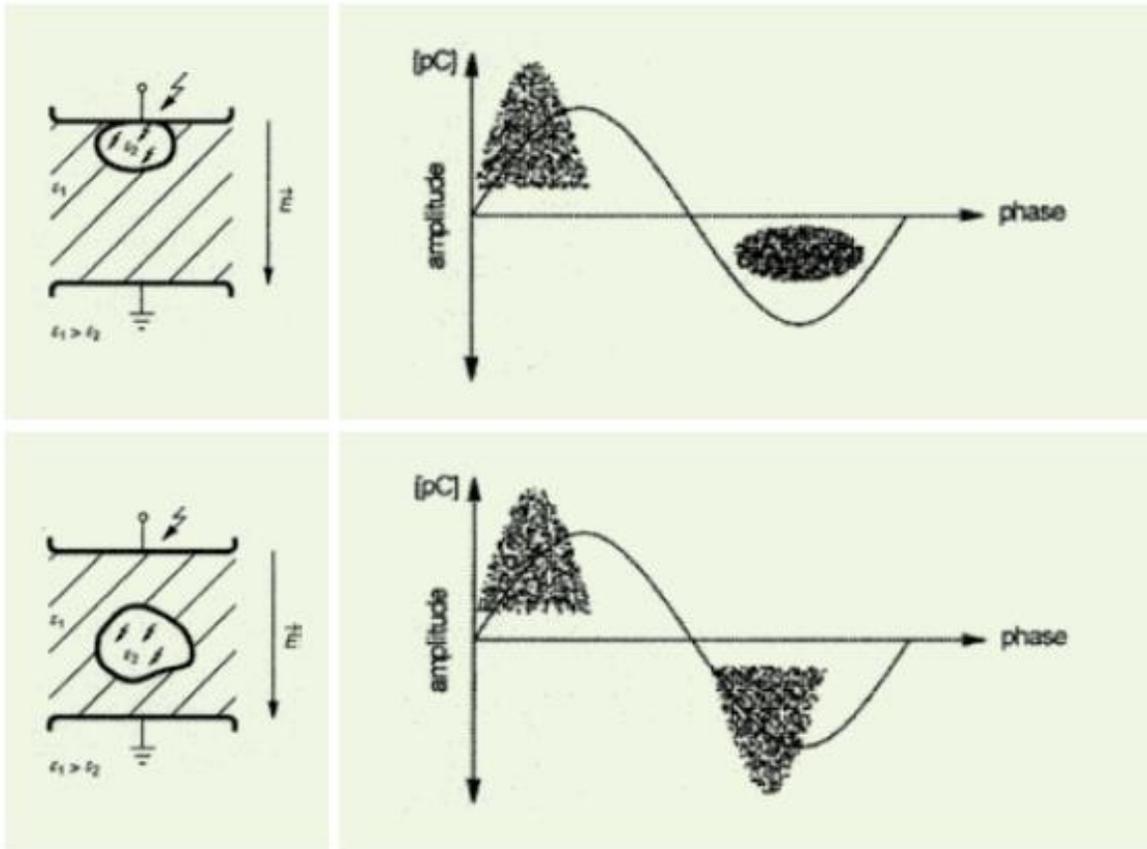


Leitende Teile im Isoliermedium

1. Leitendes Teil mit Kontakt zur Elektrode
2. Leitendes Teil ohne Kontakt

Auswertung

TE-Phasenauflösung



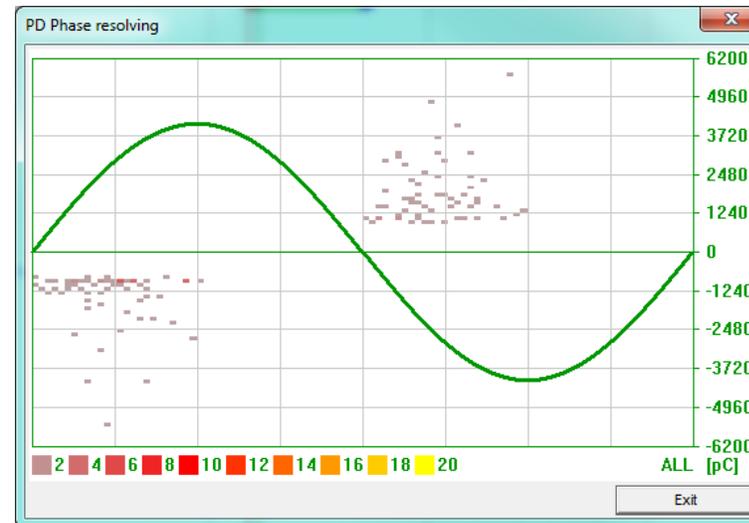
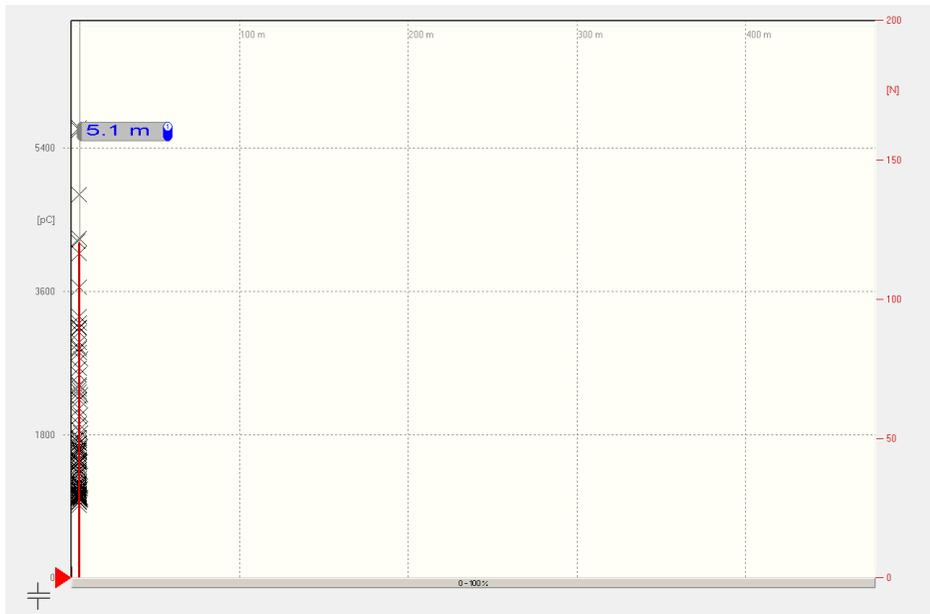
Nicht-Leitende Teile im Isoliermedium

1. Nicht-Leitendes Material mit Kontakt
2. Nicht-Leitendes Material ohne Kontakt

Auswertung

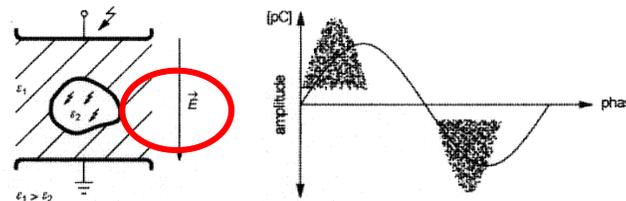
TE-Phasenauflösung

Beispiel:



Vermutung:

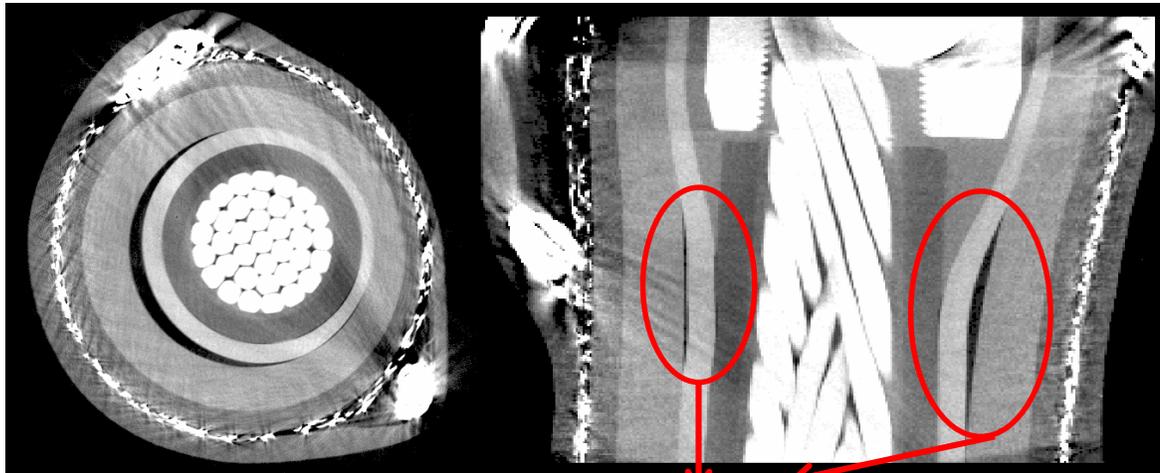
Nicht leitendes Material ohne direktem Kontakt zur metallischen Elektrode.



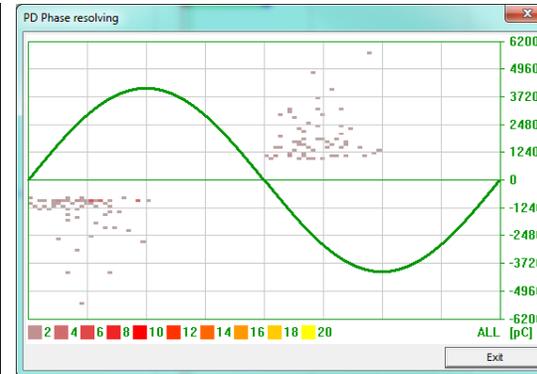
Auswertung

TE-Phasenauflösung

Städtische Werke Magdeburg

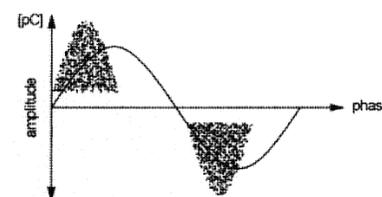
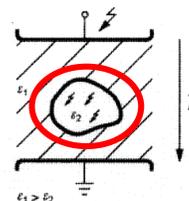


Luftabschluss zwischen Isolierkörper
und Feldsteuerung



Vermutung:

Nicht leitendes Material ohne direktem
Kontakt zur metallischen Elektrode.



VLF-Spannungsquelle

Joint fault	1xU ₀				1,5xU ₀				1,7xU ₀				2xU ₀				2,5xU ₀			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
M1a																				
M2a																				
M3a																				
M4a																				
M5a																				
M6a																				
M7a																				
M8a																				
M9a																				
M1b																				
M2b																				
M3b																				
M4b																				
M5b																				
M6b																				
M7b																				
M8b																				
M9b																				

Vergleich TE-Sensitivität

- BAUR
- 50 Hz Laborequipment
- 50 Hz Slope
- Gedämpfte Wechselspannung

*RWE-Eurotest, "Comparison of available measuring methods"

VLF-Spannungsquelle

Joint fault	1xU ₀				1,5xU ₀				1,7xU ₀				2xU ₀				2,5xU ₀			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
M1a																				
M2a																				
M3a																				
M4a																				
M5a																				
M6a																				
M7a																				
M8a																				
M9a																				
M1b																				
M2b																				
M3b																				
M4b																				
M5b																				
M6b																				
M7b																				
M8b																				
M9b																				

Vergleich TE-Sensitivität

- BAUR
- 50 Hz Laborequipment

*RWE-Eurotest, "Comparison of available measuring methods"

VLF-Spannungsquelle

Joint fault	1xU ₀				1,5xU ₀				1,7xU ₀				2xU ₀				2,5xU ₀			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
M1a																				
M2a																				
M3a																				
M4a																				
M5a																				
M6a																				
M7a																				
M8a																				
M9a																				
M1b																				
M2b																				
M3b																				
M4b																				
M5b																				
M6b																				
M7b																				
M8b																				
M9b																				

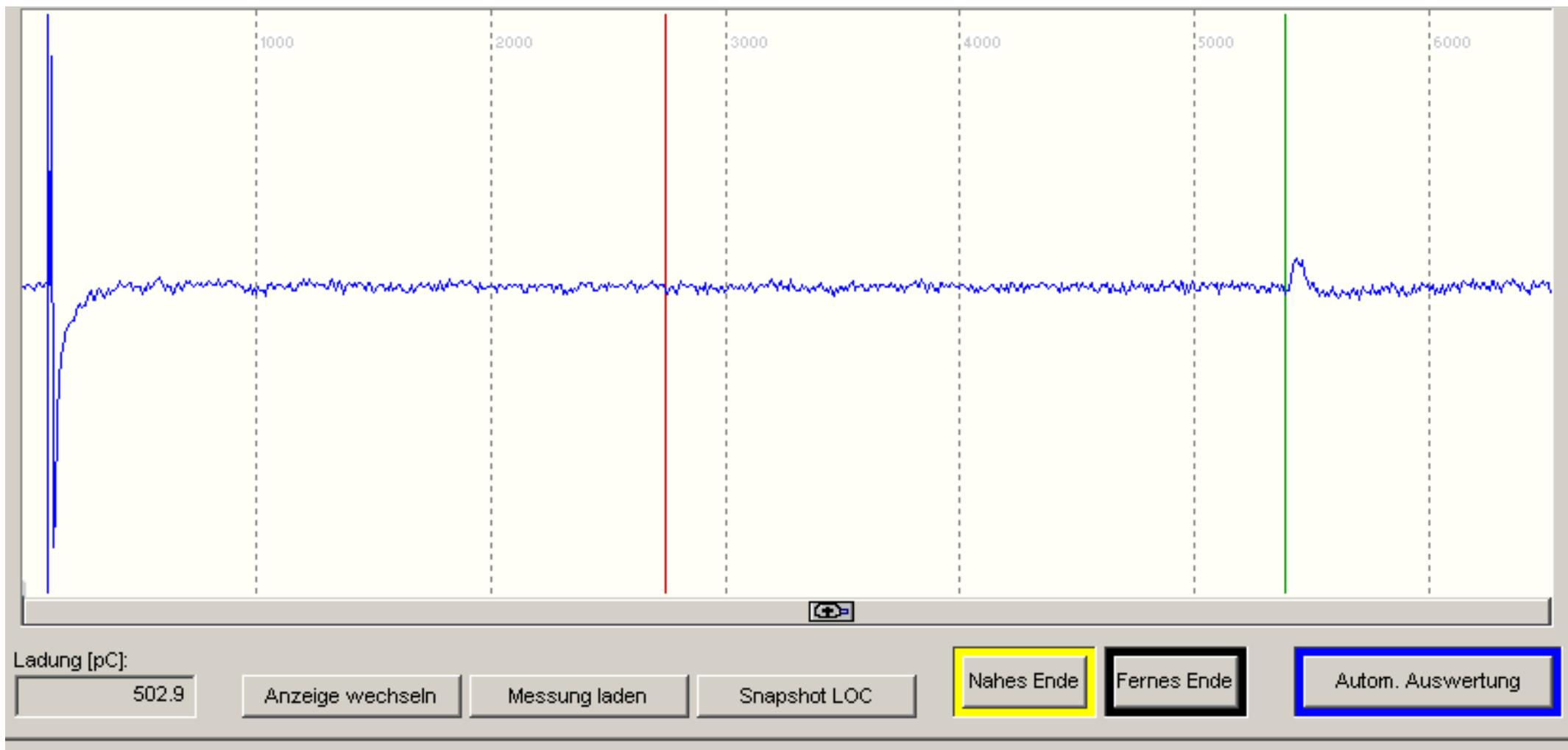
Vergleich TE-Sensitivität

- BAUR
- Gedämpfte Wechselspannung

*RWE-Eurotest, "Comparison of available measuring methods"

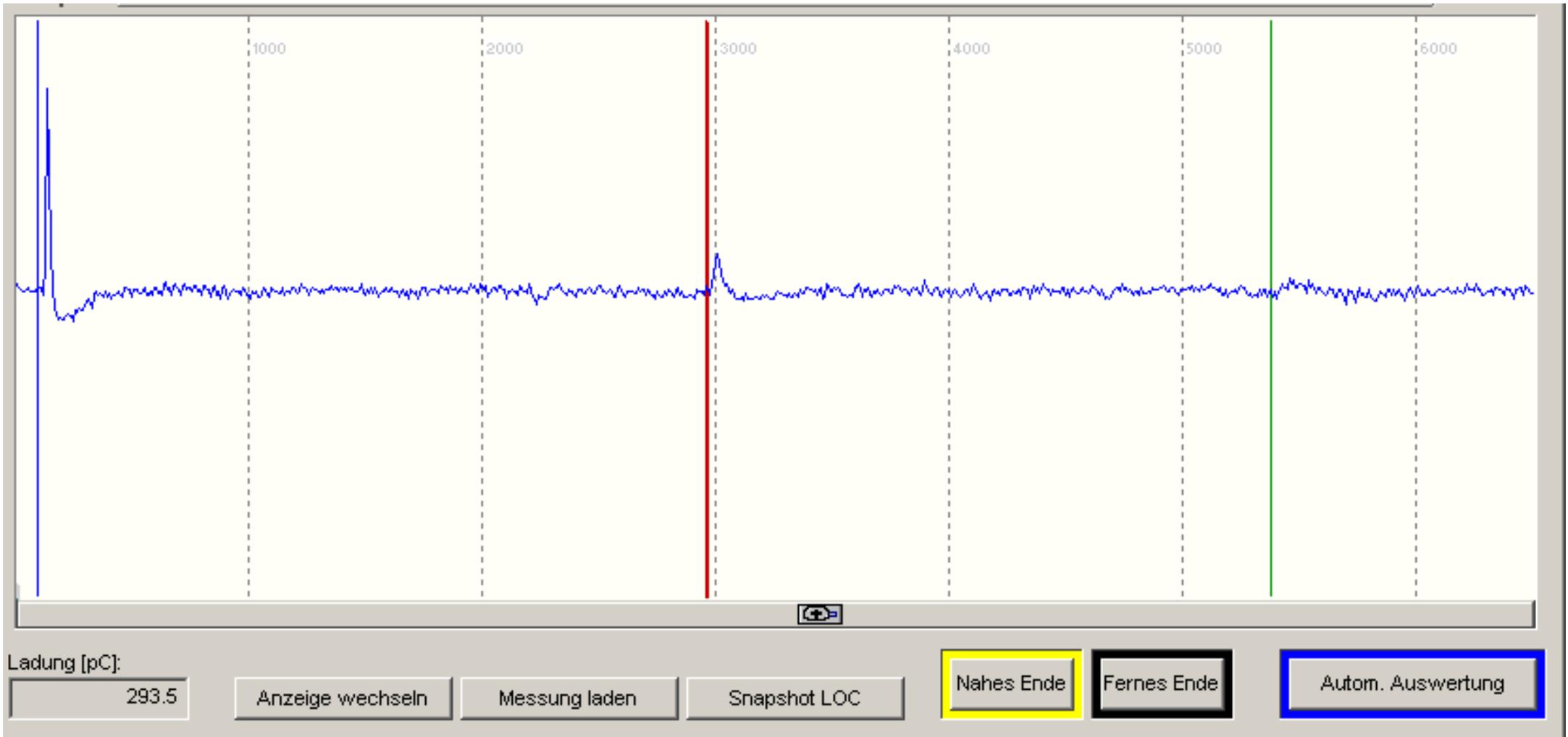
Lange Kabel

Kalibrierung

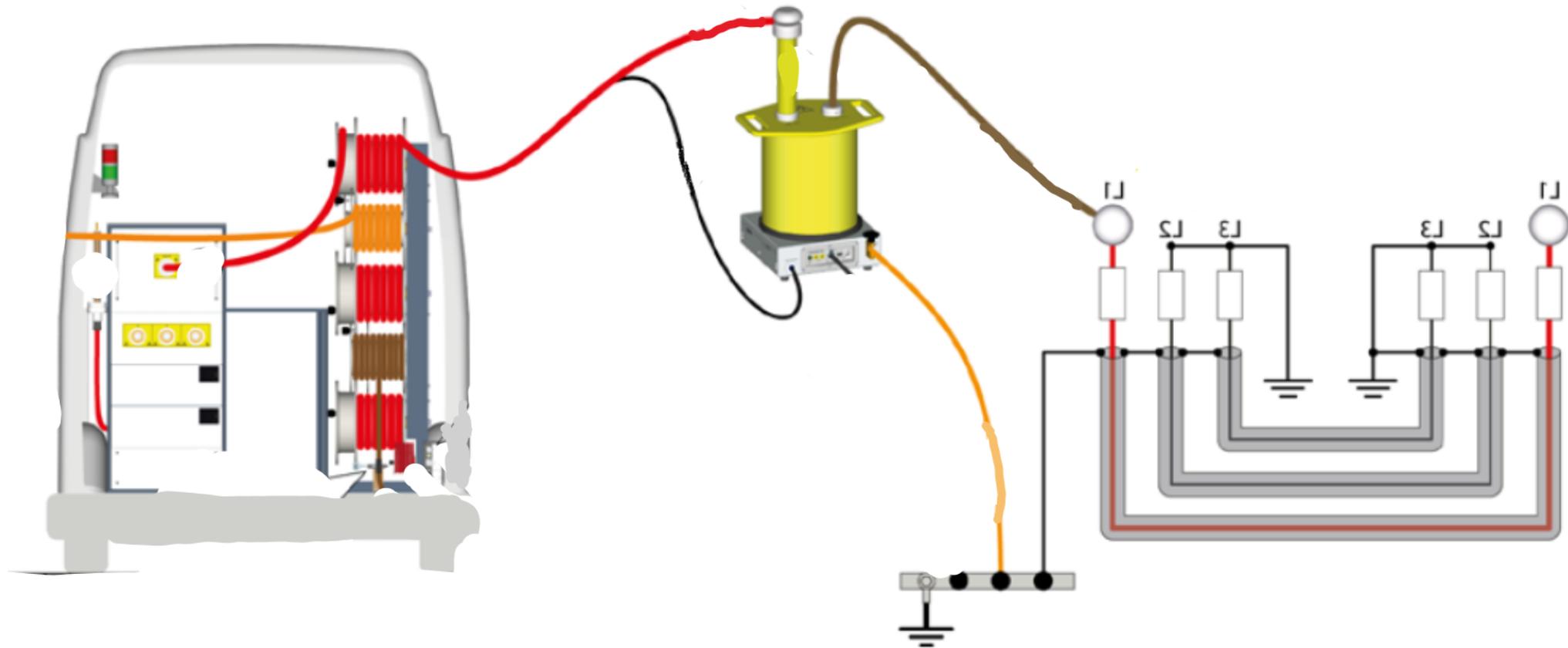


Lange Kabel

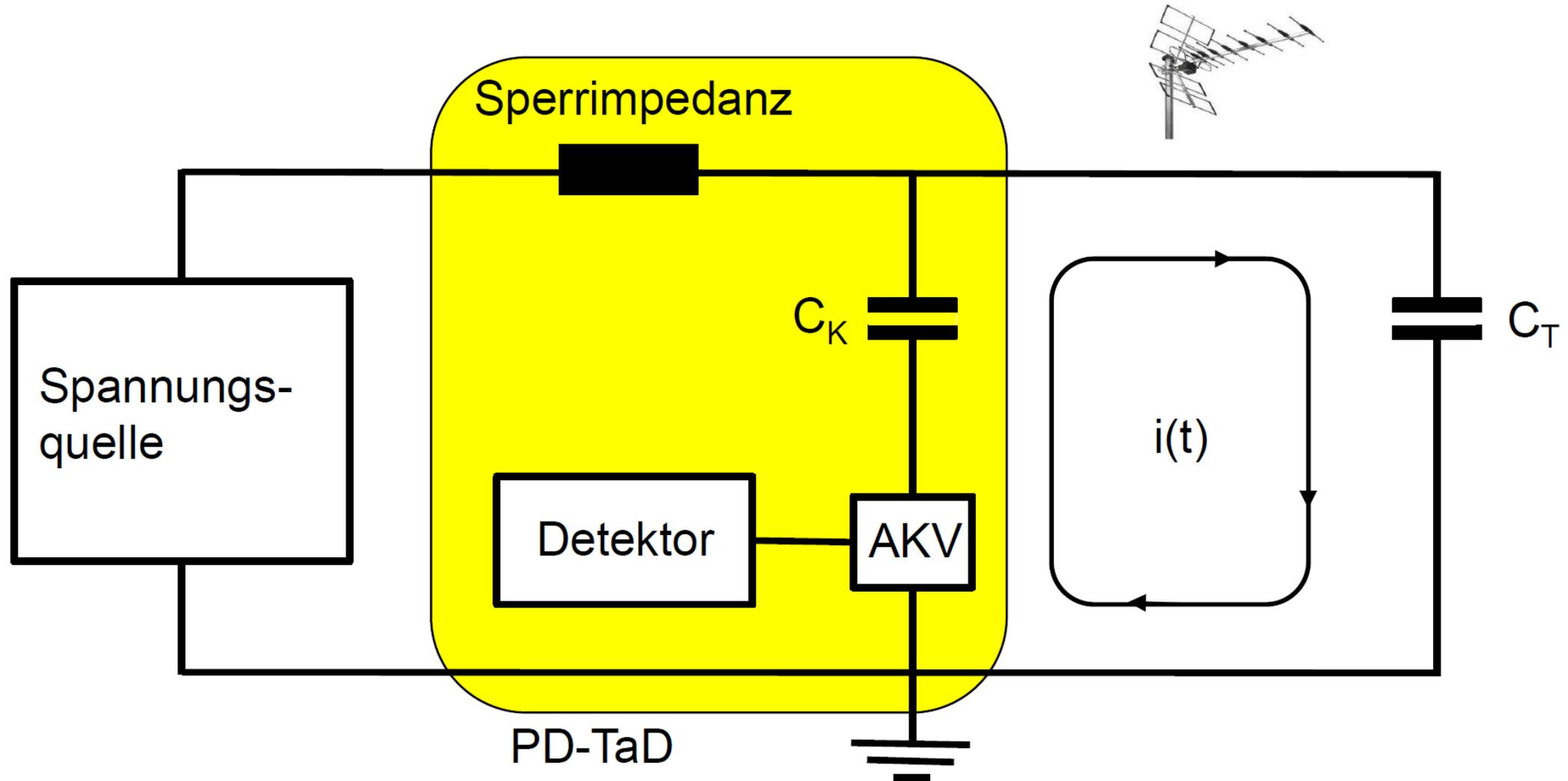
Teilentladungsortung



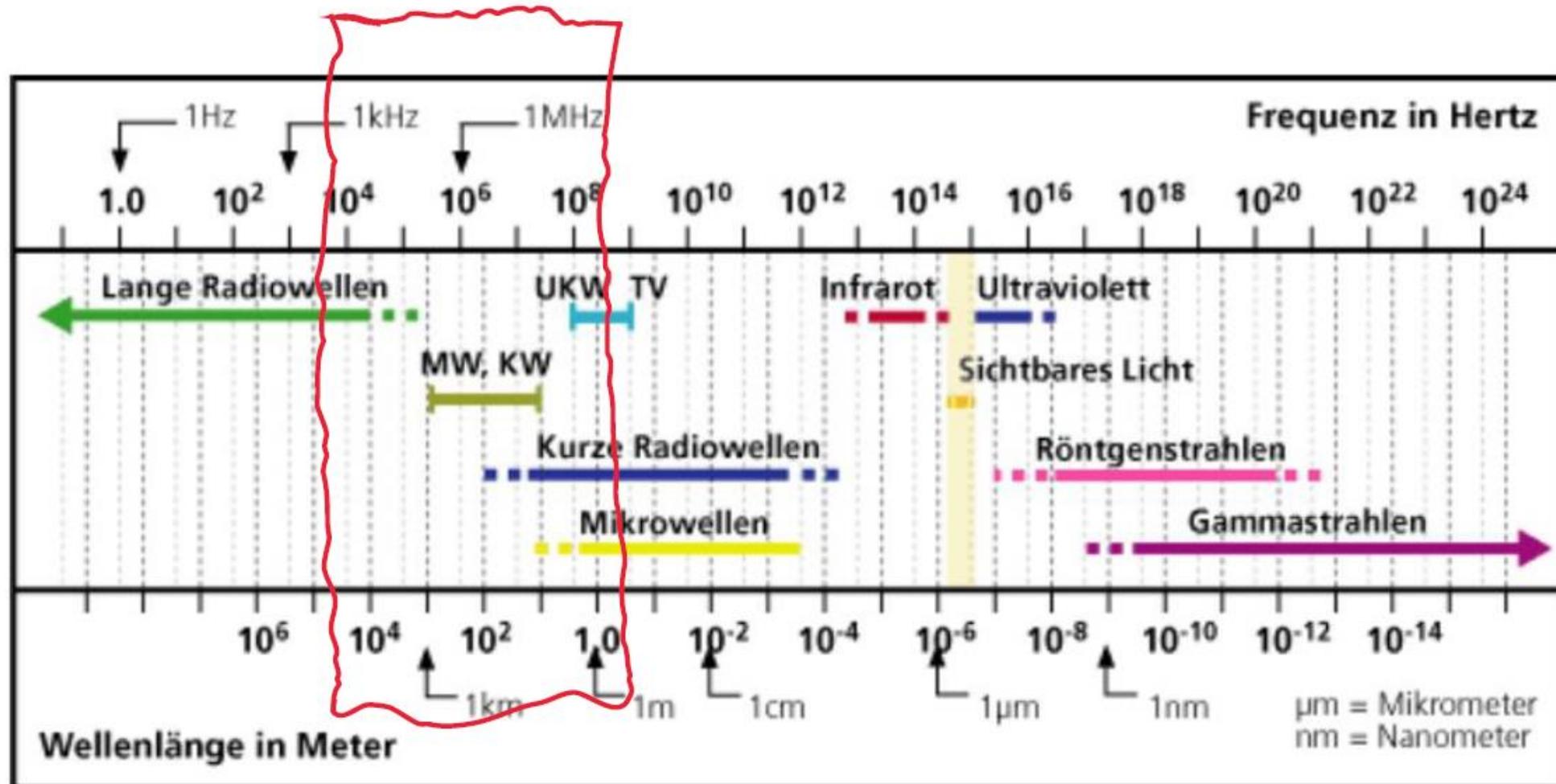
TE-Prüfkreis



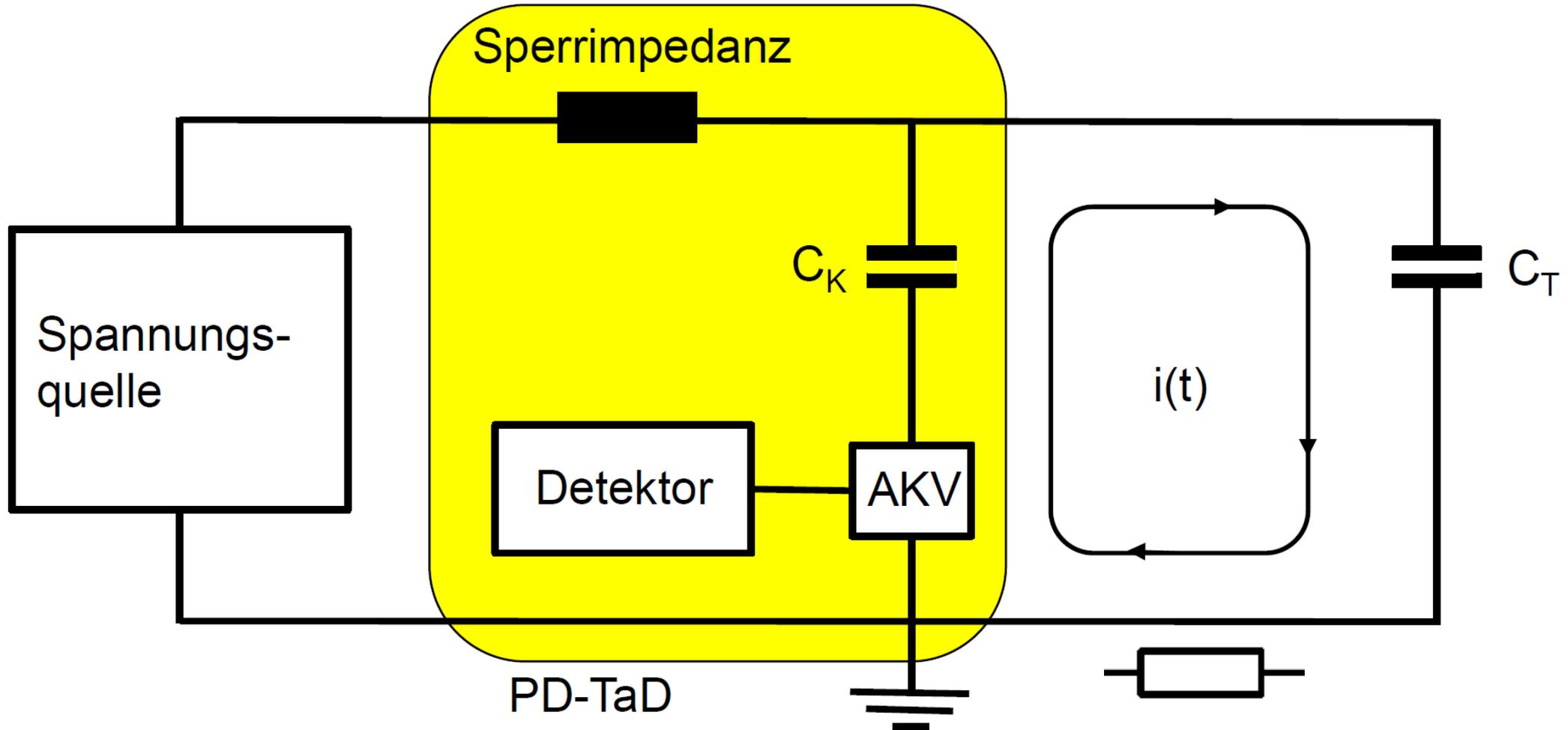
TE-Prüfkreis



TE-Prüfkreis



TE-Prüfkreis

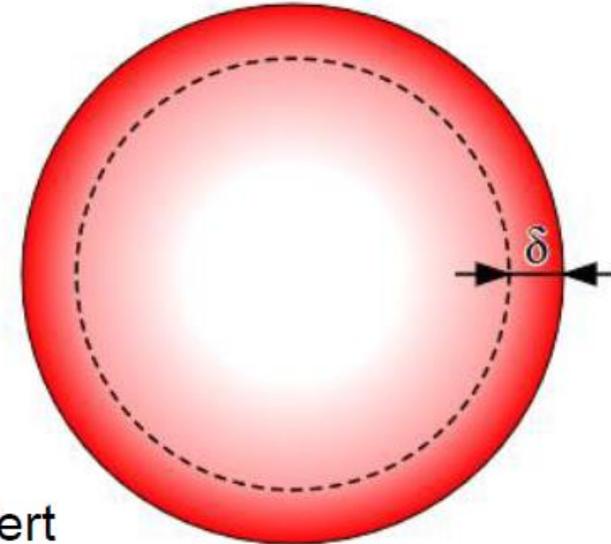


TE-Prüfkreis

Skin-Eindringtiefe der Stromdichte im Leiter

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu_0 \mu_r k}}$$

Bezogen auf die Leiteroberfläche beschreibt die Eindringtiefe δ , dass Abfallen der Stromdichte auf den Wert $1/e$ (ca. 37%)



Eindringtiefe $\delta(f)$

	50 Hz	5 kHz	500 kHz	5 MHz	50 MHz	500 MHz
Silber	9,11 mm	0,91 mm	91,1 μm	28,8 μm	9,11 μm	2,88 μm
Kupfer	9,35 mm	0,94 mm	93,5 μm	26,6 μm	9,35 μm	2,96 μm
Aluminium	11,7 mm	1,17 mm	117 μm	37,0 μm	11,7 μm	3,70 μm

TE-Prüfkreis

Fazit

- Antennenwirkung minimieren → HV-Anschluss kurz halten
- Dämpfung minimieren → Erdanschluss kurz halten

Teilentladungsmessung

Grenzwerte

- PDIV
- PDEV
- Kabel / Garnitur
- Kunststoff / Papier-Masse
- Konzentration / Verteilung
- Leitschicht mangelhaft geschält
- Absetzmaße nicht eingehalten
- Lufteinschlüsse beim Schrumpfen
- Fremdkörper (Schmutz, Sand, Späne) werden mit eingeschrumpt
- Isolierbänder falsch positioniert
- Fehlende Masse (Übergangsmuffe)
- getrockneter Kabelabschnitt
- Korrosion des Bleimantels

Teilentladungsmessung

Grenzwerte

VPE:

- Kabel: TE frei
- Neue Garnituren: Max. 100 pC bei U_0
- Betriebsgealterte Garnituren:
 - PDIV > U_0 : 500 pC erneute Messung nach 2 Jahren
2.000 pC erneute Messung nach 1 Jahr
 - PDIV < U_0 : 500 pC erneute Messung nach 6 Monaten
2.000 pC Hohes Ausfallrisiko, Garnitur erneuern
4.000 pC Sehr hohes Ausfallrisiko, Garnitur erneuern

Teilentladungsmessung

Grenzwerte

Papier-Masse

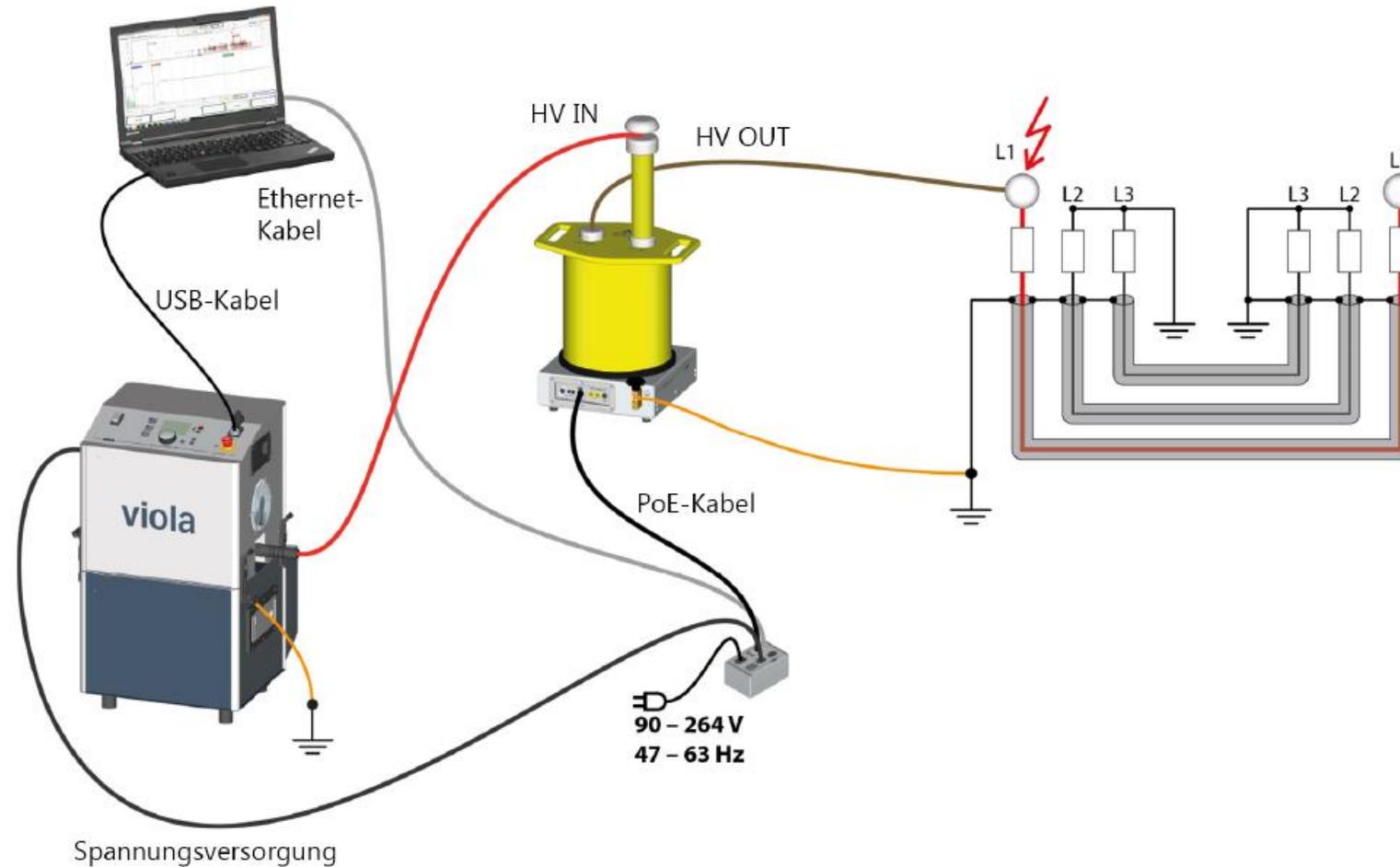
Kabel (ausgetrocknete Abschnitte): ~ 9.000 pC

Garnituren:

PDIV $>$ U_0 : 20.000 pC erneute Messung nach 2 Jahren
50.000 pC erneute Messung nach 1 Jahr

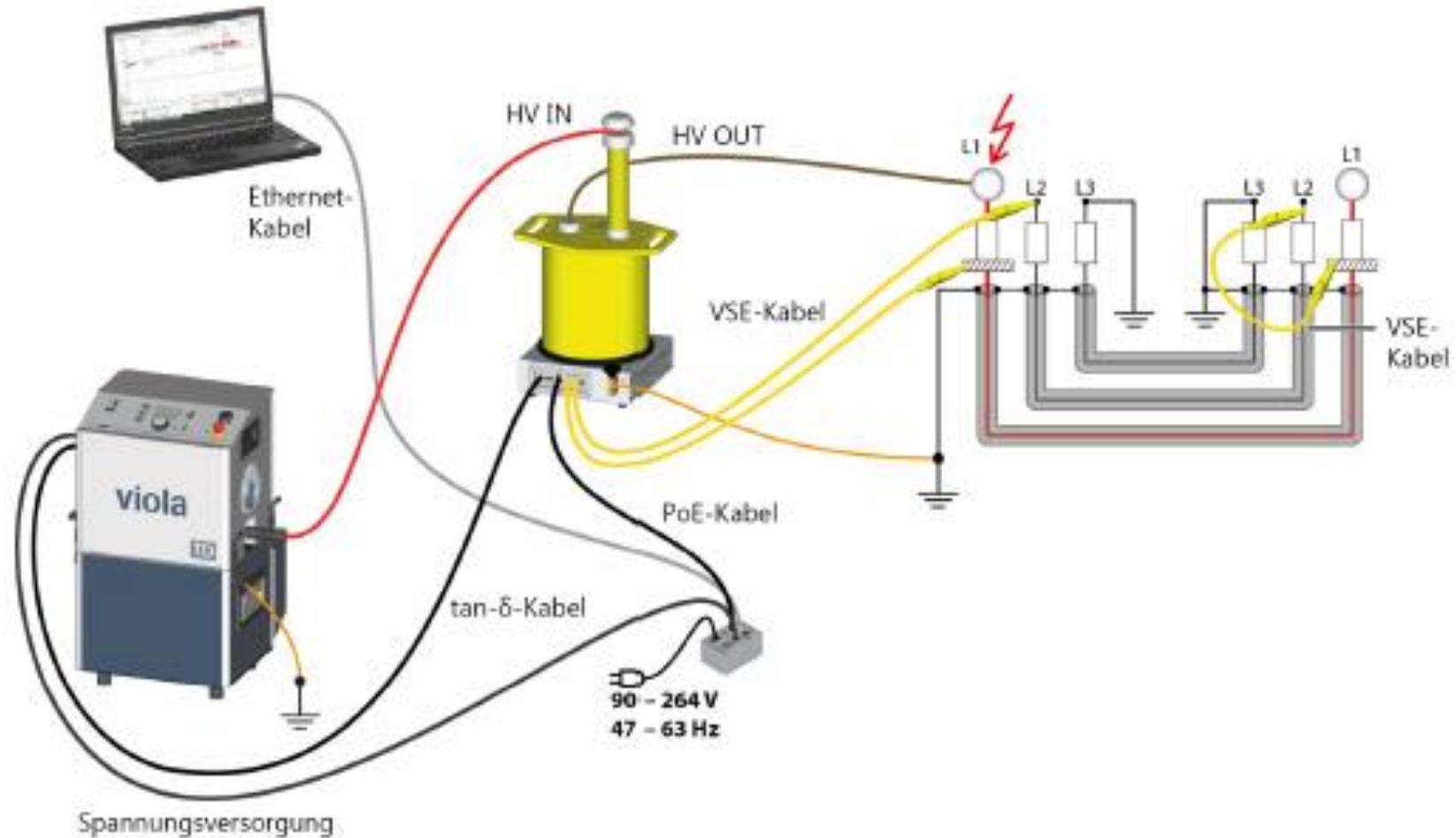
PDIV $<$ U_0 : 10.000 pC erneute Messung nach 6 Monaten
20.000 pC Hohes Ausfallrisiko, Garnitur erneuern
40.000 pC Sehr hohes Ausfallrisiko, Garnitur erneuern

Anschluss TE-Messung

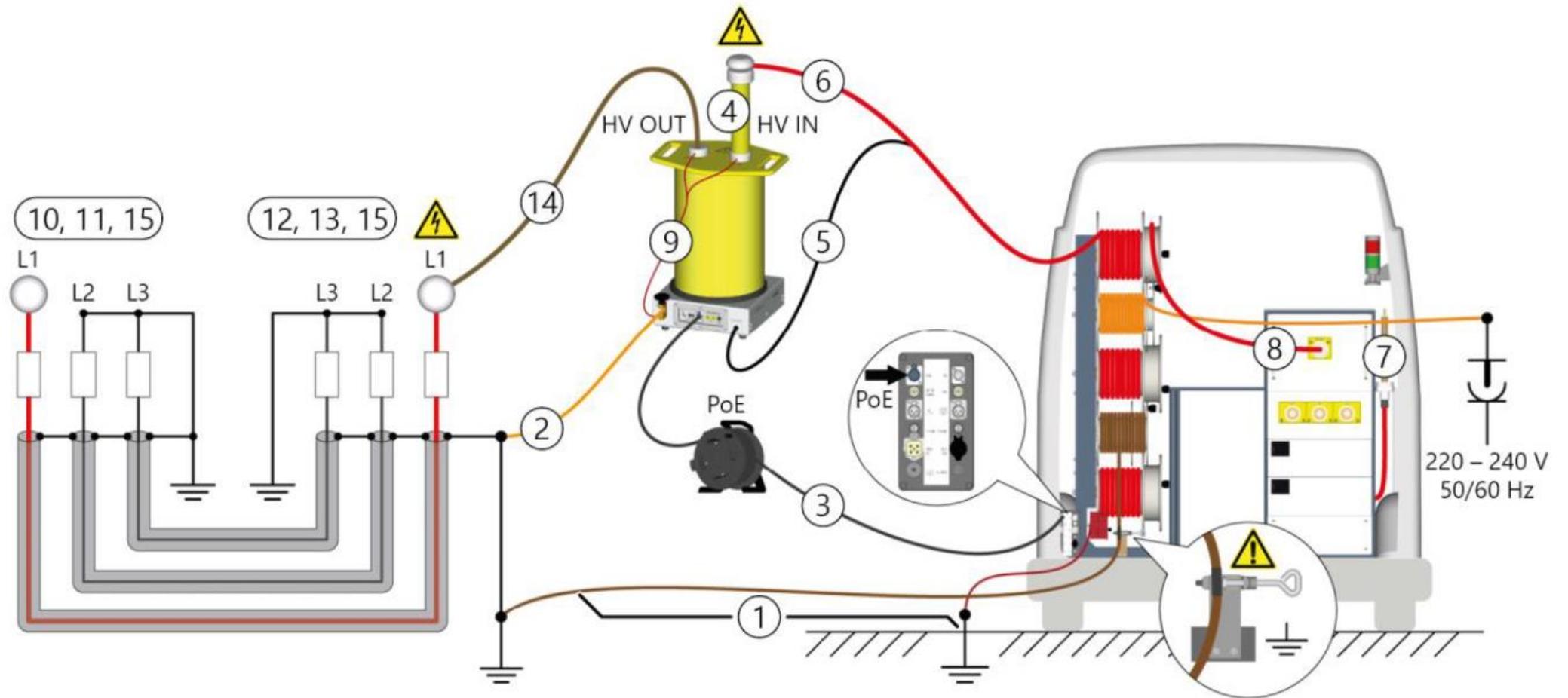


Anschluss

Full MWT-Messung

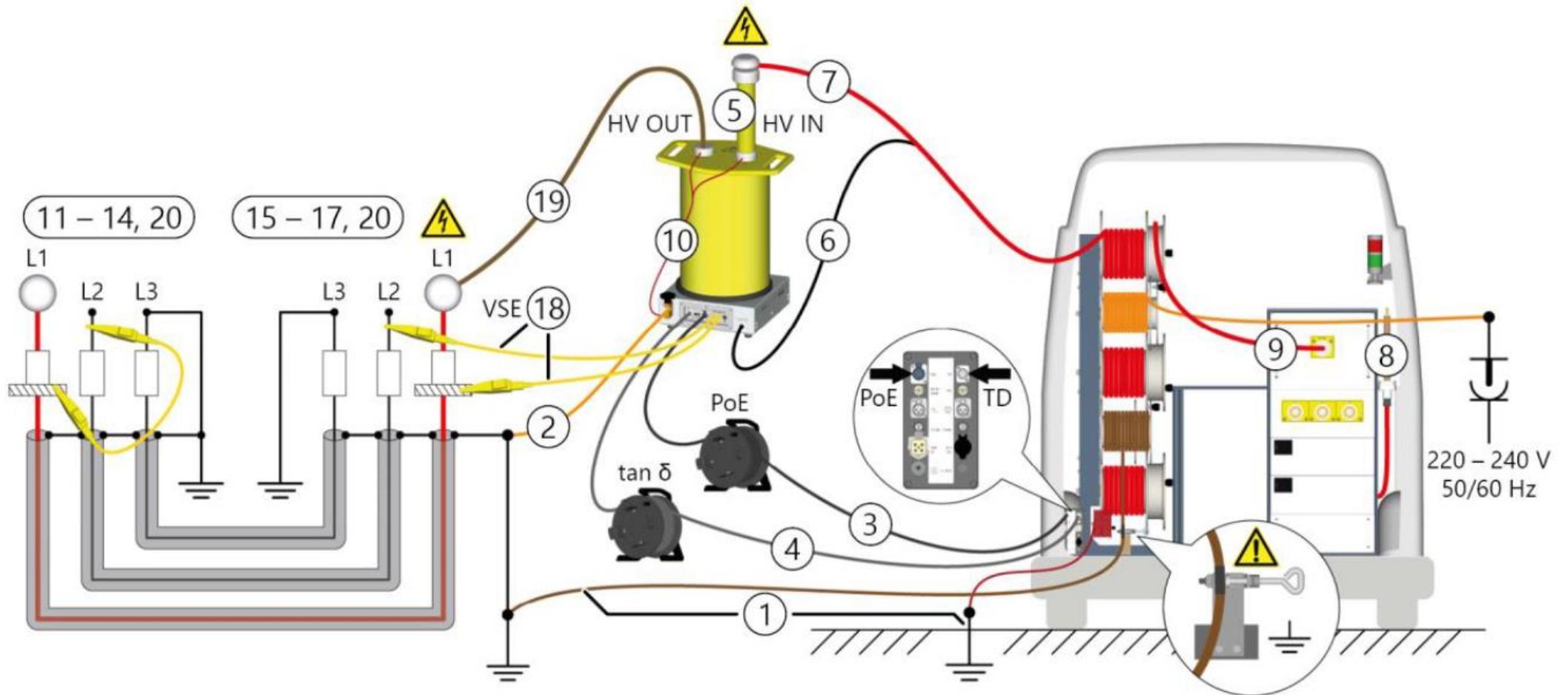


Anschluss KMW TE-Messung



Anschluss KMW

TD Messung über PD-TaD



TE - Nachortung

tracy

- Teilentladungsinduktor
- Vergleich mit TE – Vorortung
- Tragbar, akkubetrieben
- Für Kabel und Kabelgarnituren
- Induktive Signaleinkopplung
- Vermeidung kostenintensiver Fehlauswechslungen



Kabelprüf- und Diagnoseverfahren

Anwendungsschritte



Beispiel möglicher Anwendungsschritte für eine effiziente Kabelprüfung und Diagnose anhand der Kombination verschiedener Methoden und Geräte

TE - Schnellerkennung

PD - SGS

- Erste schnelle Zustandsbewertung von Schaltanlagen und Kabelgarnituren im Netzbetrieb
- 2 Sensoren integriert:
 - TEV-Sensor erfasst TE an den Oberflächen von Schaltanlagen
 - Akustischer Sensor erfasst TE innerhalb von Schaltanlagen
- Mehr Sicherheit für Prüfpersonal – Prüfung der Schaltanlage auf Sicherheitsrisiken vor Arbeitsbeginn



Online - TE - Messung

liona

- Online-TE-Schnelltest
- Automatische TE-Erkennung während des normalen Netzbetriebs
- Automatische TE-Identifizierung
- 4 Messkanäle
- Online-TE-Ortung
- Messung der Kabellänge

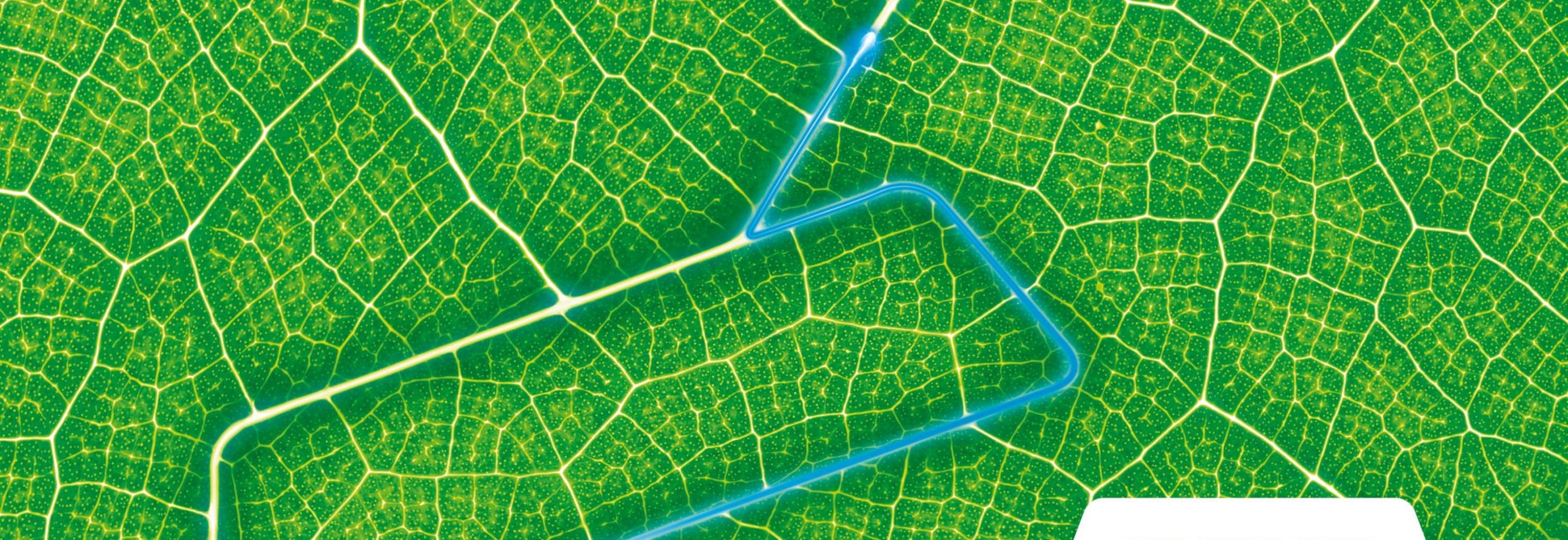


Offline - TE - Messung

PD-TaD 62

- Teilentladungsmessung und -ortung
- VLF-Kabelprüfung mit paralleler Teilentladungsmessung
- parallele Teilentladungs- und Verlustfaktormessung





Kabeldiagnostik

Kabeldiagnostik an Mittelspannungskabelsystemen

Seminar-Nr. 1930

Thorsten Schlender, thorsten.schlender@baur-germany.de, 017612979012