

# **Kabeldiagnostik**

**Kabeldiagnostik an Mittelspannungskabelsystemen**

**Seminar-Nr. 1930**



# Schulung Kabeldiagnose

## Inhalt

### Prüf- und Diagnoseverfahren

- Unterschiede Prüfung / Diagnose
- Anwendungsgebiete
- Spannungsquellen und Spannungsformen

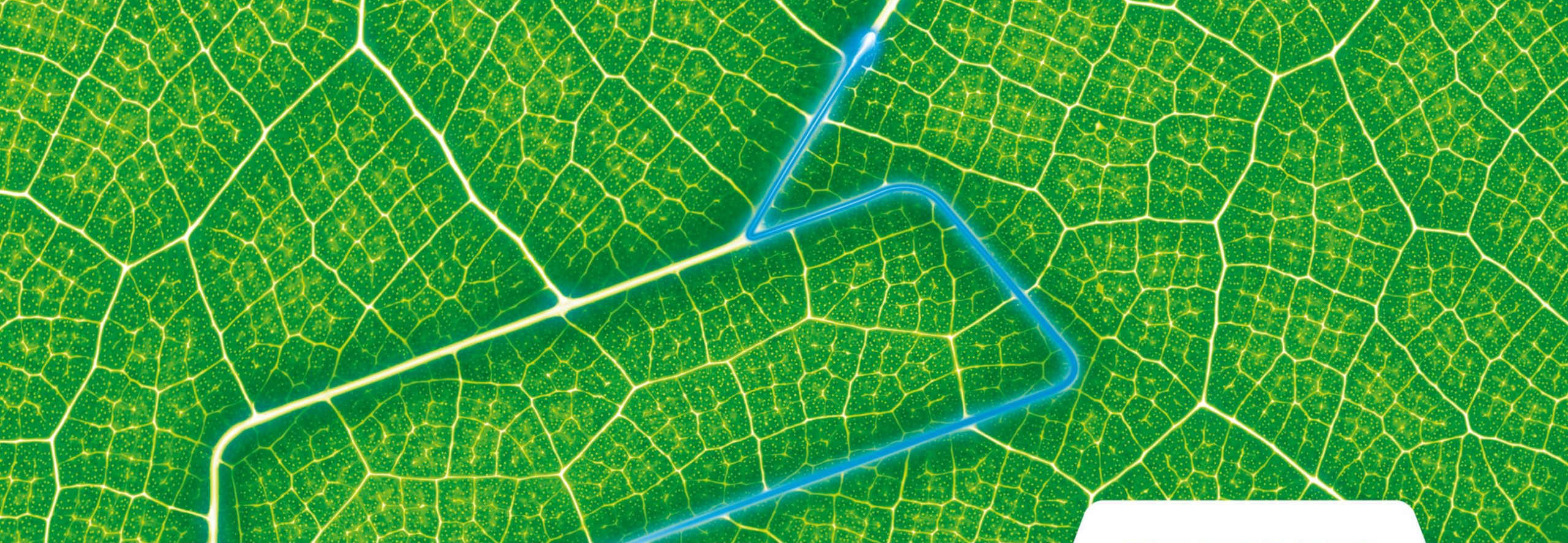
### Verlustfaktormessung

- Ursachen (Betriebsmittel)
- Auswertung
- MWT

### Teilentladungsmessung

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



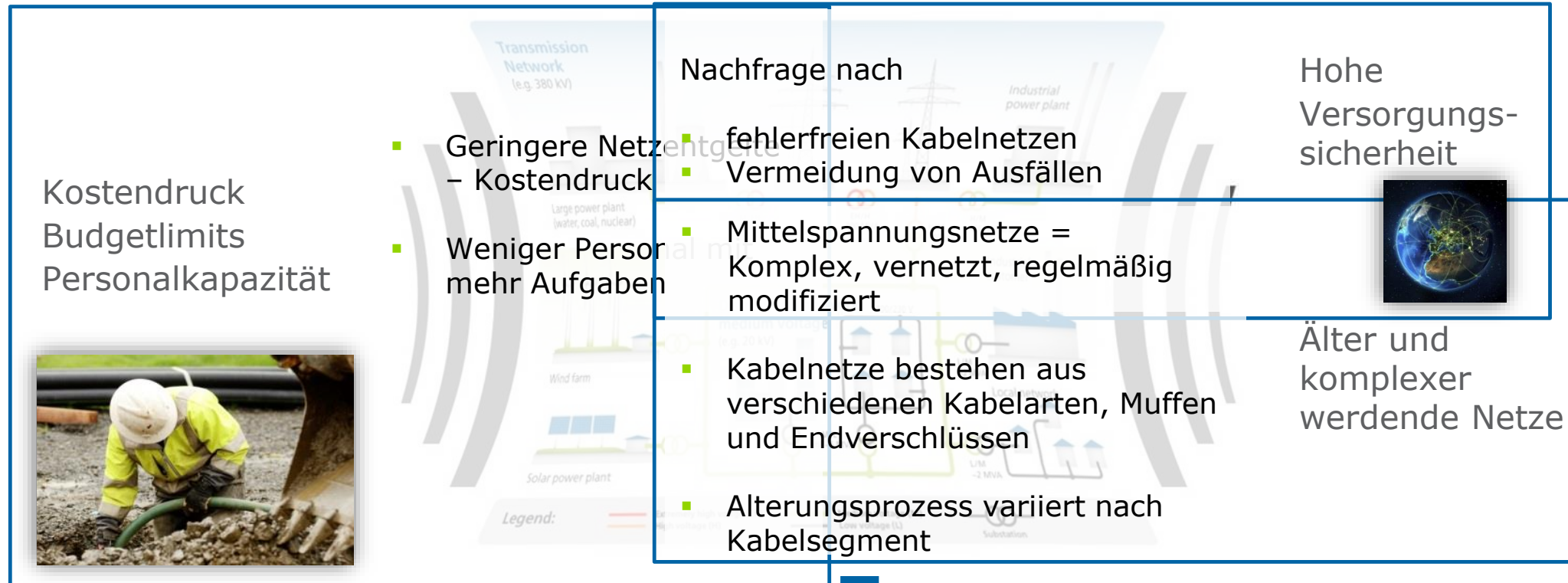


## **Kabeldiagnostik**

**Prüf- und Diagnoseverfahren**



# Spannungsfeld der Netzbetreiber



**Zustandsorientierte Instandhaltung**

smart✓testing

## 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



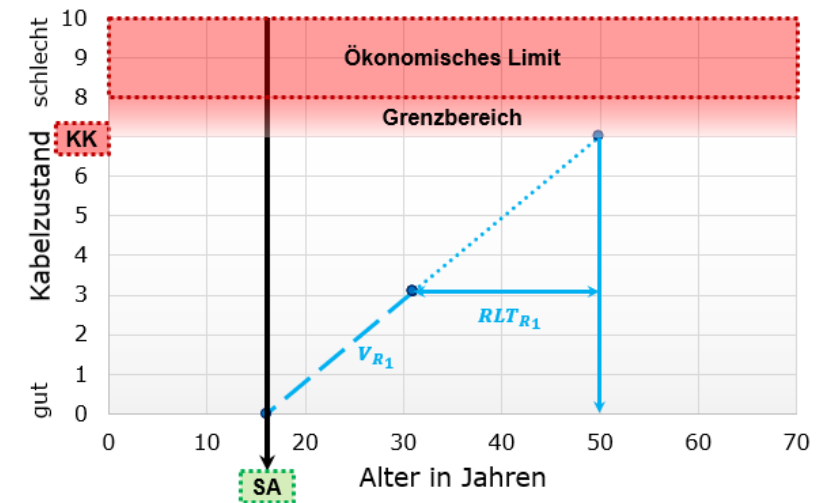
## Zustandsorientierte Instandhaltung

Betriebsgealterte Kabel

### Zustandsorientierte (präventive) Wartung

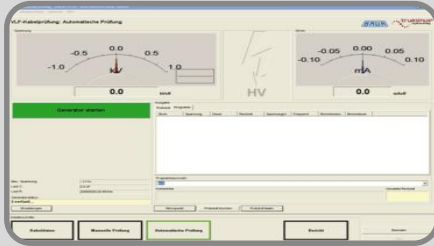
Informationen zum  
Netzzustand

- Trend-Analyse
- macht Instandhaltungsplanungen möglich



**smart**✓testing

# 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



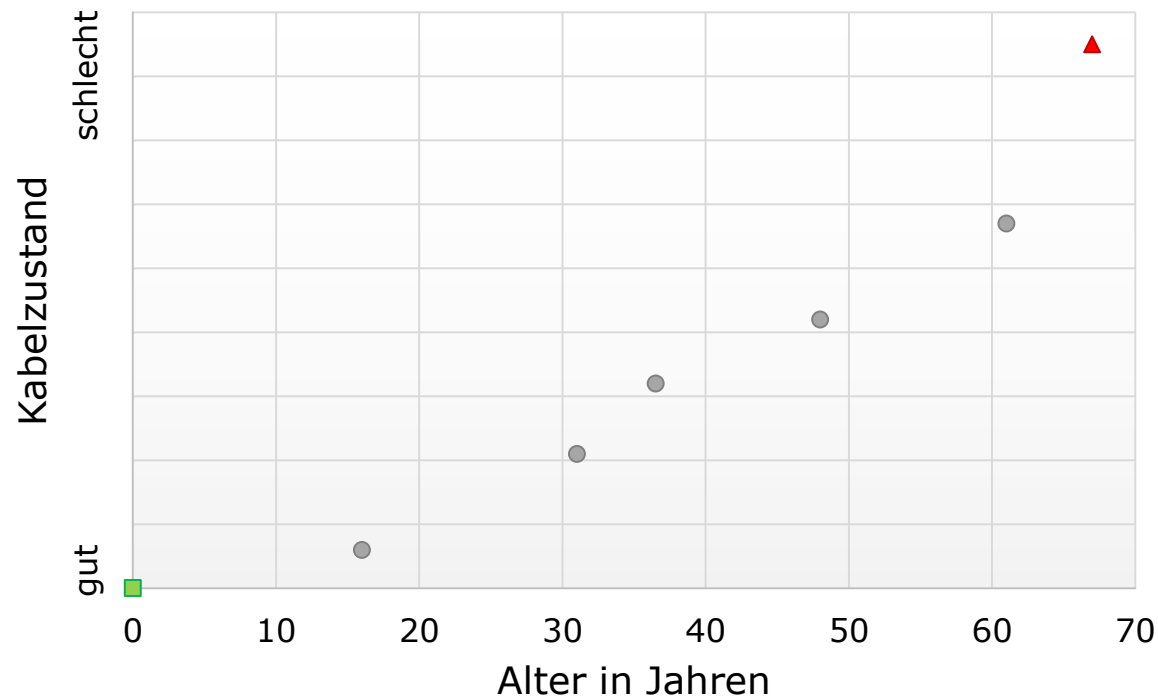
## Teilentladungsmessung (TE oder PD)

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



# Prüf- und Diagnoseverfahren

## Asset Management von Kabelstrecken

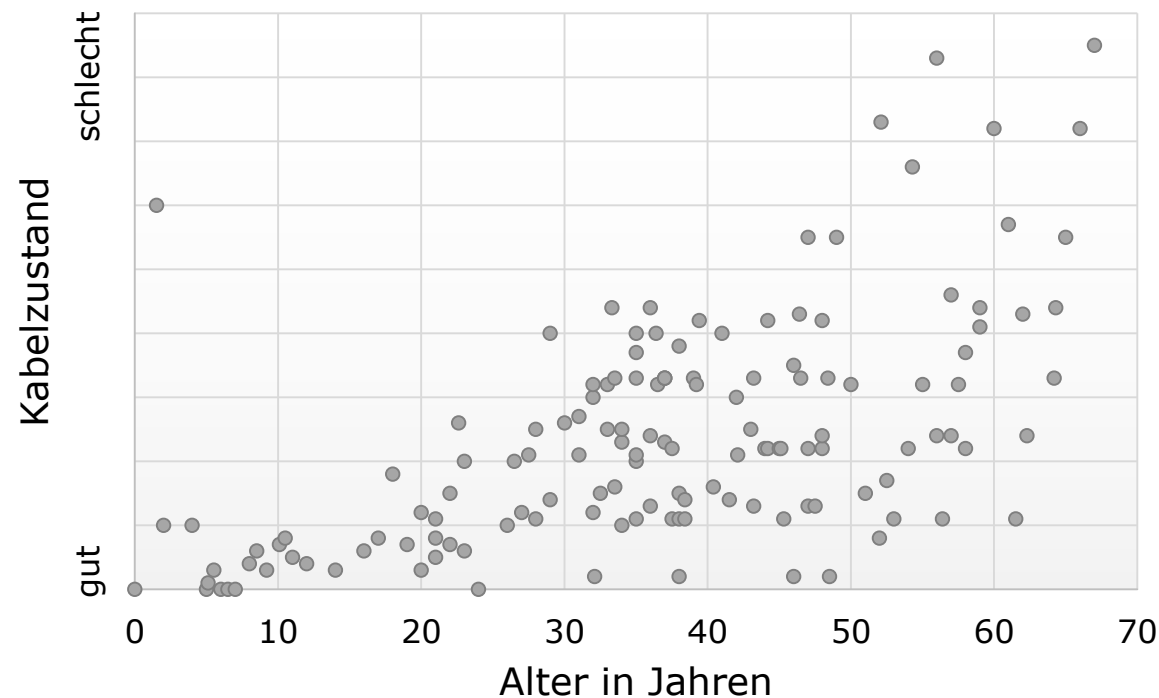


### Kabelzustand abhängig von:

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

# Prüf- und Diagnoseverfahren

## Asset Management von Kabelstrecken



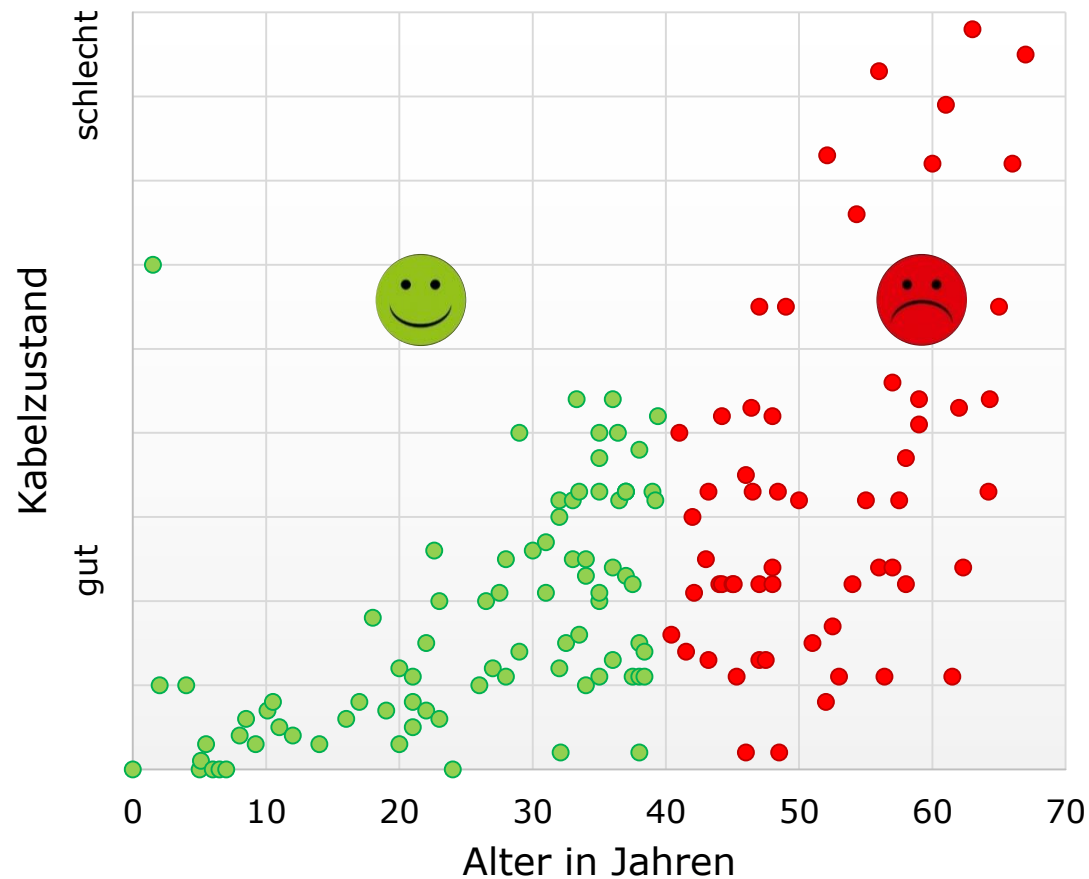
### Kabelzustand abhängig von:

- 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

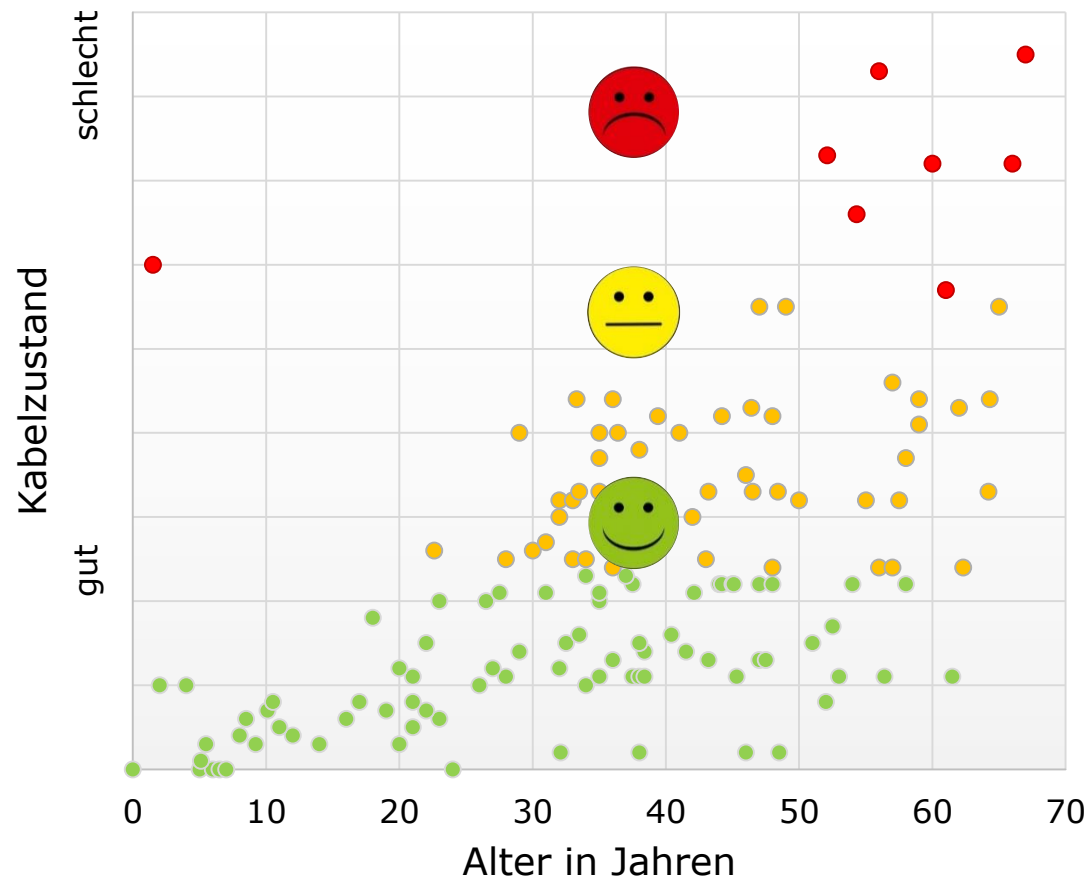


## Nachteile:

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

# Asset Management von Kabelstrecken

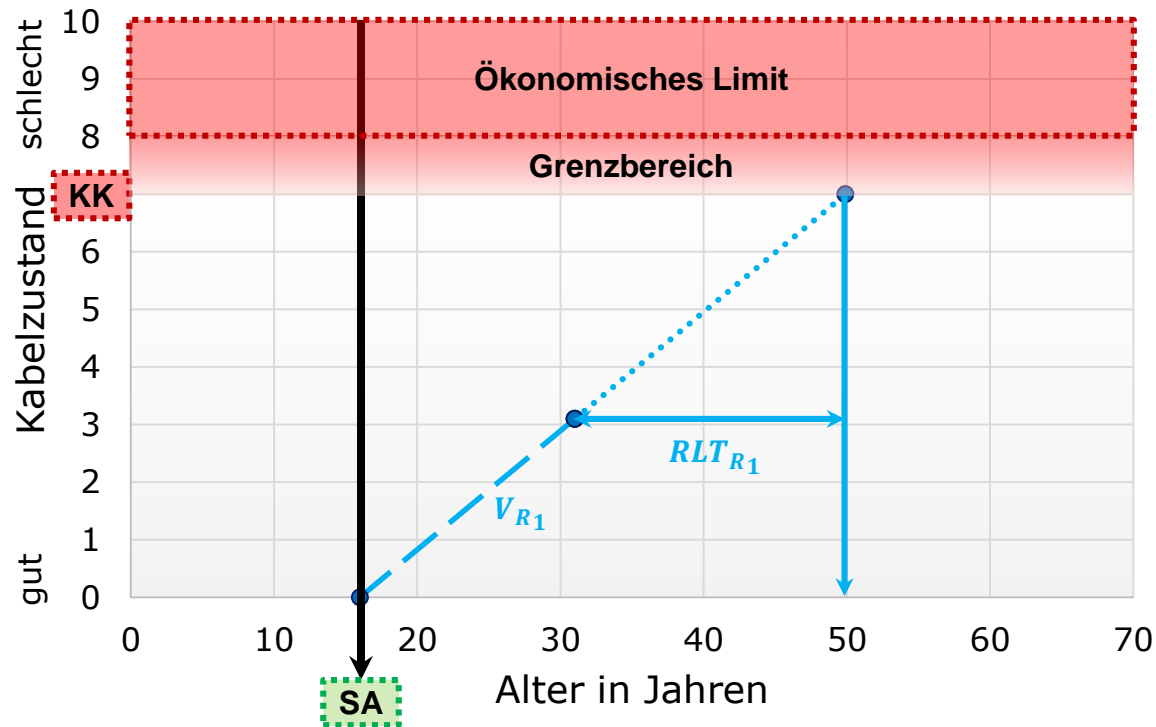
## Zustandsbewertung durch Kabeldiagnose



### 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

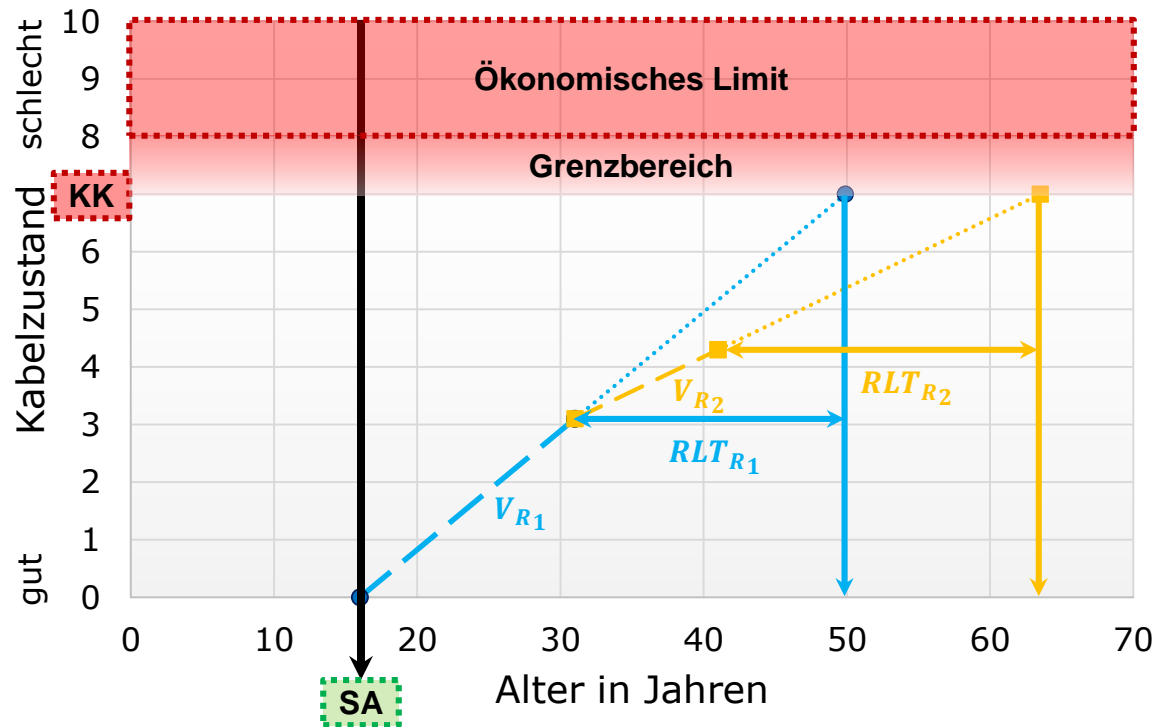




- Statistischer Alterungsbeginn (SA): 16 a
- Kritischer Kabelzustand (KK): 7
- Erste Kabeldiagnose nach 31 Jahren Betrieb  
Zustand  $R = 3,1$
- Berechnung der stat. Alterungsgeschwindigkeit
- Betriebsalter des Kabels bei Erreichen von KK  
 $BA = 50 \text{ a}$
- Statistische Restlebensdauer nach 1. Messung  
 $RLT_{R1} = 18,9 \text{ a}$

# 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

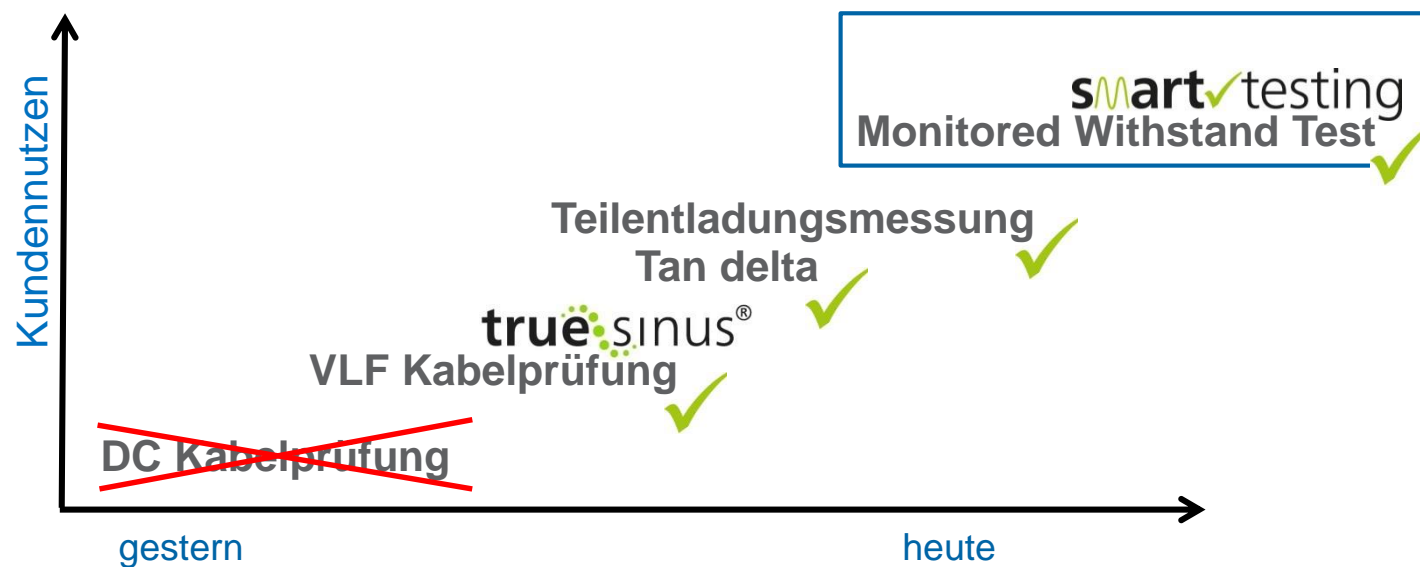
**31.935** Kabelteilstrecken (per September 2018)

### Fehlerrate und Einschätzung

	Neue Kabel ( < 13 a in Betrieb)	Diagnostizierte Kabel	Nicht diagnostizierte Kabel
<b>Fehlerrate</b> (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.

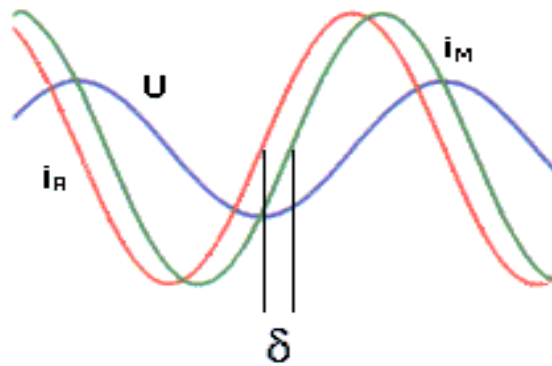
# Messmethoden



# Prüf- und Diagnoseverfahren

VLF-Spannungsquelle

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



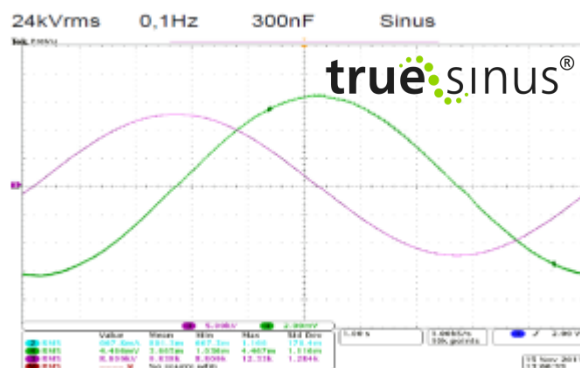
- truesinus® als Voraussetzung für eine präzise Verlustfaktor-Diagnose
- Voraussetzung für paralleles Messen
- Reproduzierbare Verlustfaktor und Teilentladungs-Messungen (Lastunabhängig)
- TE Messergebnisse gut vergleichbar mit TE-Messungen Sinus 50 Hz

**true**•sinus

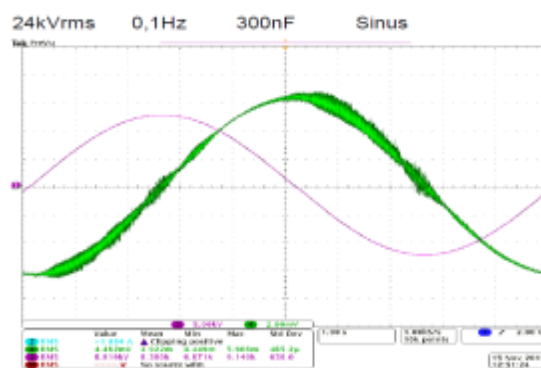
# Prüf- und Diagnoseverfahren

VLF-Spannungsquelle

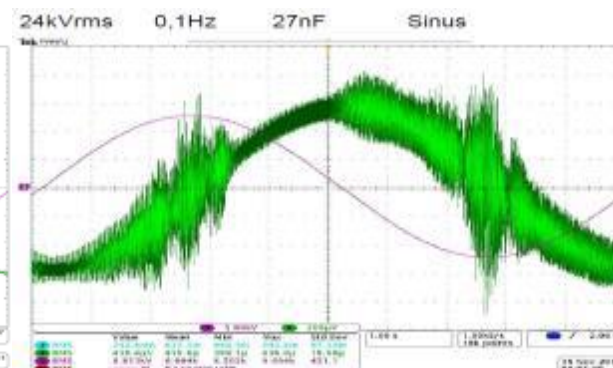
Höchstverzerrung gemäß IEC-Norm:  $\pm 5\%$



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



**Wettbewerb Sinus**  
**Spannung**  
**Ladestrom**  
d > 5 %  
@ 300 nF



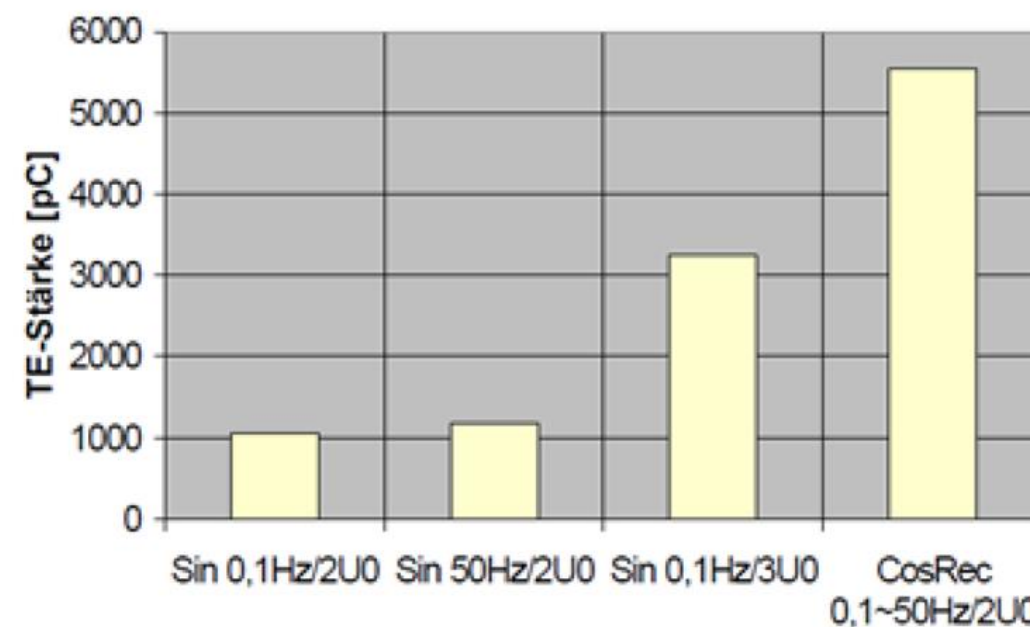
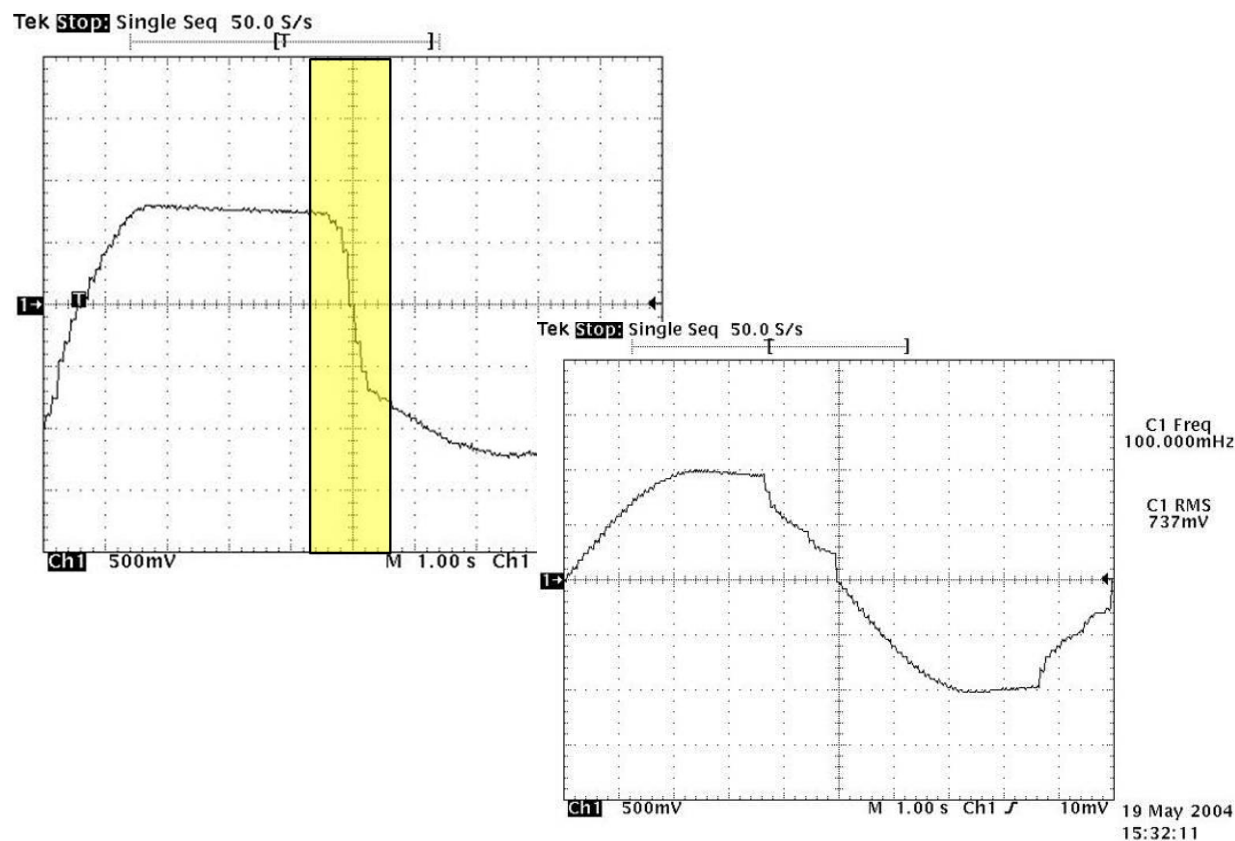
**Wettbewerb Sinus**  
**Spannung**  
**Ladestrom**  
d >> 5 %  
@ 27 nF





# Prüf- und Diagnoseverfahren

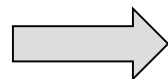
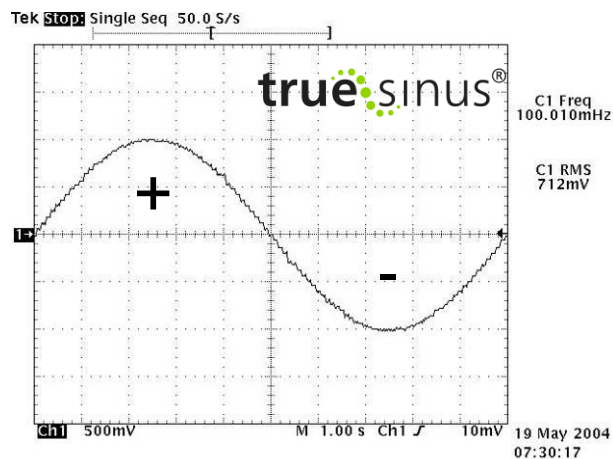
## VLF-Spannungsquelle



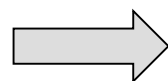
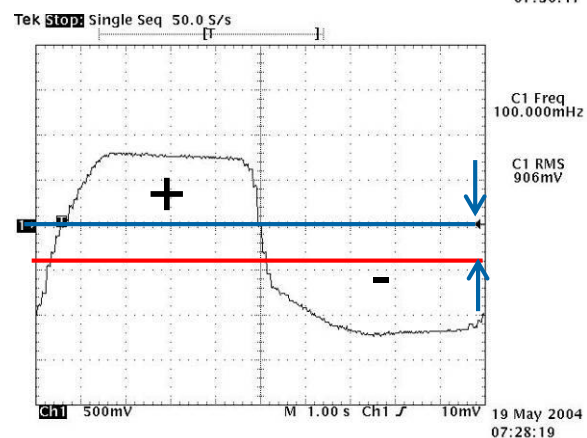
Kalkner, Rethmeier, Pepper, „PD-Testing of Service Aged Joints in XLPE-insulated Medium Voltage Cables at Test Voltages with Variable Shape and Frequency“, International Symposium of High Voltage Engineering, Niederlande, 2003

# Prüf- und Diagnoseverfahren

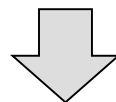
truesinus® VLF-Spannungsquelle



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



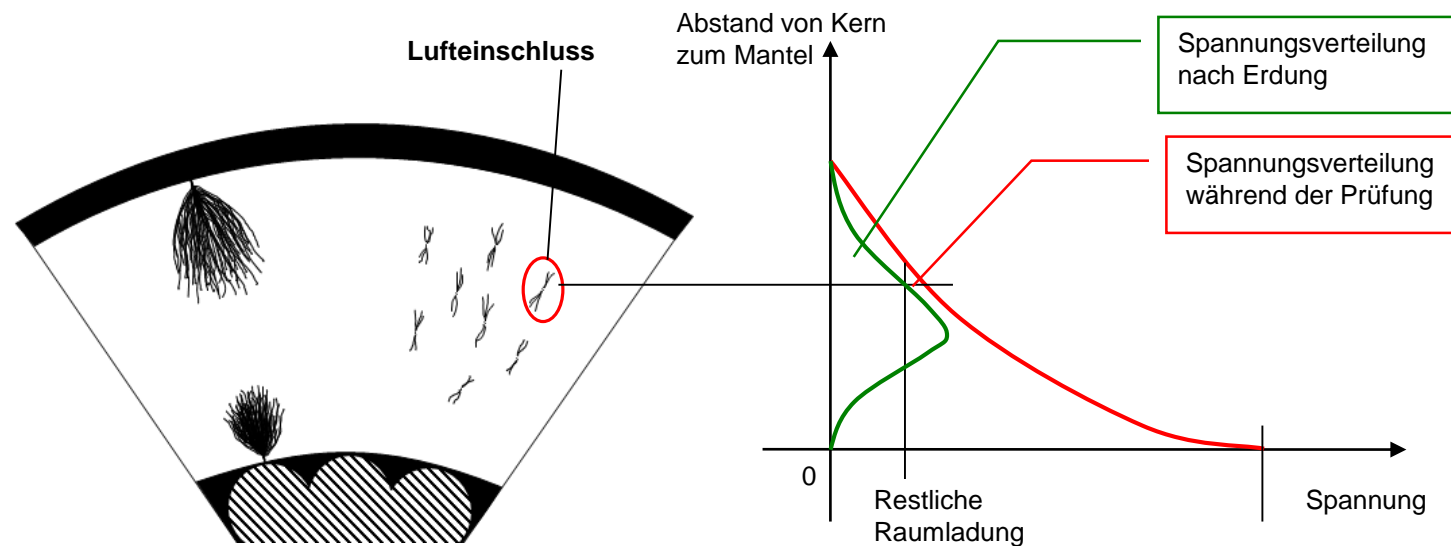
- $(+) < (-)$
- DC-Offset



**Raumladungszonen!**

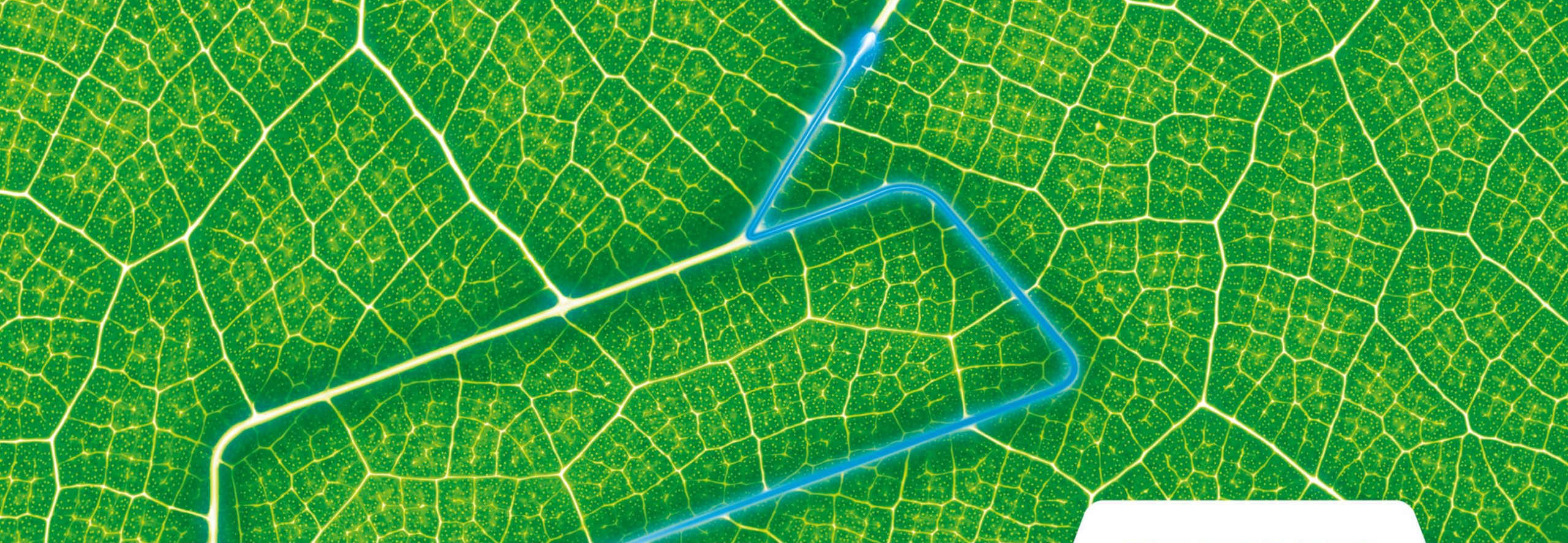
# Prüf- und Diagnoseverfahren

truesinus® VLF-Spannungsquelle



Hohe Feldbeanspruchung durch  
Raumladungszonen



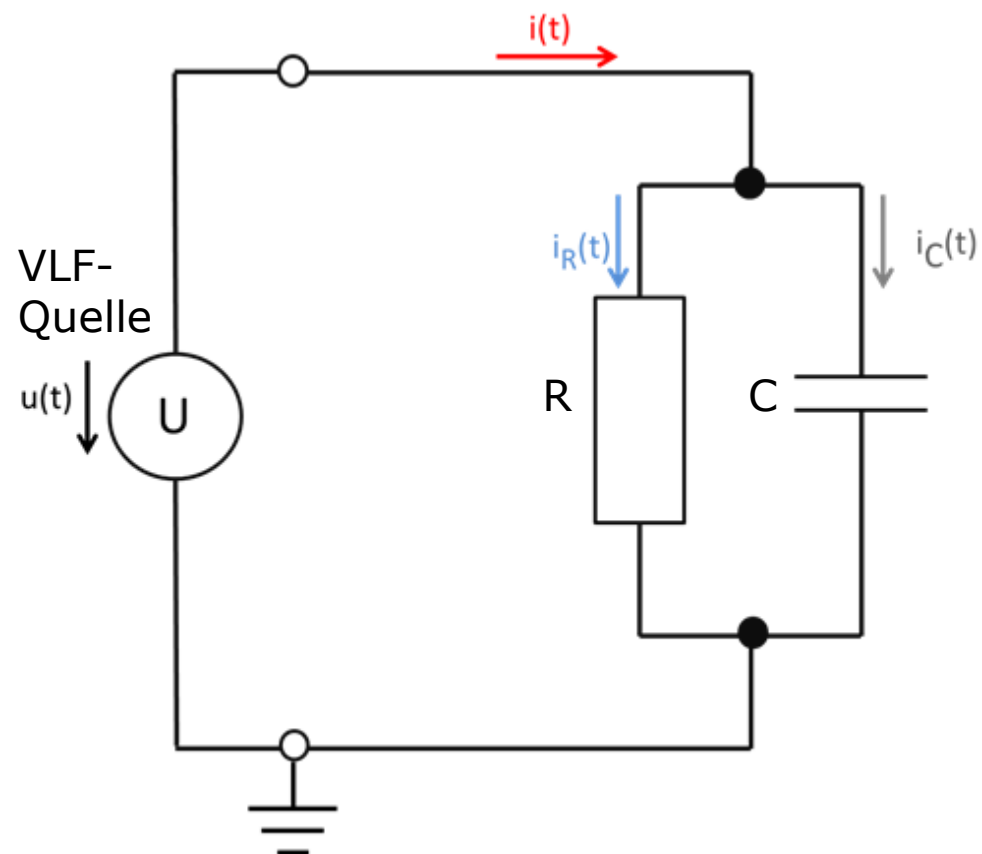


**Kabeldiagnostik**  
Verlustfaktormessung

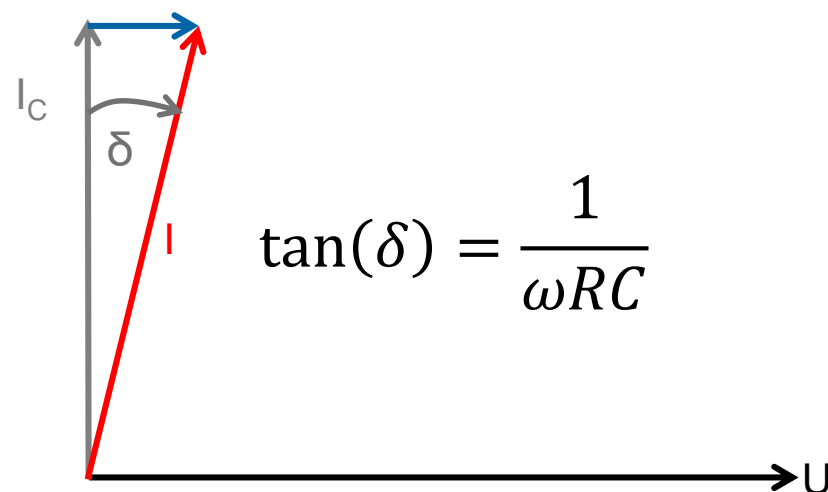


# Verlustfaktormessung

## Physikalische Grundlagen



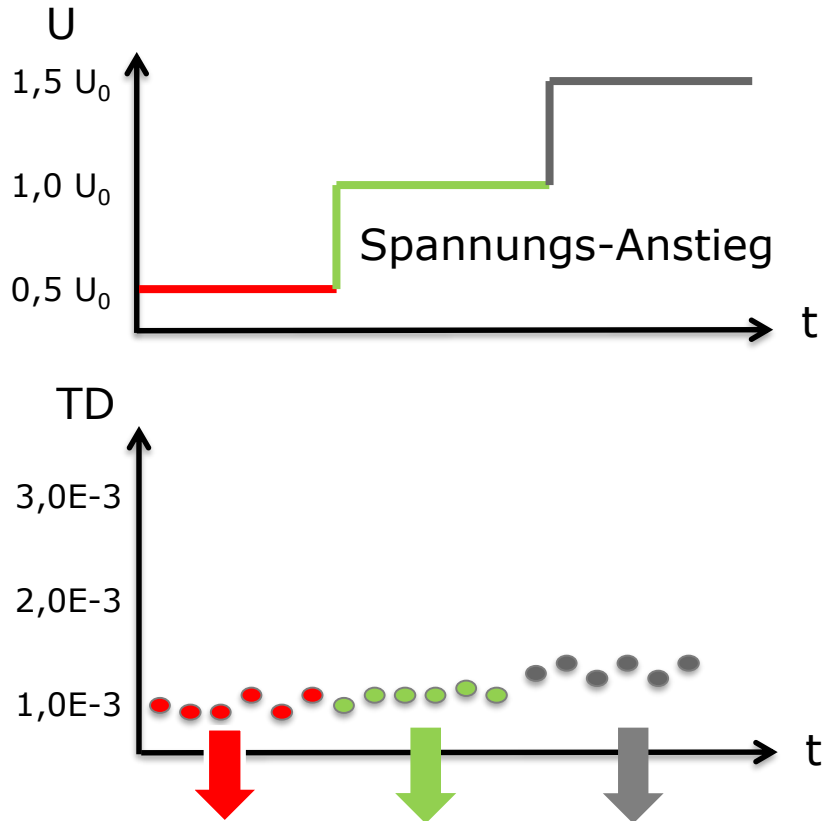
Phasendiagramm:



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

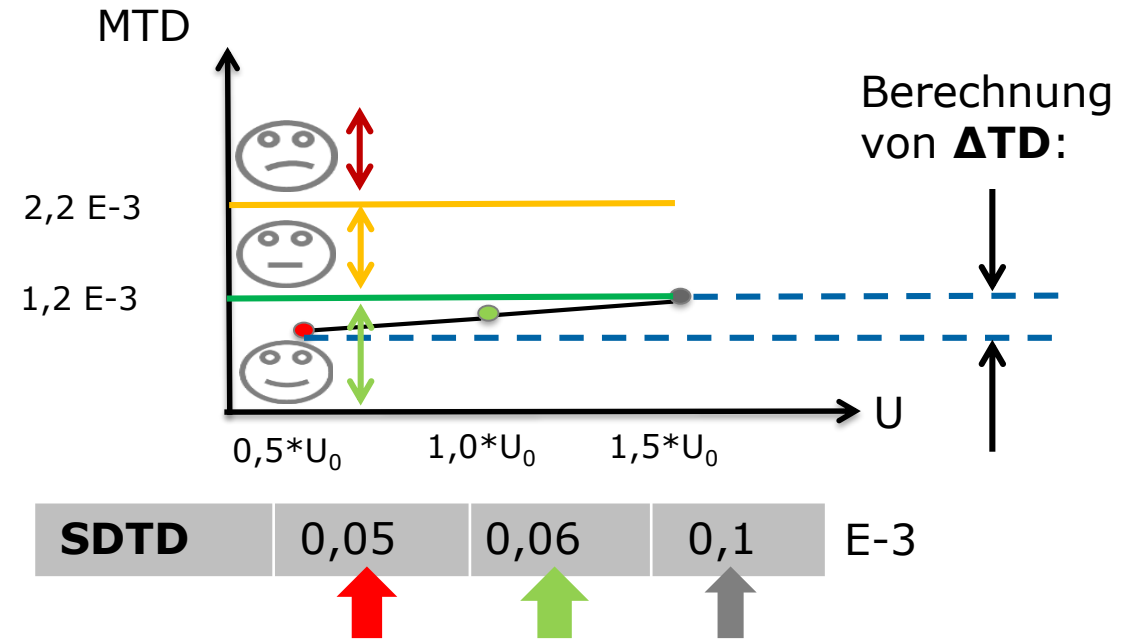
# Messablauf und Parameter

## Ramp-Up-Phase



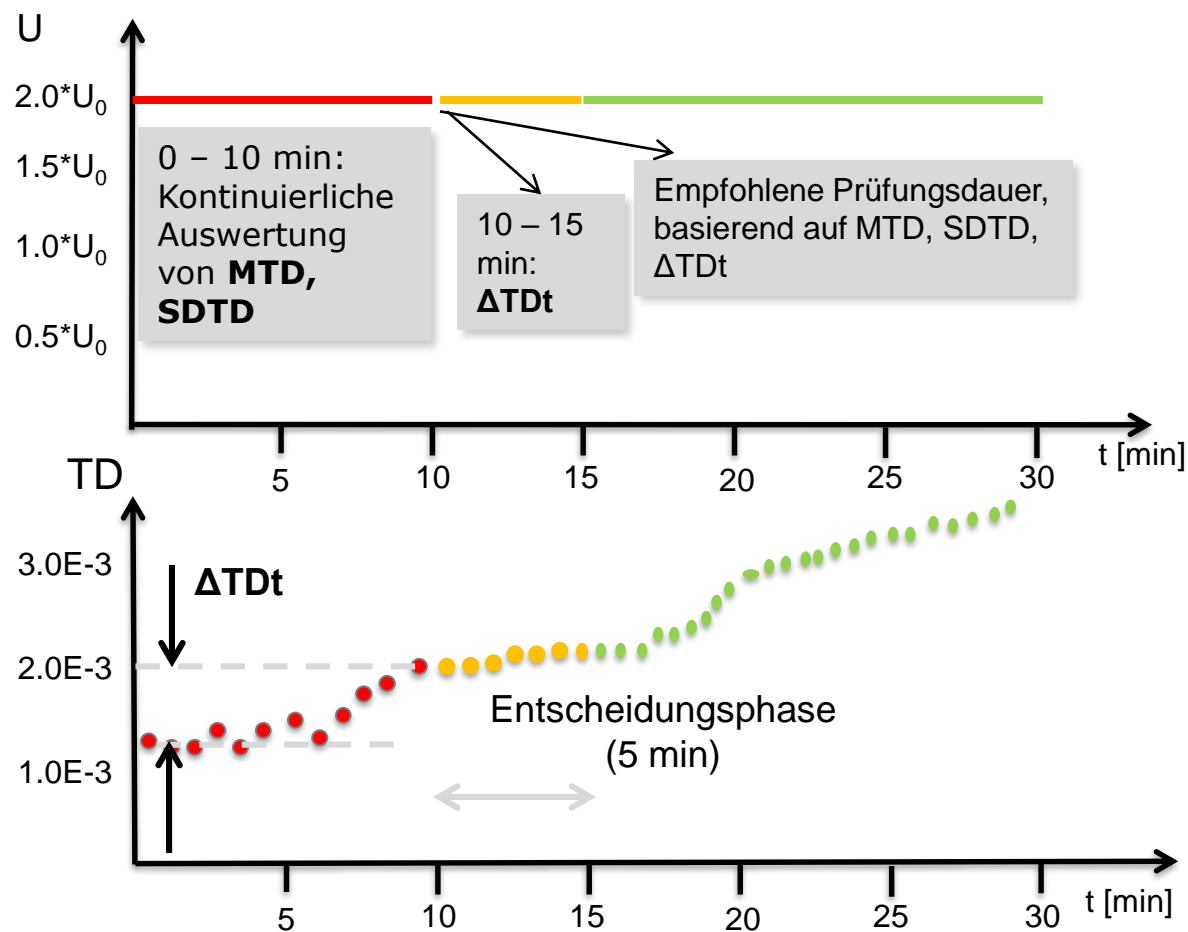
- Berechnung des mittleren TD (**MTD**) und darstellen MTD vs. Prüfspannung
- Berechnung der Standardabweichung (**SDTD**)

➔ Kontinuierliche Überwachung von **3 Kriterien (MTD, SDTD,  $\Delta$ TD)** gegen definierte Schwellwerte



# Messablauf und Parameter

## MWT-Phase



➔ Kontinuierliche Überwachung von **3 Kriterien (MTD, SDTD,  $\Delta TD$ )** gegen definierte Schwellwerte



Gefährdet

Betriebsgealtert

Gut

## Empfohlene Prüfungsdauer

60 min

30 min

15 min

# Verlustfaktormessung

## Kriterien

### SDTD - Standardabweichung

- Stabilität über Zeit
- Trendanalyse

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

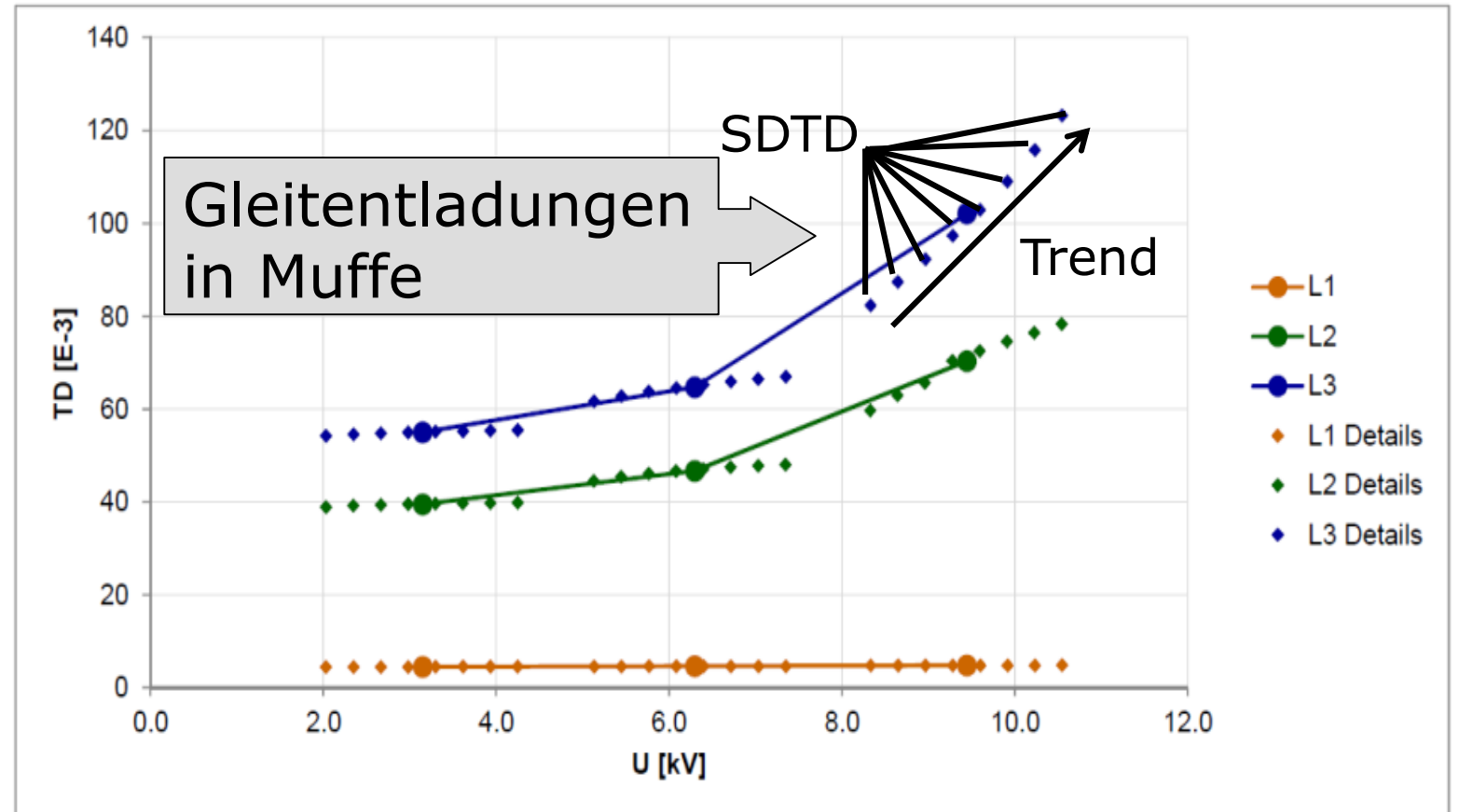
### Ansteigend:

- Innere Teilentladungen
- Tracking
- Water-Trees

### Abfallend:

- Nasse Muffen

Ramp-up curve





# Verlustfaktormessung

## Kriterien

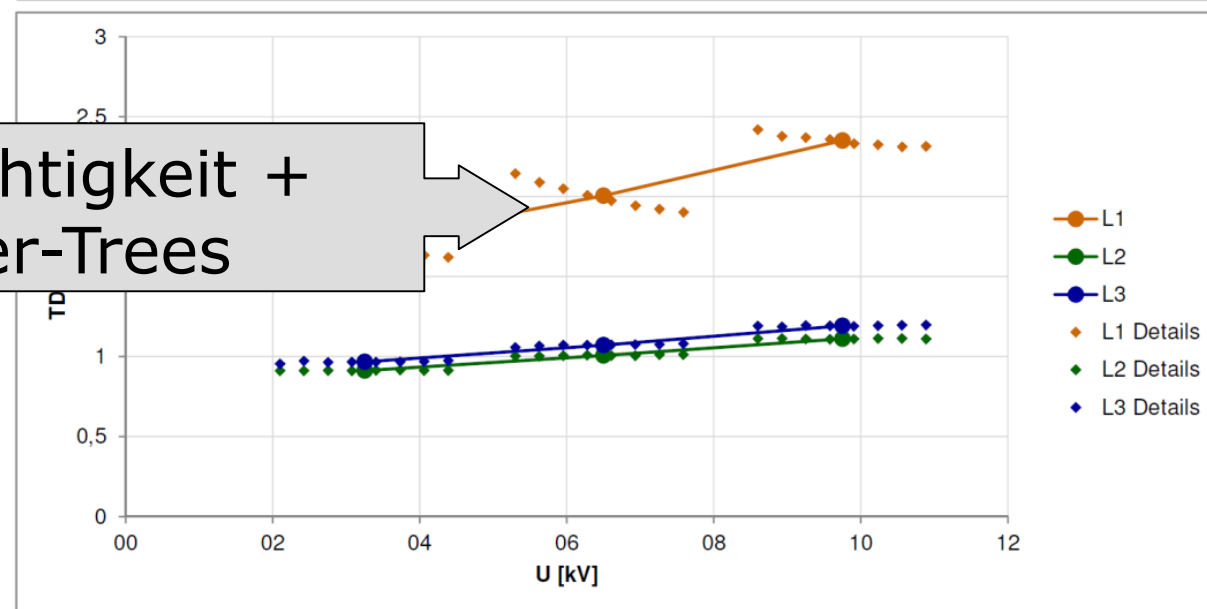
### SDTD - Standardabweichung

Anforderung:  $1 \times 10^{-6}$

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

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

# Verlustfaktormessung

## Kriterien

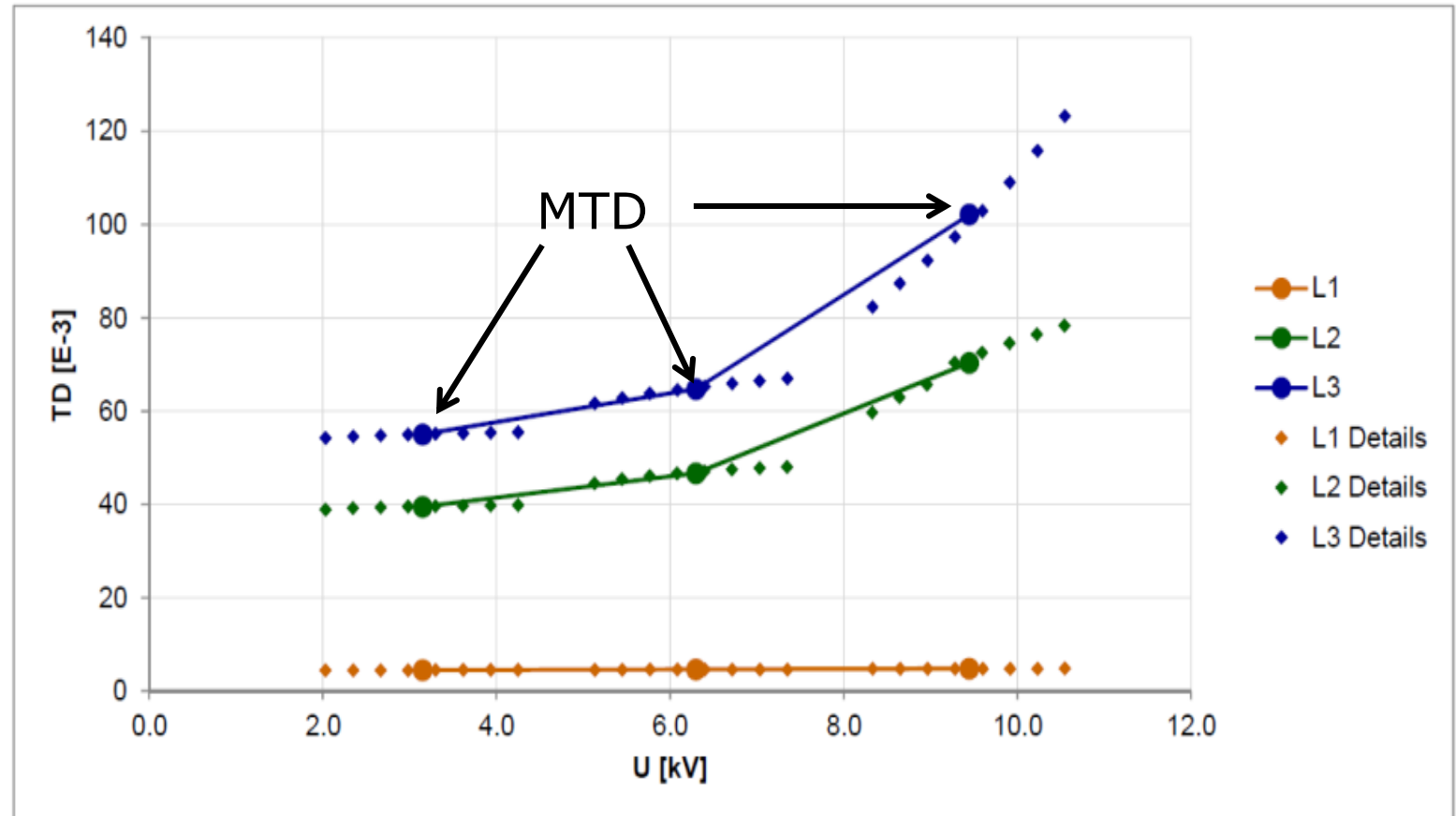
### MTD – Absolutwert

- 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

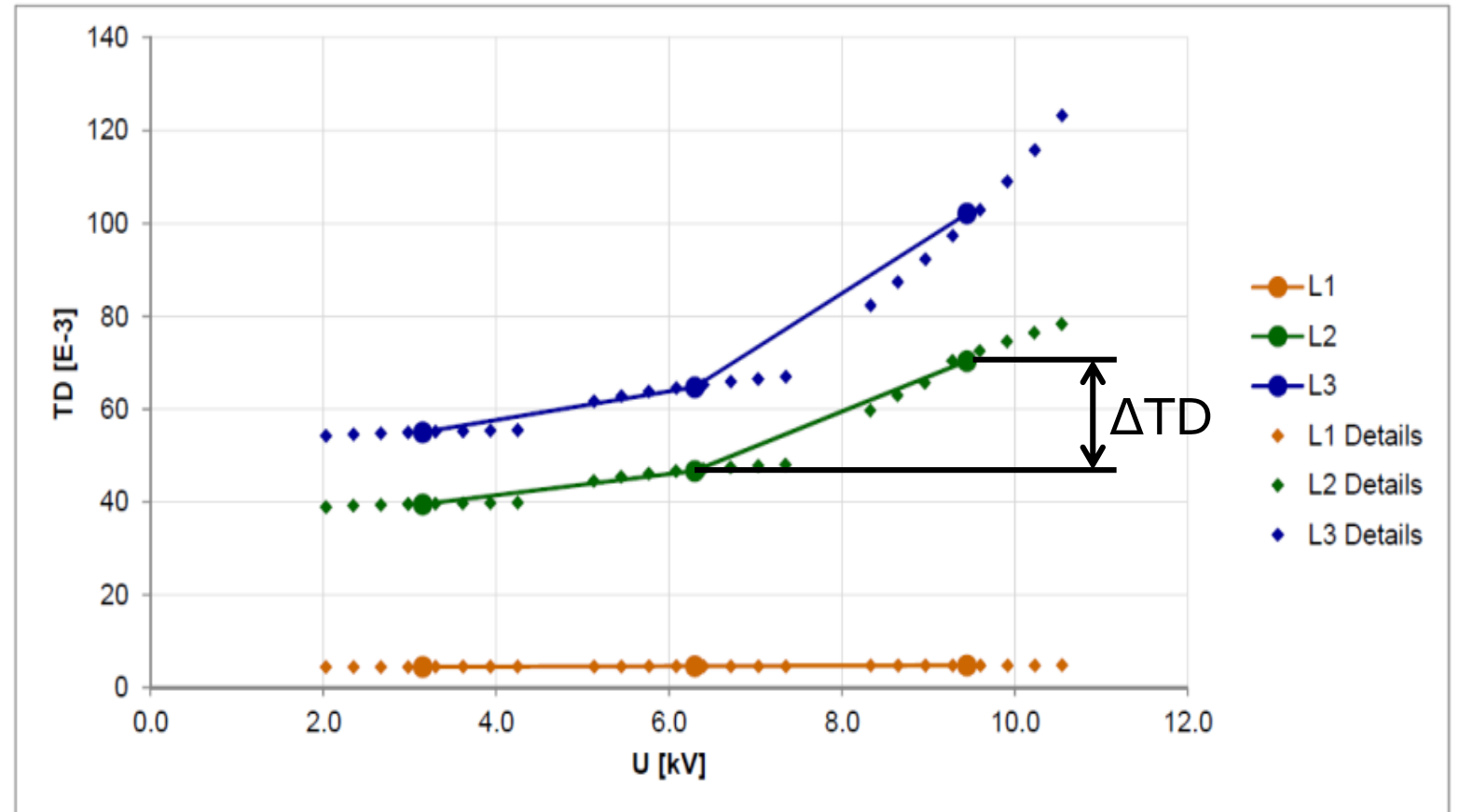
### Ansteigend:

- Water-Trees
- Teilentladungen

### Abfallend:

- Feuchtigkeit
  - Verdampfung
  - Polarisation
  - Hysteresekurve
- Teilentladungen

Ramp-up curve





# Verlustfaktormessung

## Kriterien

### $\Delta TD - MTD (U)$

- Positiv
- Negativ
- Knick

Water-Trees +  
gealtertes Massekabel

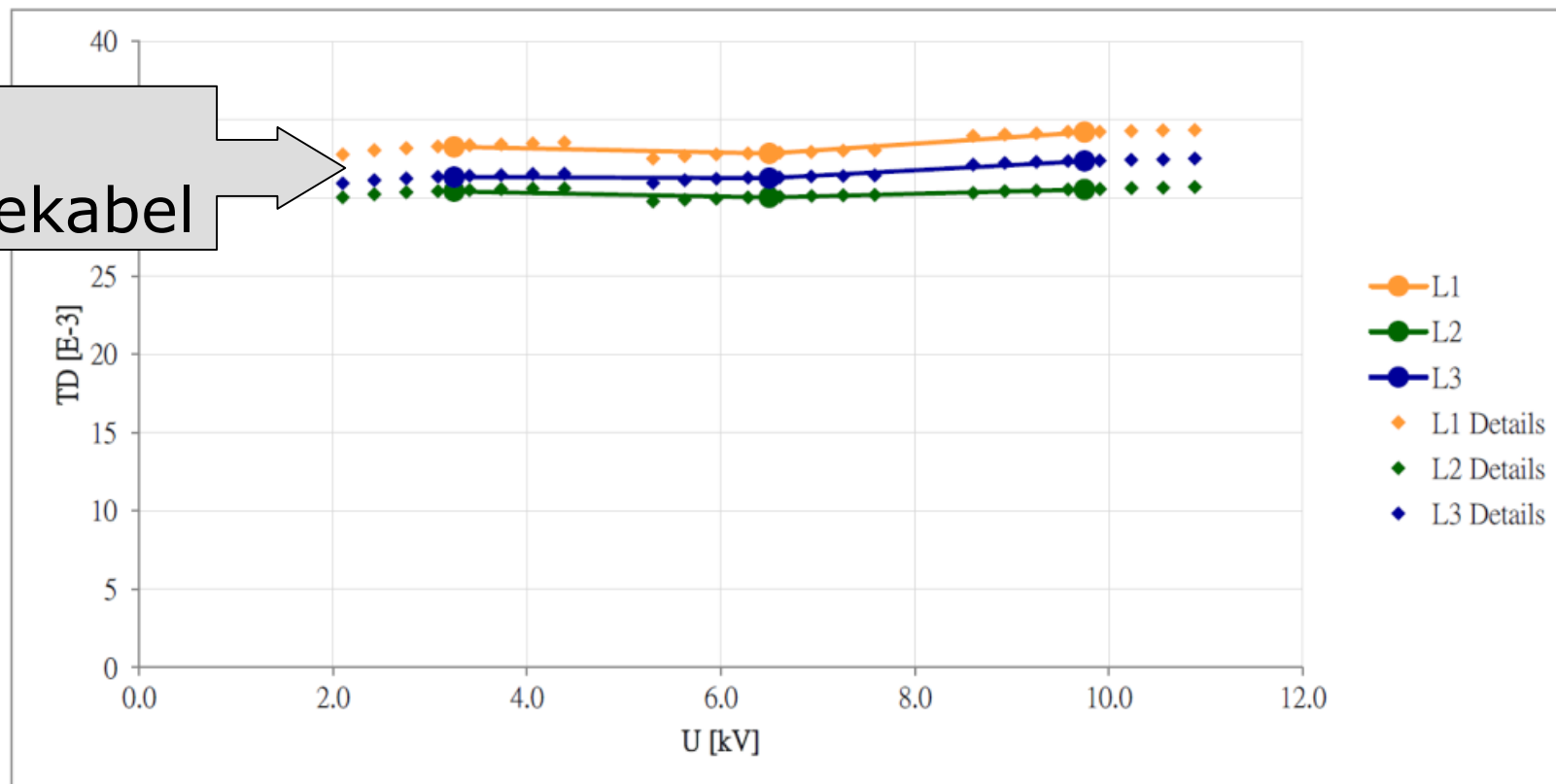
### Ansteigend:

- Water-Trees (+Trend + $\Delta TD$ )
- Teilentladungen

### Abfallend:

- Feuchtigkeit (- $\Delta TD$ )
  - Verdampfung
  - Polarisation
  - Hysteresekurve
- Teilentladungen

Ramp-up curve



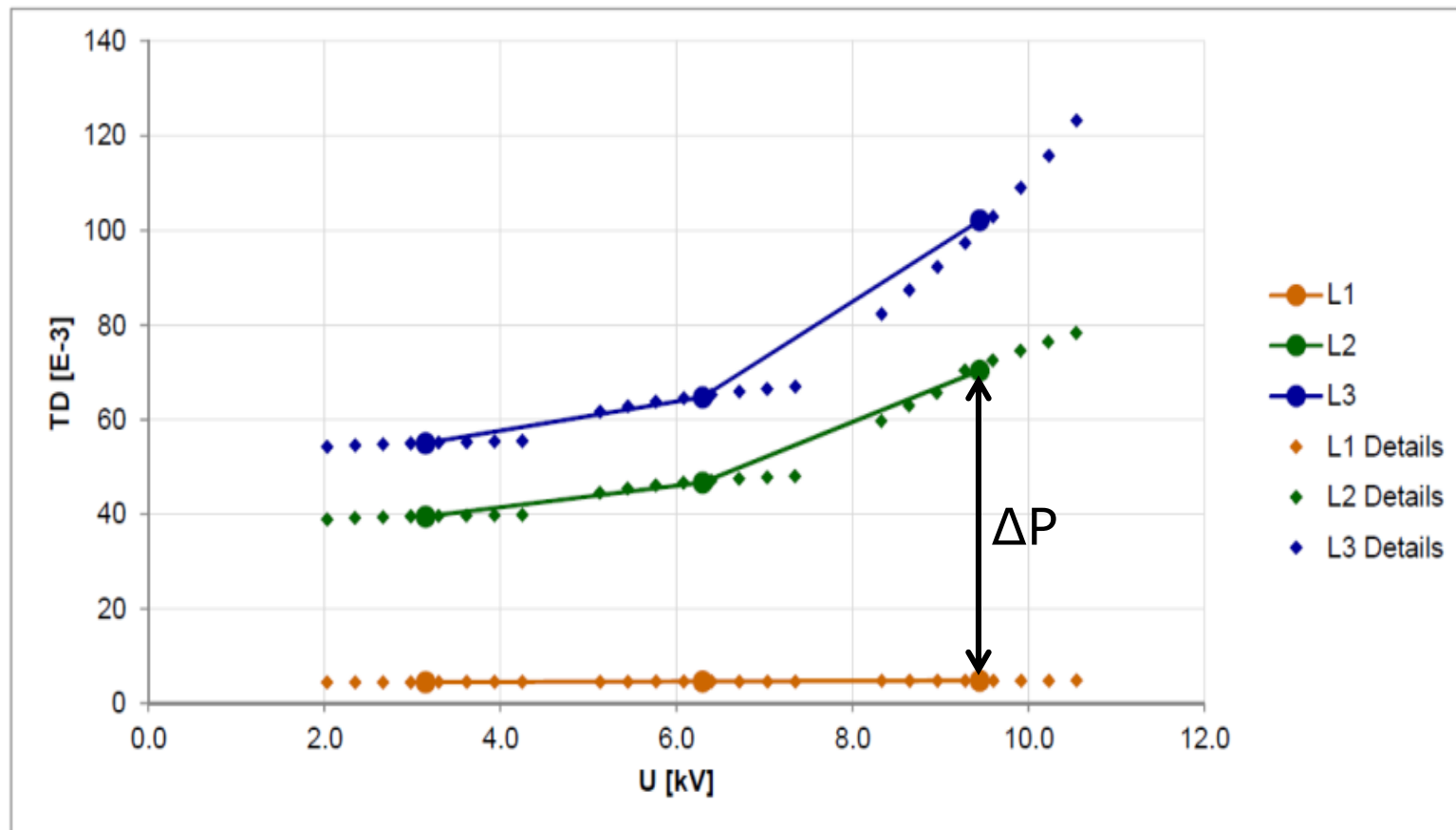
# Verlustfaktormessung

## Kriterien

### $\Delta P$ - Phasenvergleich

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

Ramp-up curve



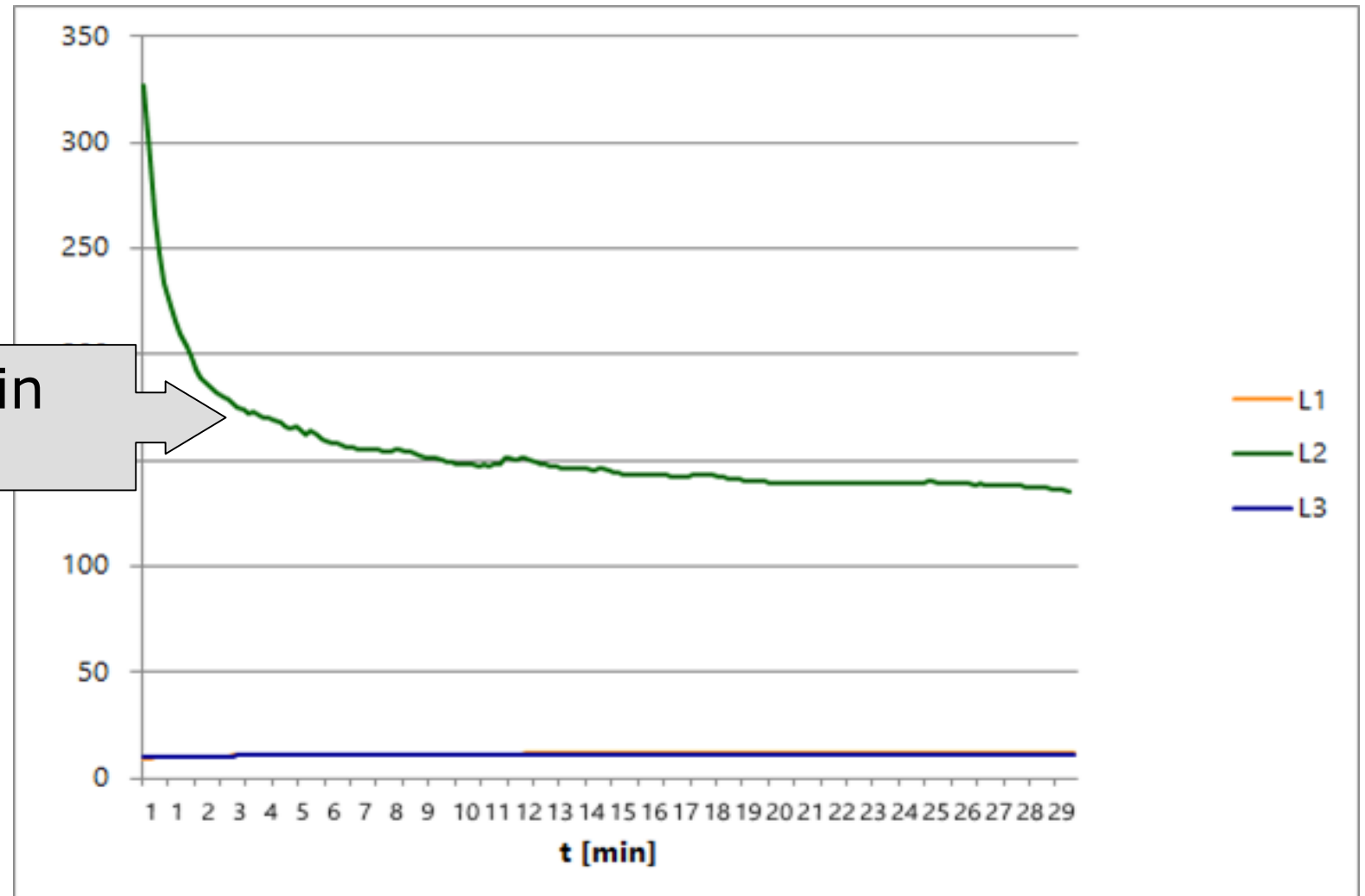
# Verlustfaktormessung

## Kriterien

### MWT – TD(t)

- Phasenvergleich
- Stabilität
- Positiv
- Negativ
- Knick

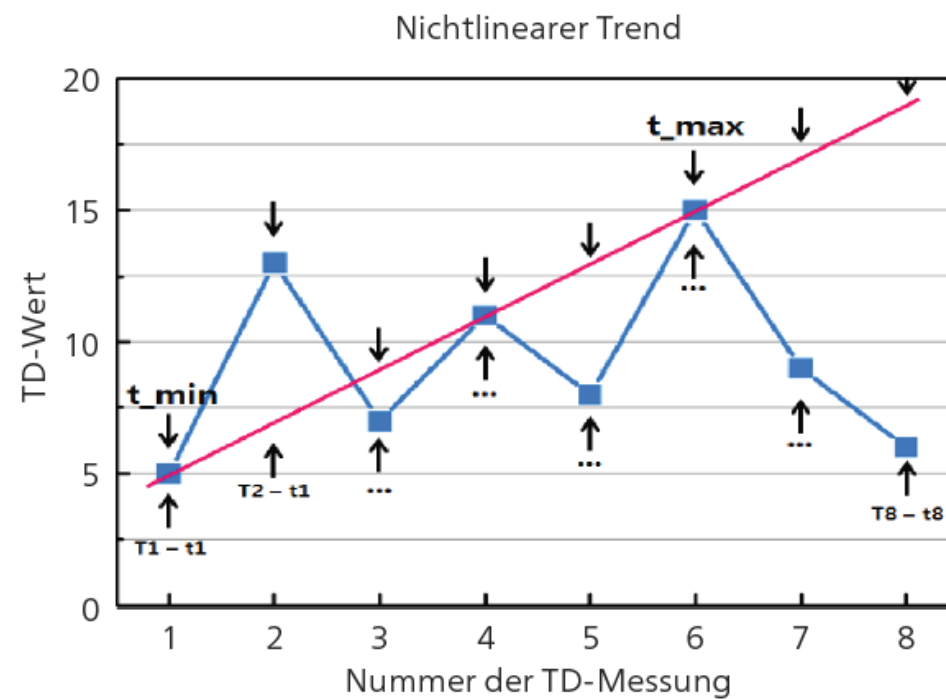
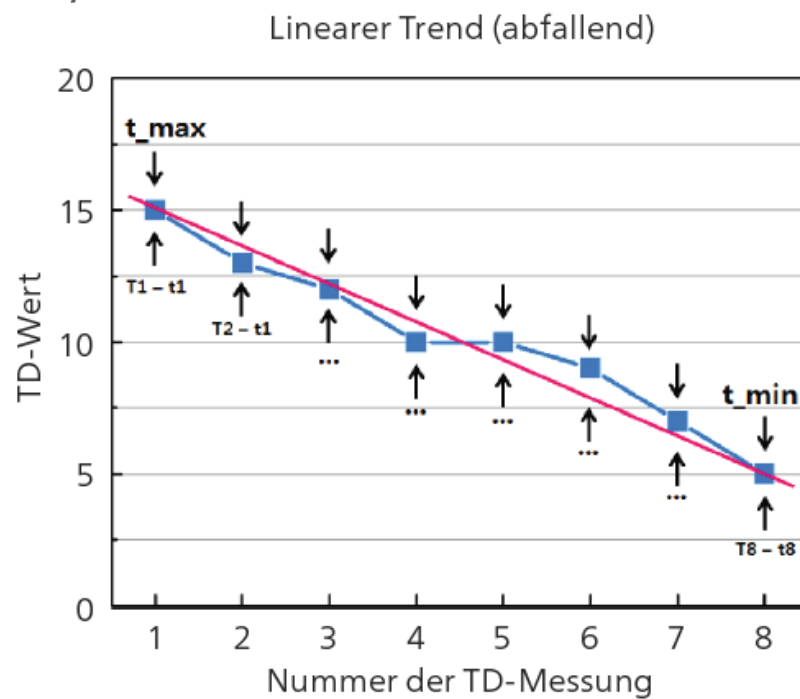
Feuchtigkeit in  
Massekabel



# Kriterien

## TD-Skirt

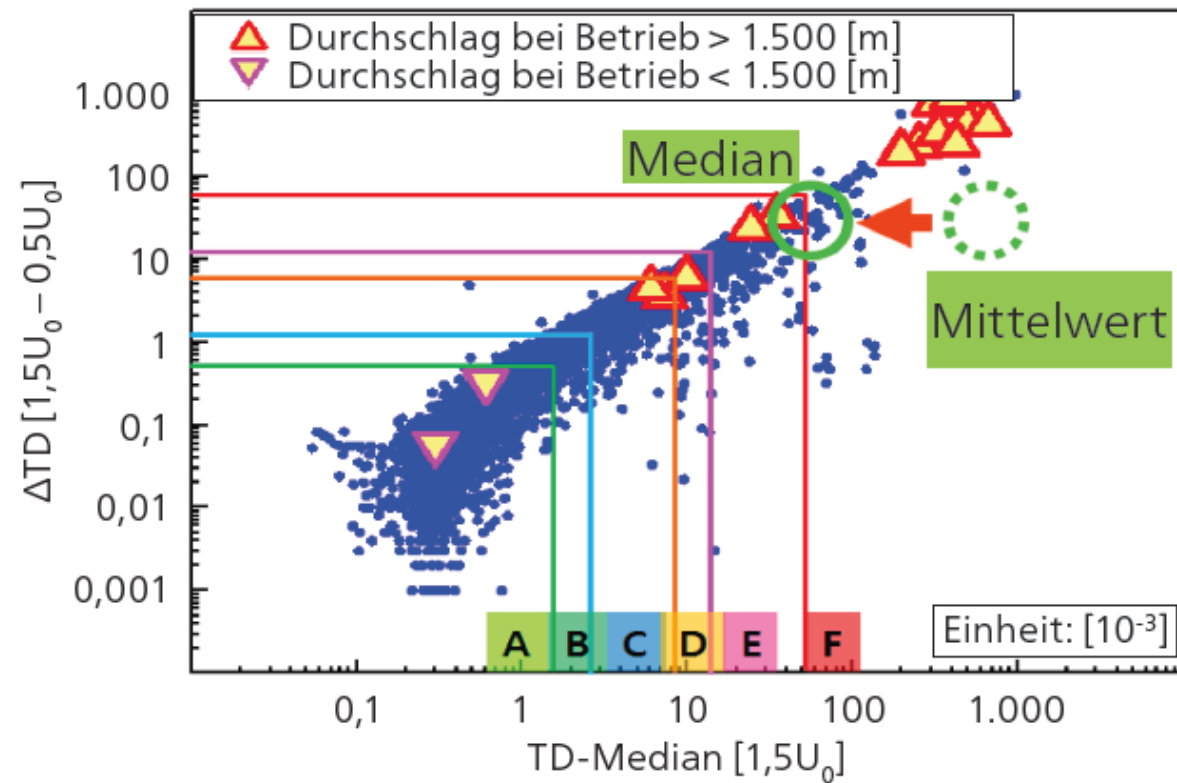
- Trendanalyse



# Kriterien

## TD-Median

- Mittelwert
- Ausschluss unregelmäßiger Werte





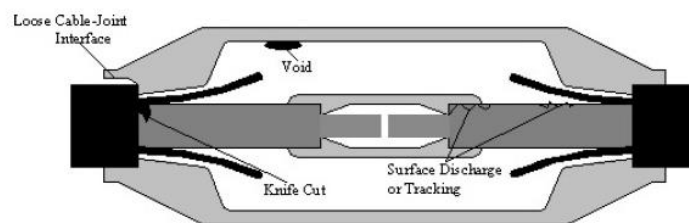
# Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte

Betriebsmittel

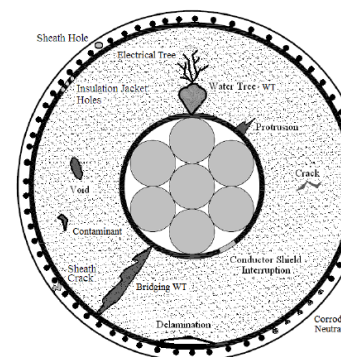
## Endverschlüsse



## Muffen

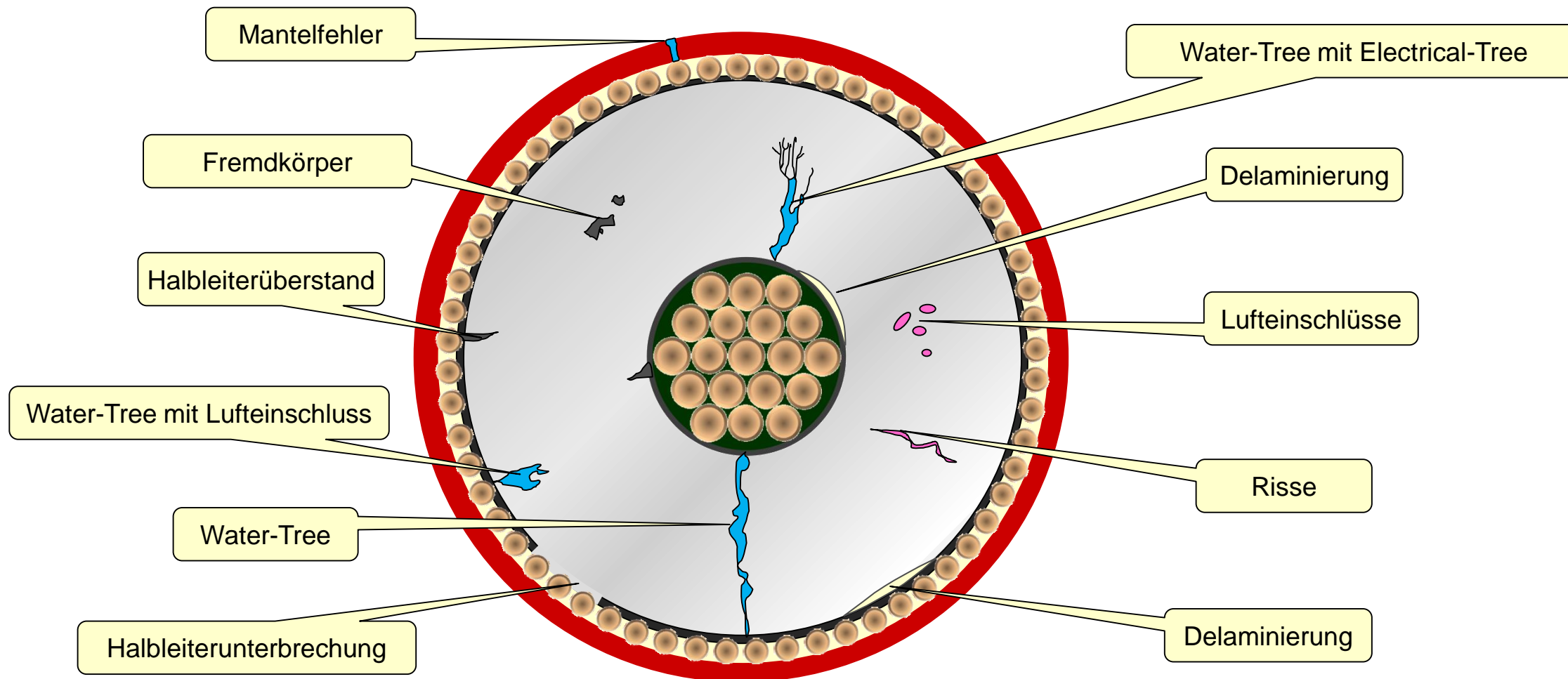


## Kabel



# Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte

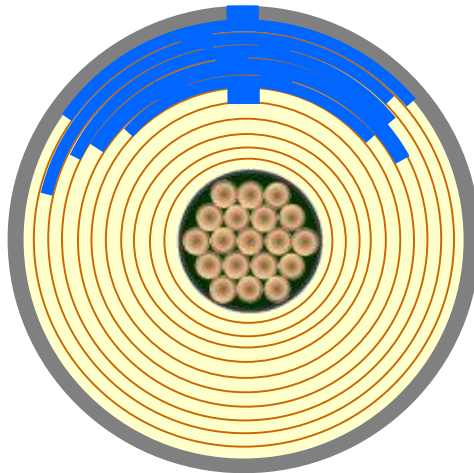
## Kunststoffkabel



# Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte

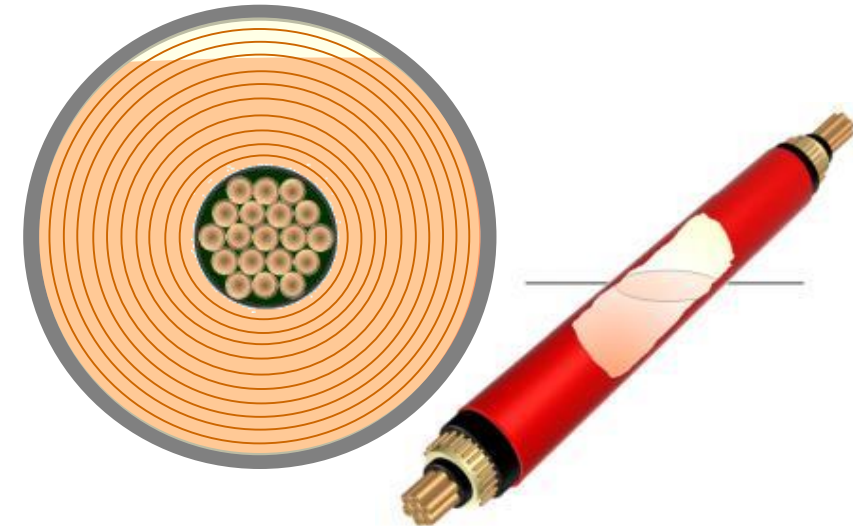
## Papier-Masse-Kabel

Feuchtigkeit



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

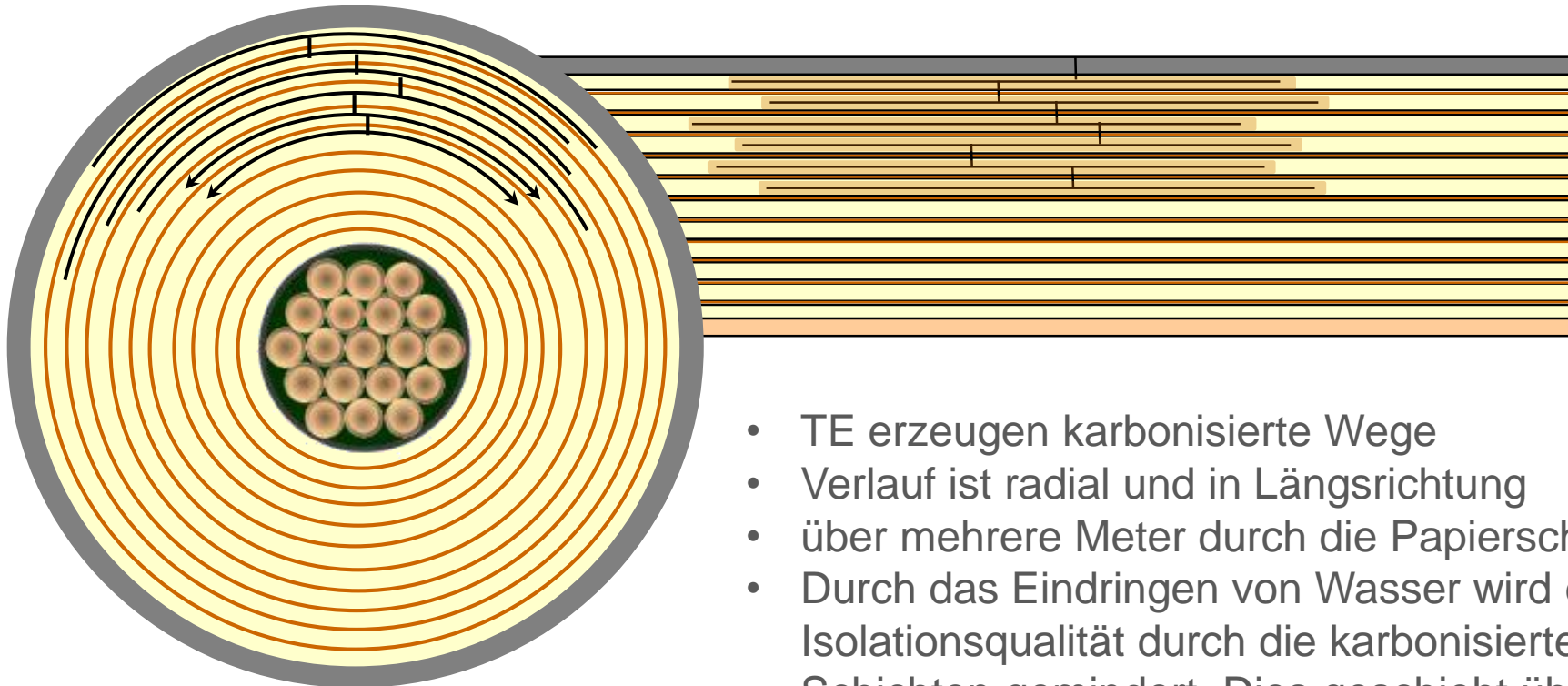
Ablaufen von Öl



- Durch Abfließen 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

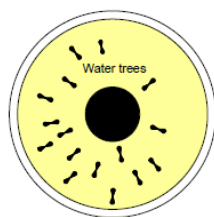
## Papier-Masse-Kabel



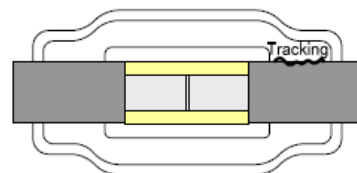
- TE erzeugen karbonisierte Wege
- Verlauf ist radial und in Längsrichtung
- über mehrere Meter durch die Papierschichten
- Durch das Eindringen von Wasser wird die Isolationsqualität durch die karbonisierten Schichten gemindert. Dies geschieht über einen längeren Zeitraum, bis das Kabel ausfällt.

## Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte

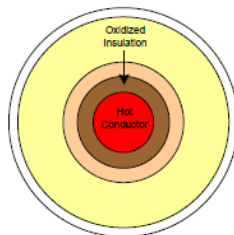
Watertrees



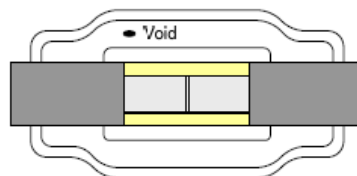
Feuchte und nasse Muffen



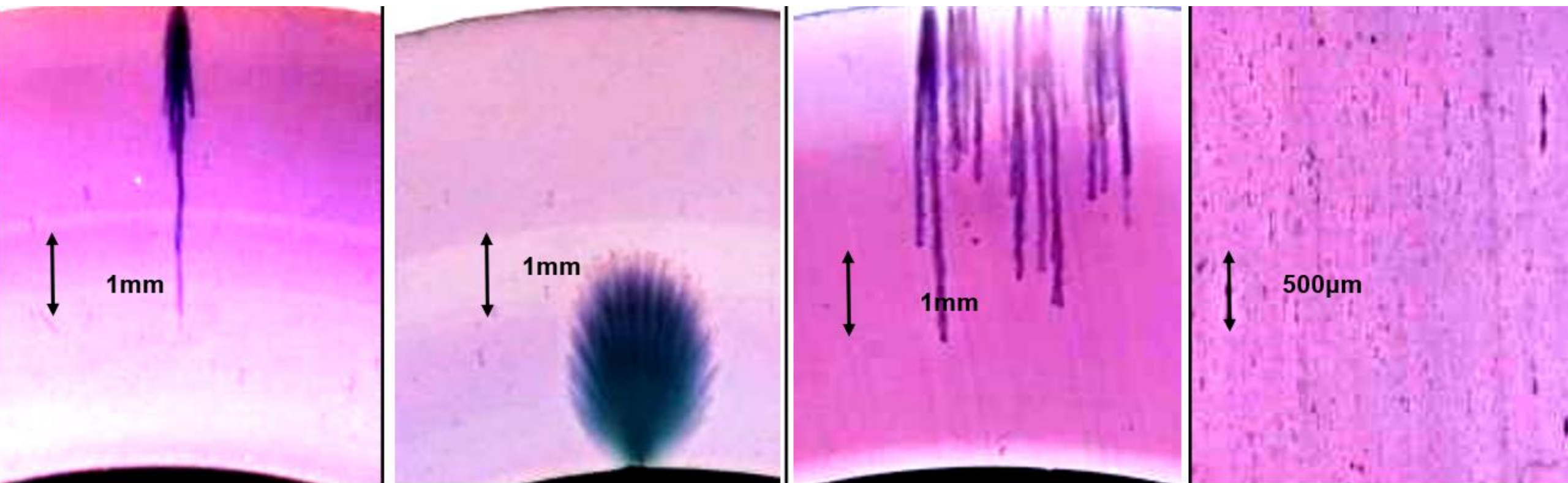
Alterung (z.B. thermisch)



Teilentladungen



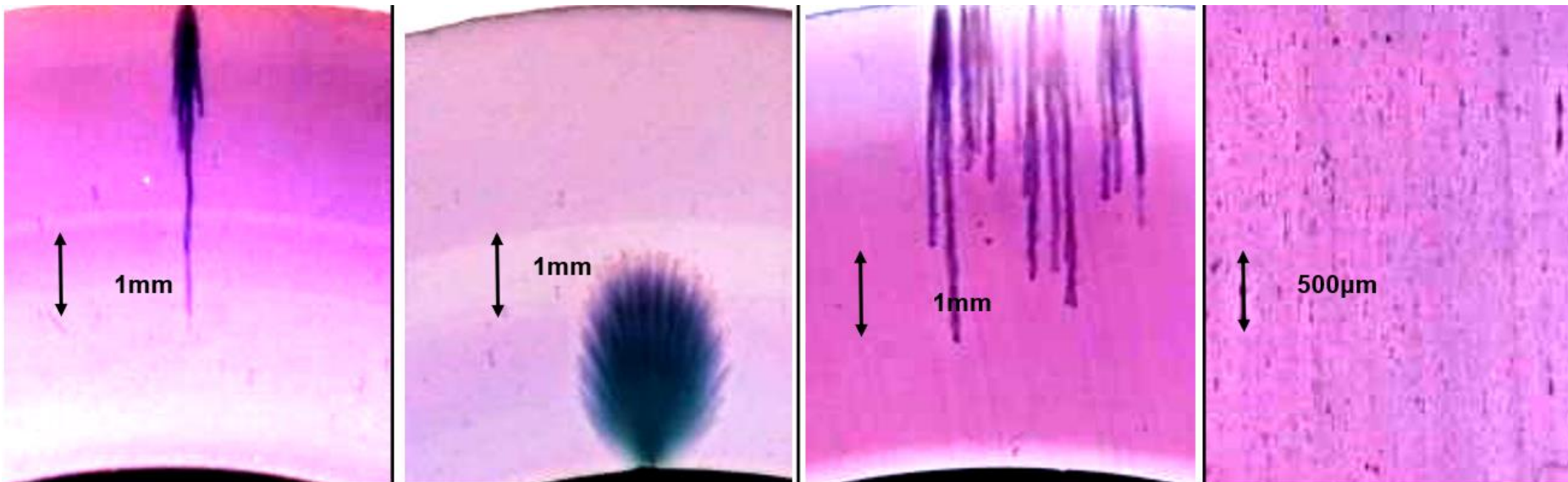
## Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte Watertrees





## Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte Watertrees

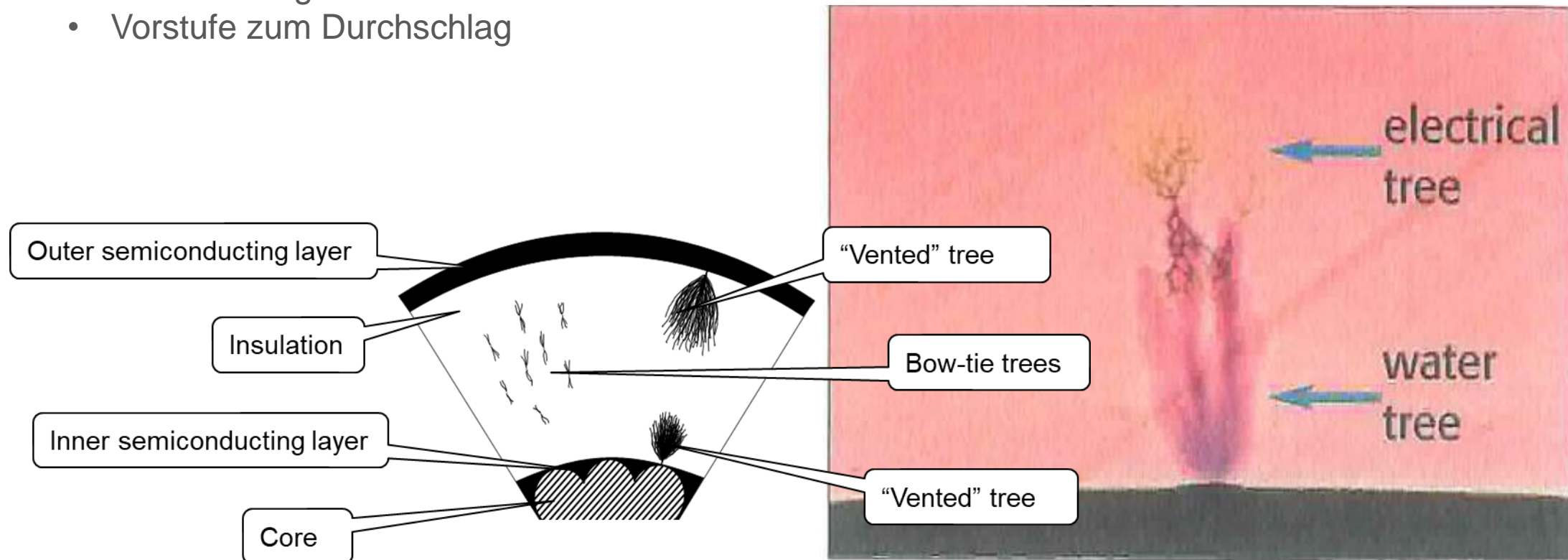
- Wachstum auch bei geringen Feldstärken ( $< 1 \text{ kV} / \text{mm}$ )
- Sehr langsames Wachstum (6 ... 15 Jahre)
- Keine TE
- Nicht sichtbar, messbar oder lokalisierbar
- Es muss nicht unmittelbar zum Fehler kommen (Leitfähigkeit des Wassers)
- Erhöhte TD-Werte



# Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte

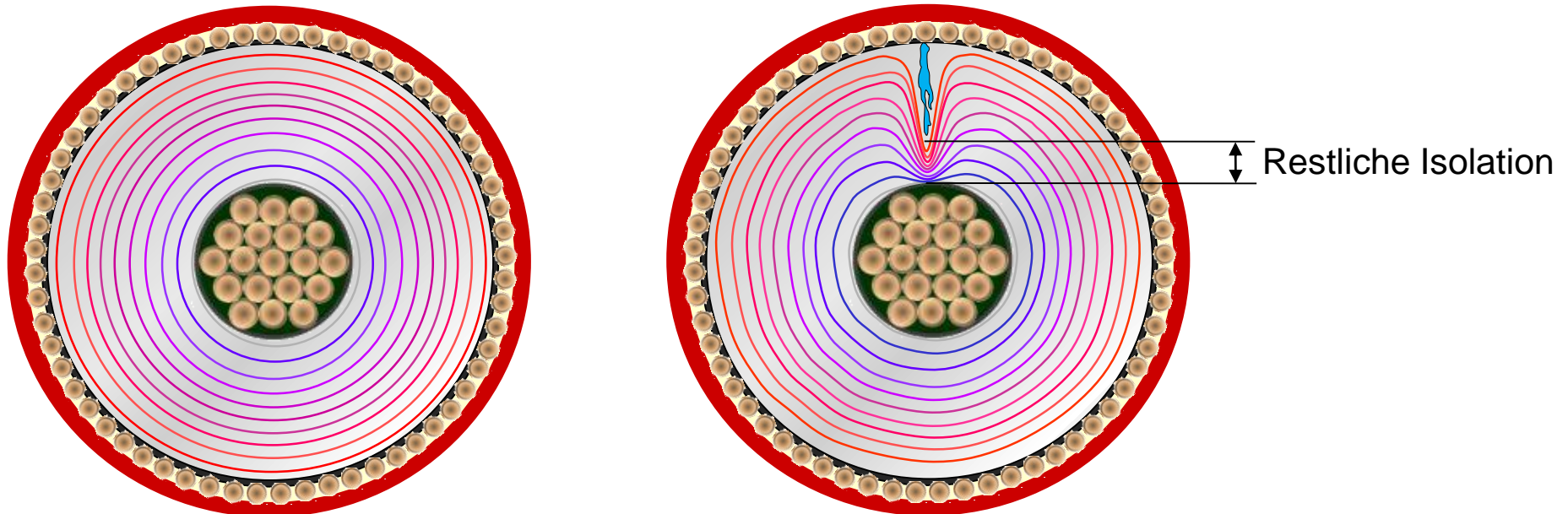
## Electrical Trees

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



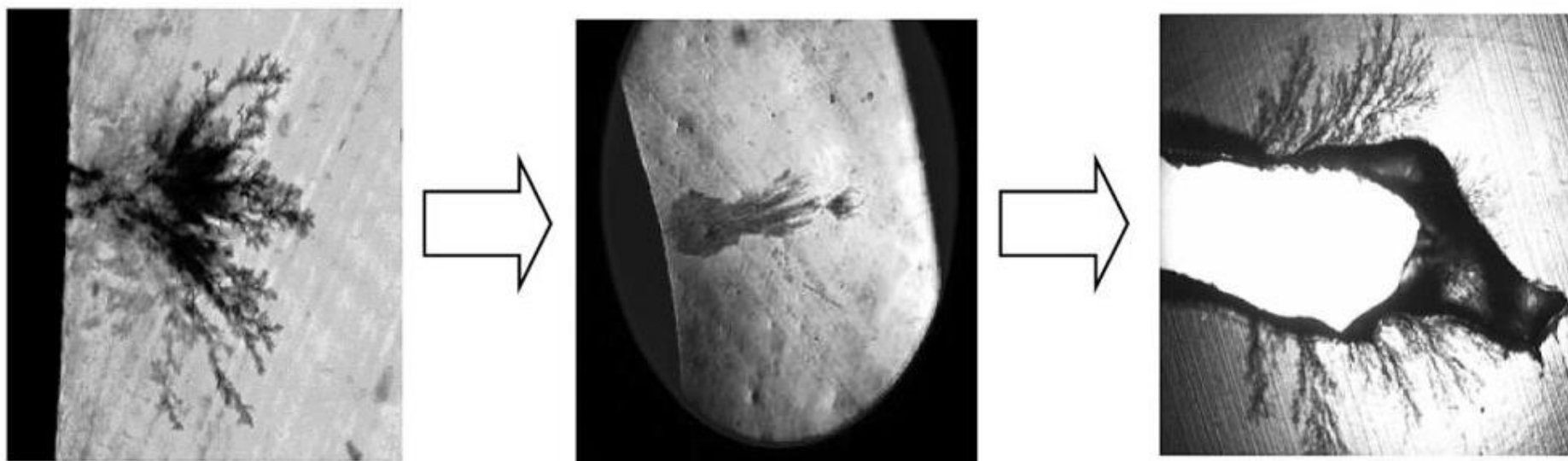
## Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte

- 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



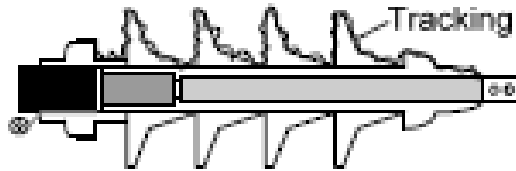
## Ursachen für Kabelfehler und erhöhte Werte

### Electrical Trees & Watertrees



## Verlustfaktormessung

TE in Endverschlüssen als Ursachen für erhöhte TD-Werte

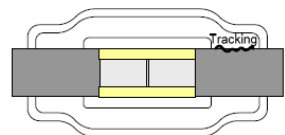
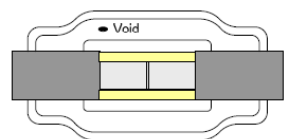


Ursache	Auswirkung	Phasenpattern
Verschmutzung, Oxidation	Gleitentladungen an der Oberfläche	Äußere TE
Montagefehler, Fabrikationsfehler	Teilentladungen im Inneren der Isolation	Innere TE



# Verlustfaktormessung

TE in Muffen als Ursachen für erhöhte TD-Werte

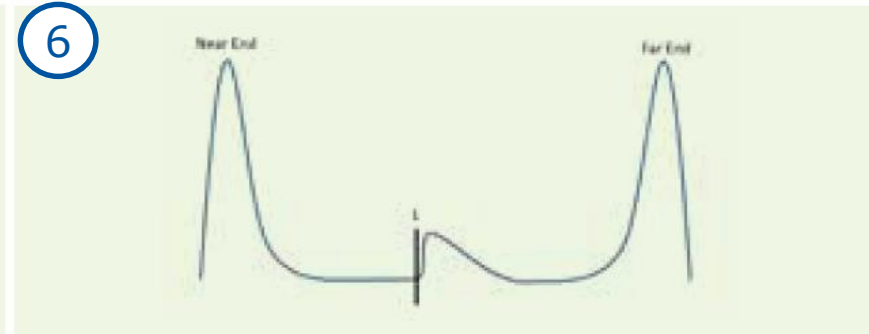
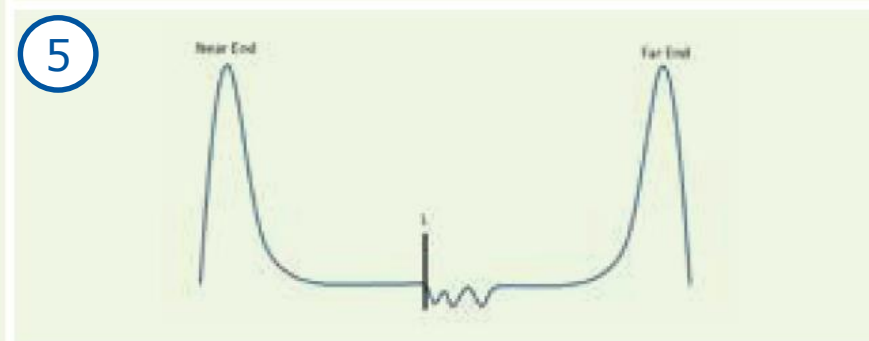
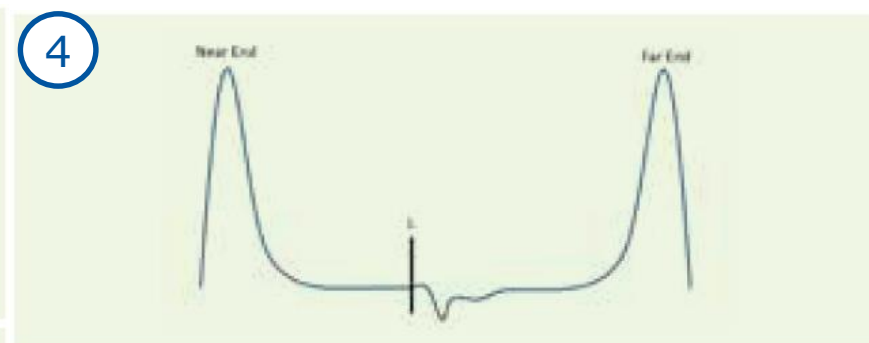
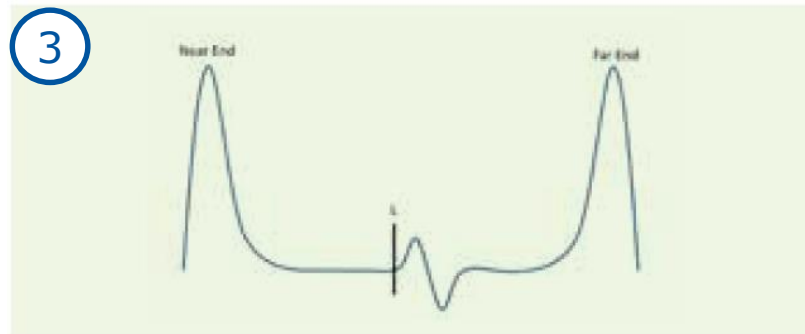
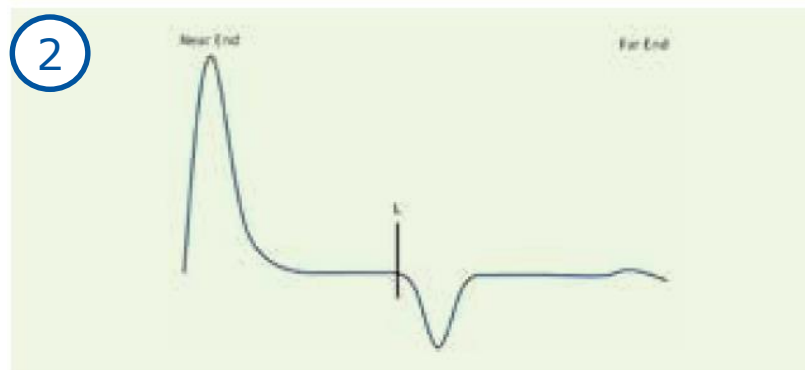
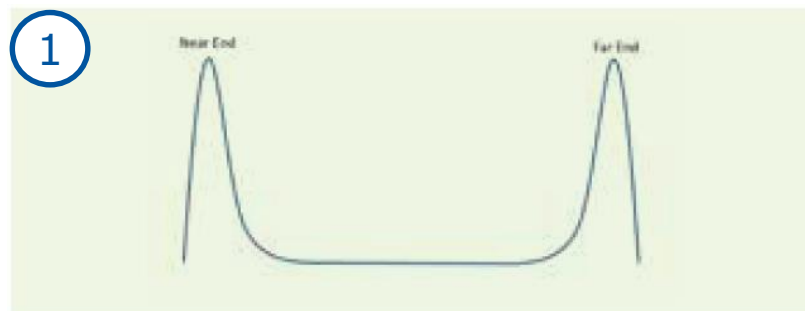


Ursache	Auswirkung	Phasenpattern
Montagefehler, Fabrikationsfehler, Alterung	Teilentladungen, langsame Zerstörung der Isolation	Innere TE
Feuchtigkeit	Gleitentladungen zwischen Leiter und Schirm	Äußere TE

# Identifikation von Muffen

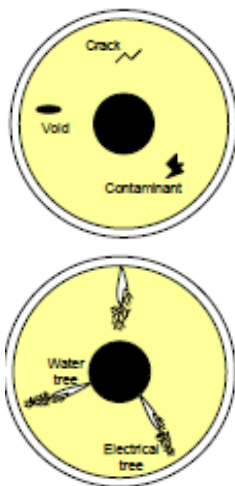
Mit Hilfe des Kalibrators

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



## TD Auswertekriterien

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

# Zustandsbewertung

VPE / in Betrieb

IEEE 400.2-2013

TD / $10^{-3}$	SDTD @ $U_0$		$\Delta$ TD @ $U_0 - 2U_0$		MTD @ $2 U_0$
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 @ $U_0$		$\Delta$ TD @ $U_0 - 2U_0$		MTD @ $2 U_0$
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

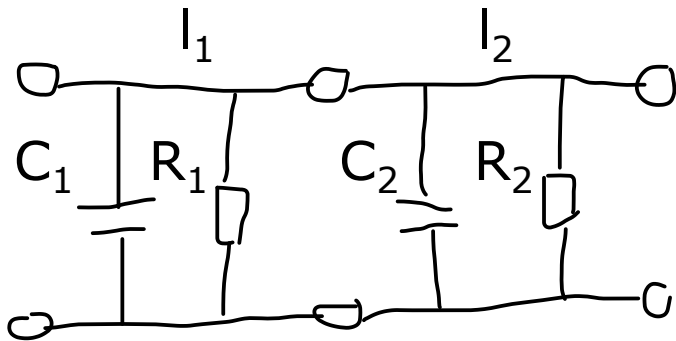
VPE / in Betrieb

## Kundenspezifisch

TD / 10 <sup>-3</sup>	MTD @ U <sub>0</sub>	ΔTD @ 0,5 U <sub>0</sub> – 1,5 U <sub>0</sub>	SDTD @ U <sub>0</sub>	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:  $C_1 = C_2$**

$$TD = \frac{1}{\omega RC} = \frac{l_1}{l_G} TD_1 + \frac{l_2}{l_G} TD_2$$

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

- $l_1 = 2l_2$
- $l_1 + l_2 = l_G = 3l_2$

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

$$TD_1 \ll TD_2$$

$$TD_2 \approx 3TD$$



# Zustandsbewertung Beispiele

## 7.6.3.1 TD trend pattern – XLPE cable in good condition

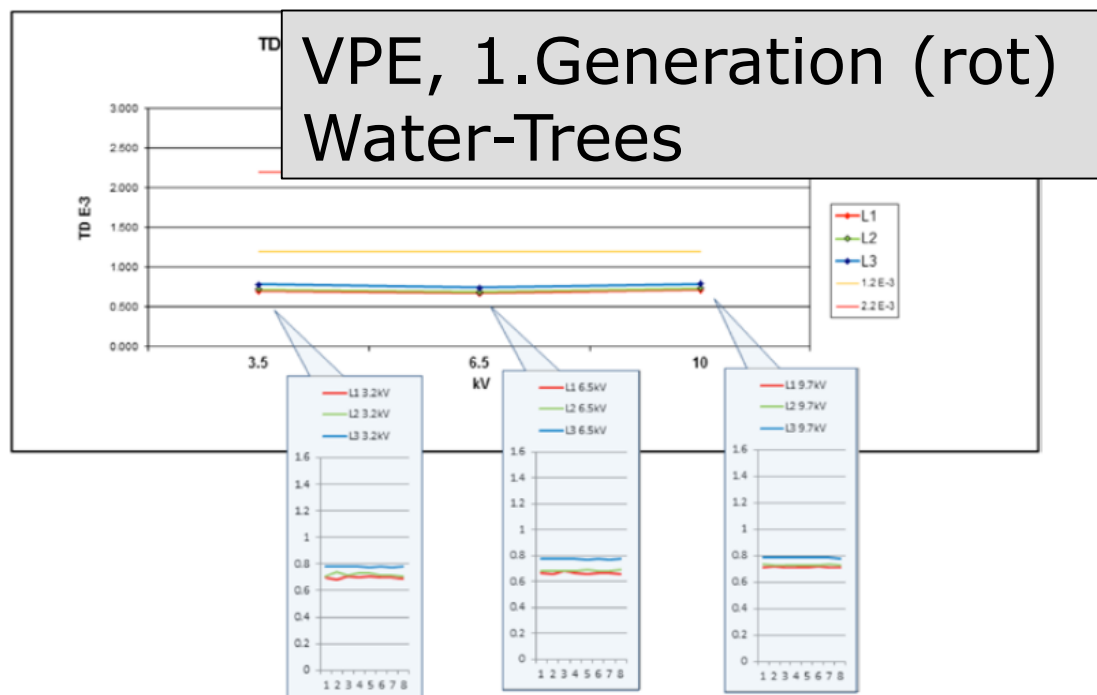


Figure 37: TD trend pattern – XLPE in good condition [20]

### 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
- (7943S10)

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

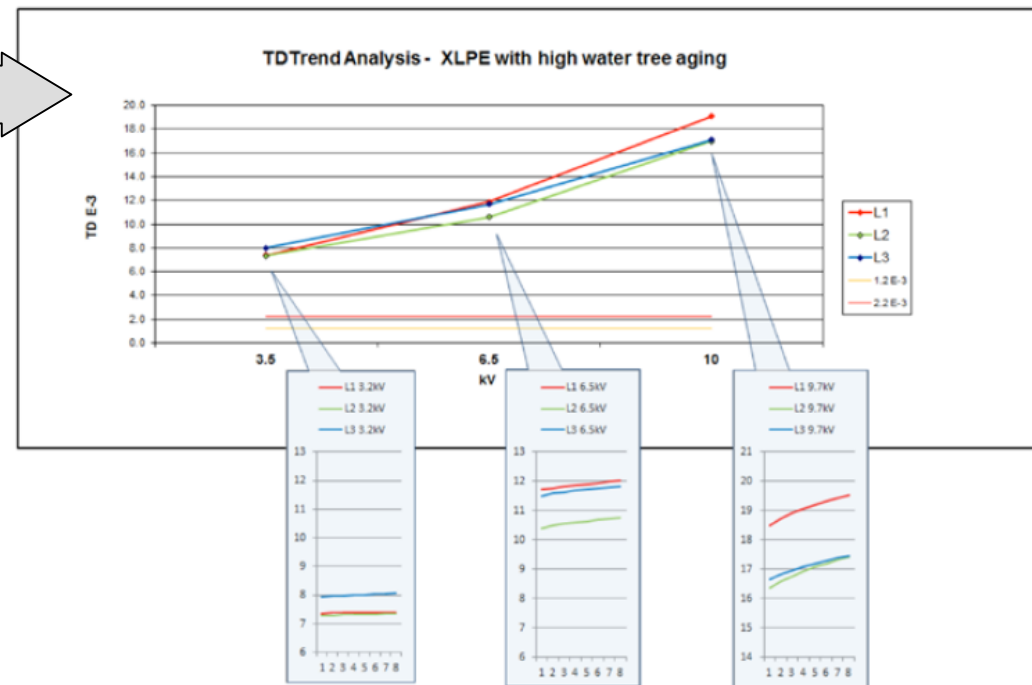


Figure 38: TD trend pattern – XLPE with high water-tree ageing [20]

### 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%)
- (3814S03)

# Zustandsbewertung Beispiele

7.6.3.5 TD trend pattern – PILC cable without PD activities

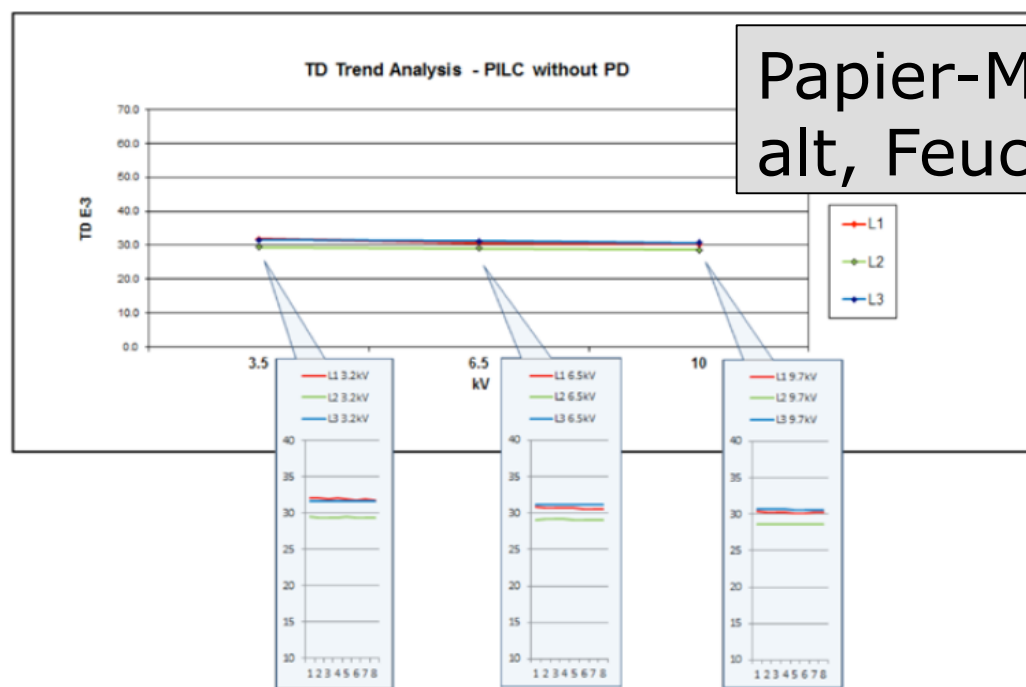


Figure 42: TD trend pattern – PILC without PD activities [20]

## 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

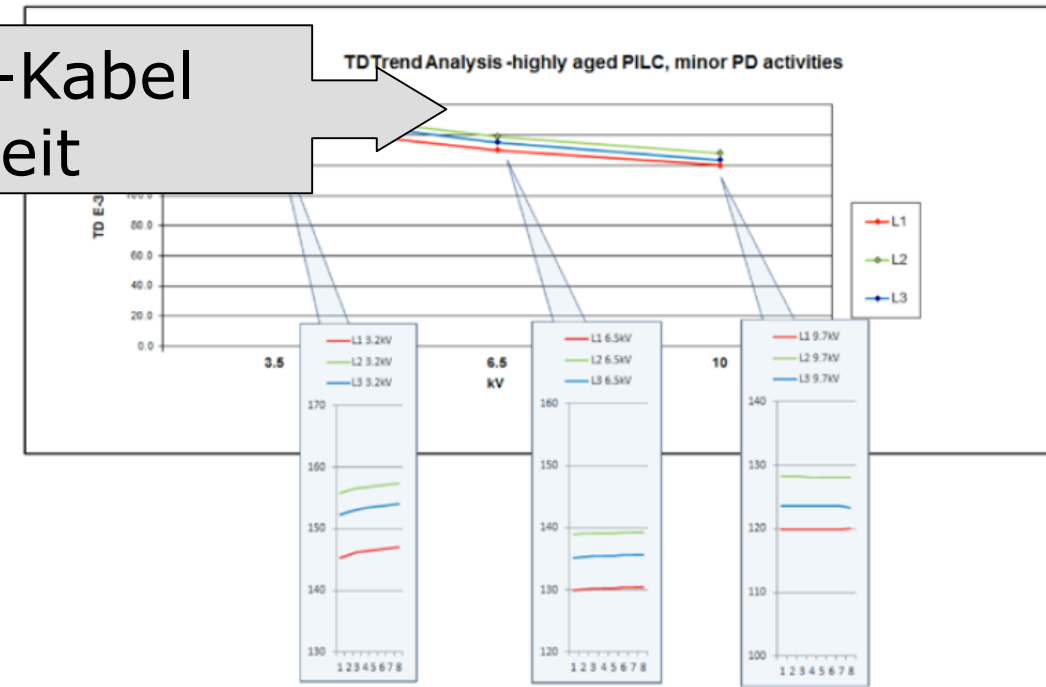


Figure 47: TD Trend pattern – PILC cable, highly service-aged, minor PD activities [20]

## 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

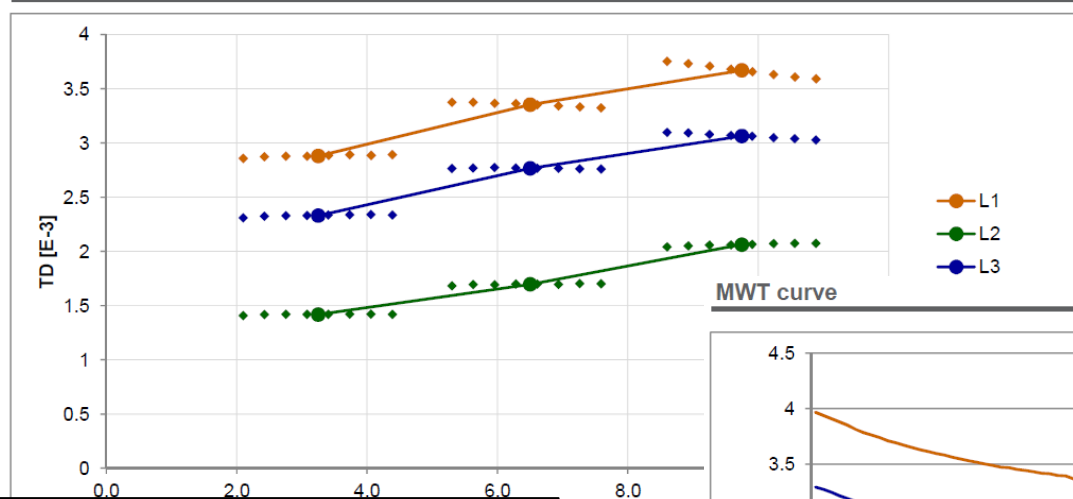
## Additional Information:

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

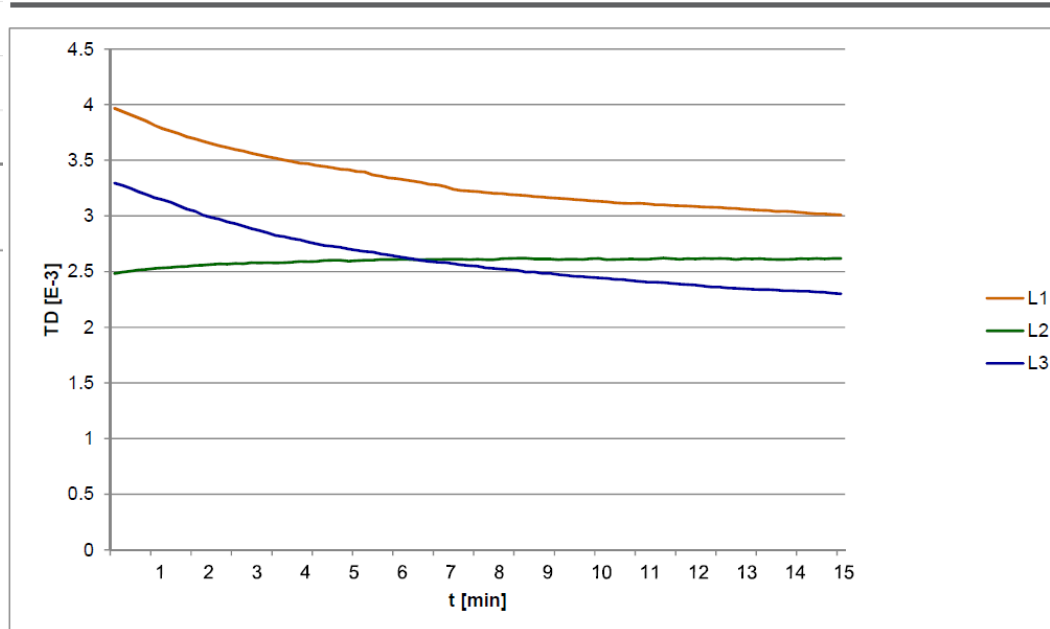
Papier-Masse-Kabel  
alt, Feuchtigkeit

# Zustandsbewertung Beispiele

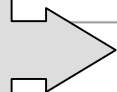
Ramp-up curve



MWT curve



Feuchtigkeit +  
Water-Trees

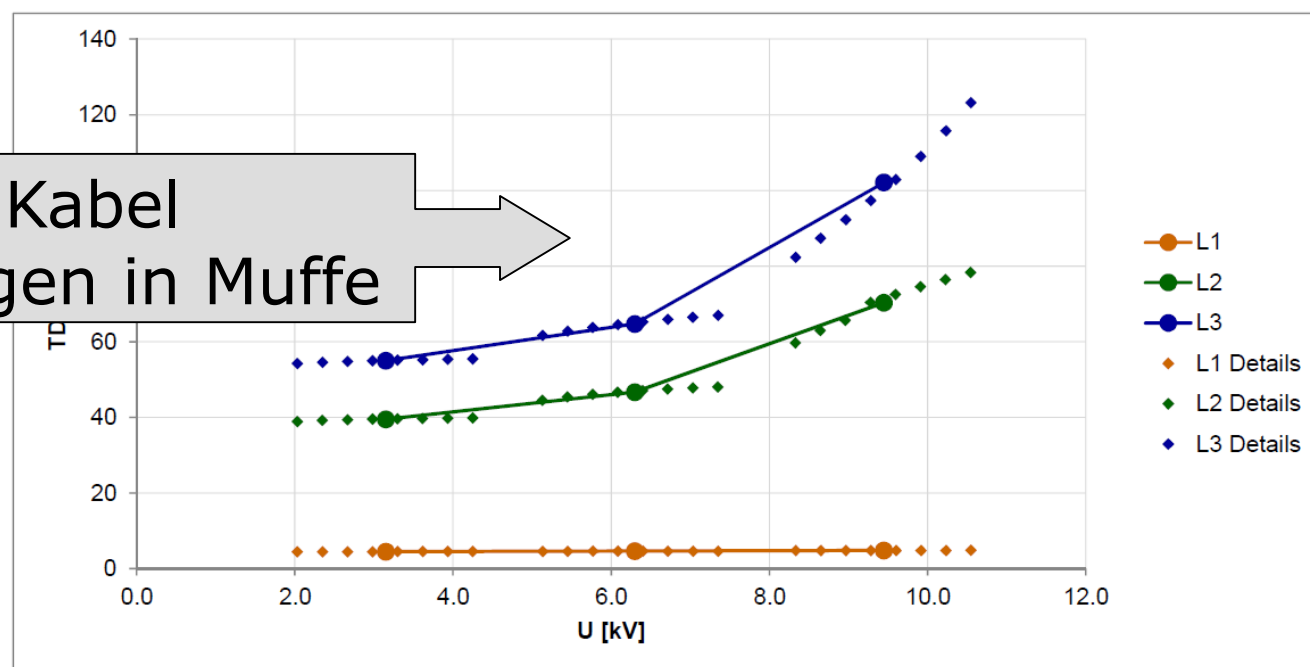


# Zustandsbewertung

## Beispiele

Papier-Masse-Kabel  
Gleitentladungen in Muffe

Ramp-up curve

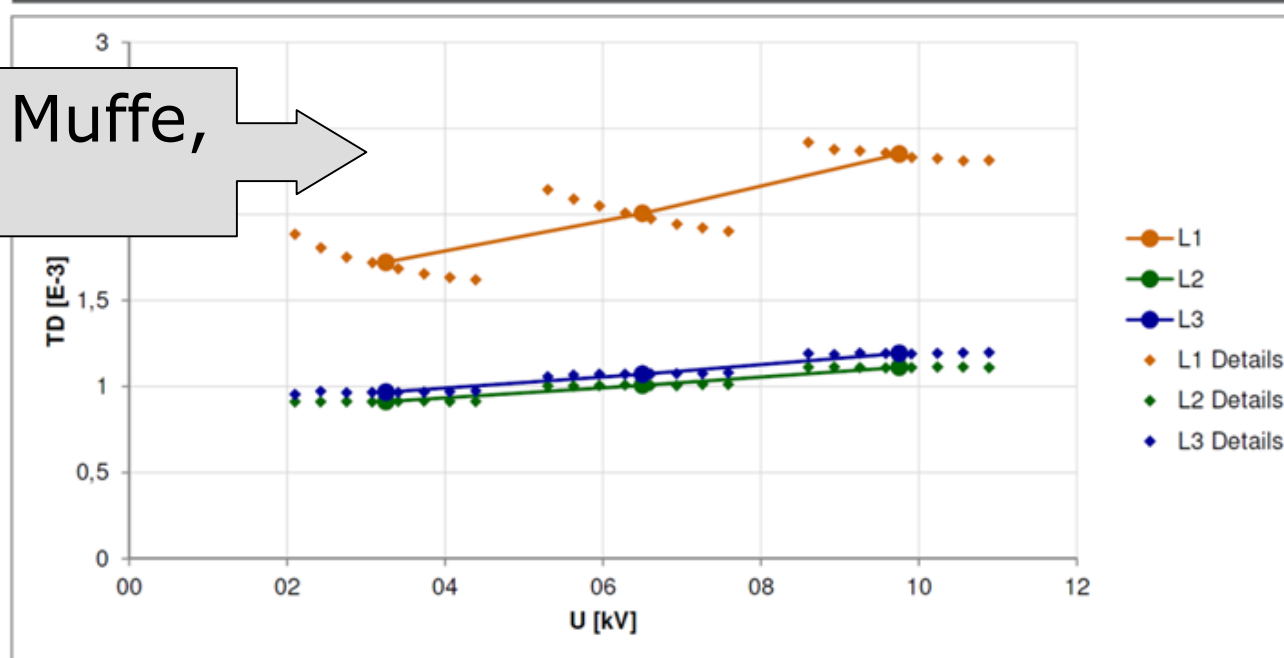


# Zustandsbewertung

## Beispiele

Feuchtigkeit in Muffe,  
Water-Trees

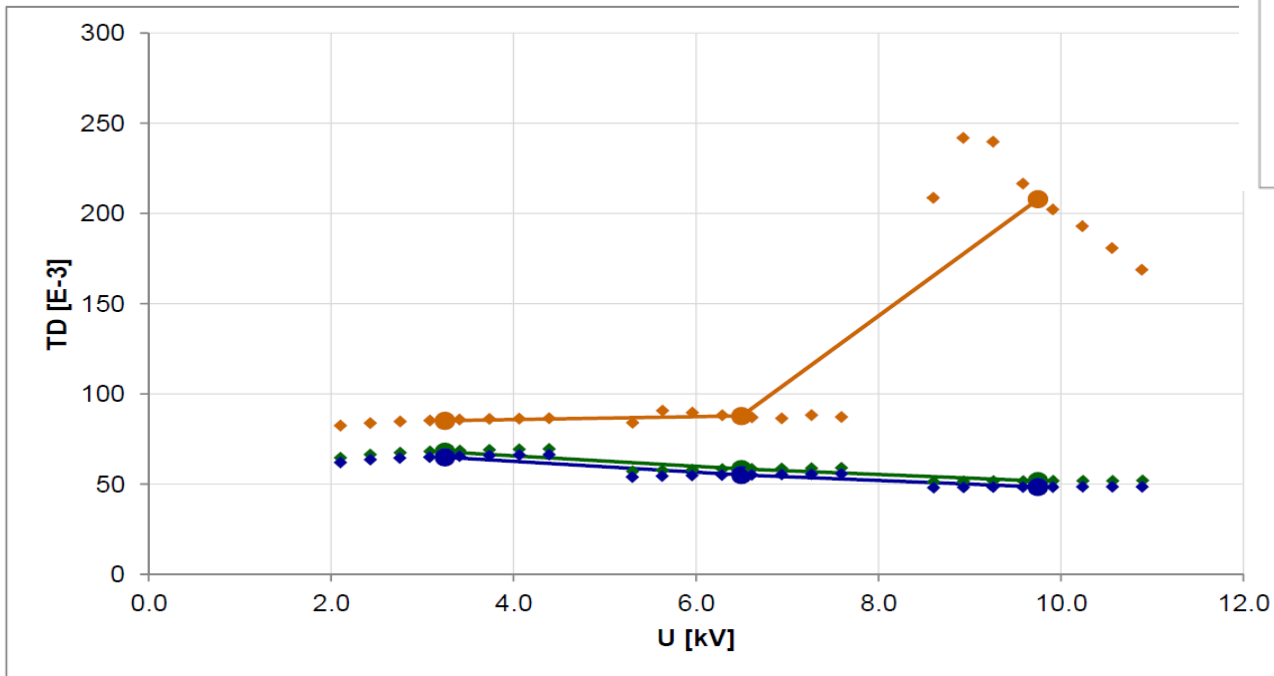
Ramp-up curve



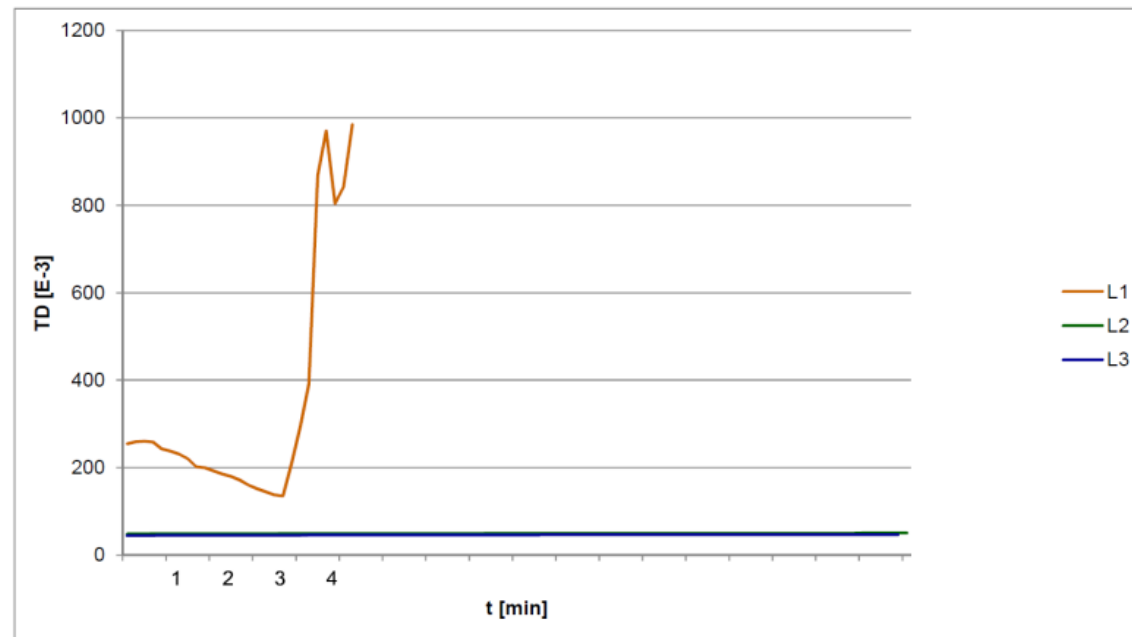
# Zustandsbewertung Beispiele

Mischkabel mit  
Muffenfehler

Ramp-up curve



MWT curve

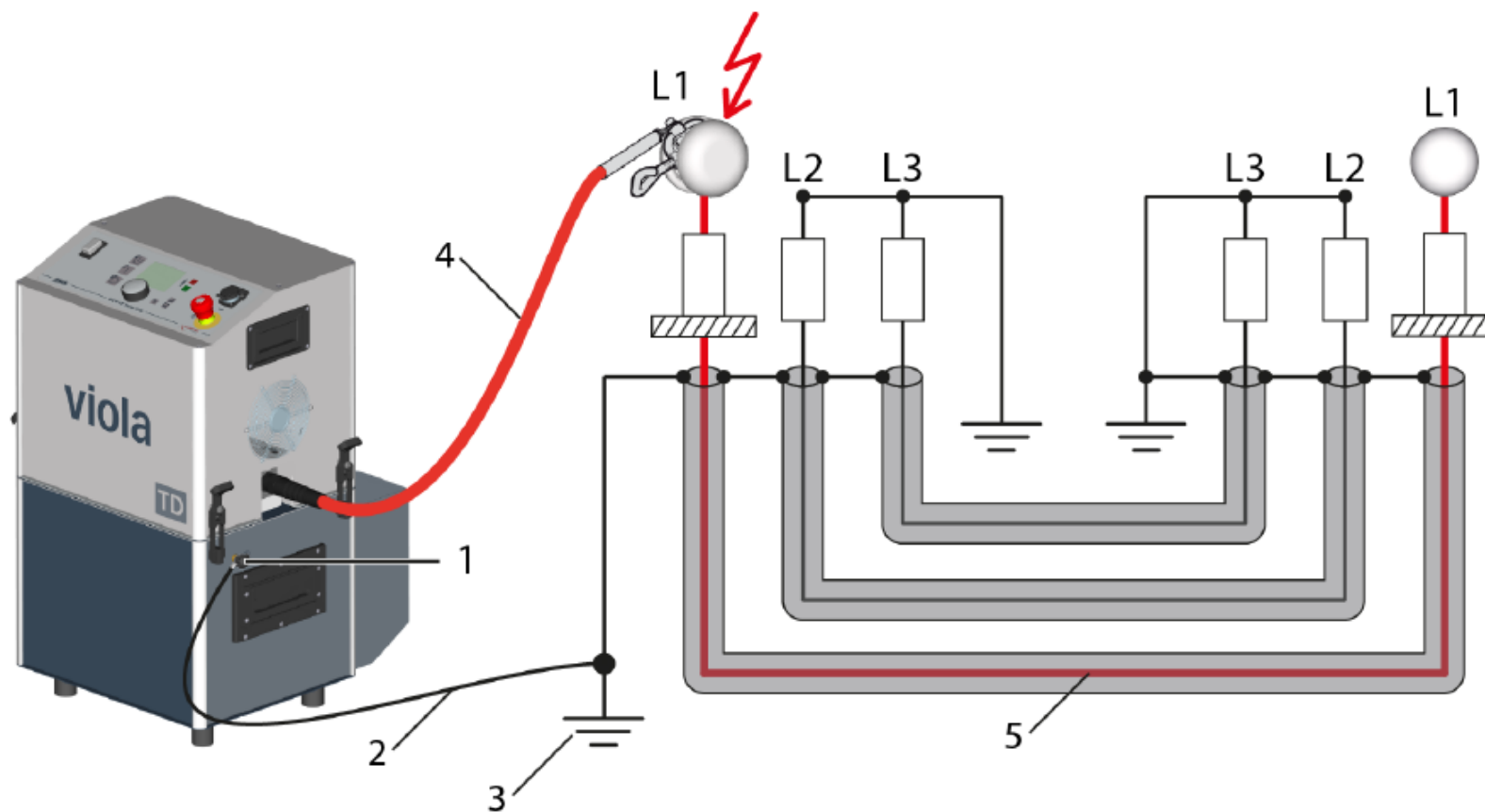


- L1
- L2
- L3
- ◆ L1 Details
- ◆ L2 Details
- ◆ L3 Details



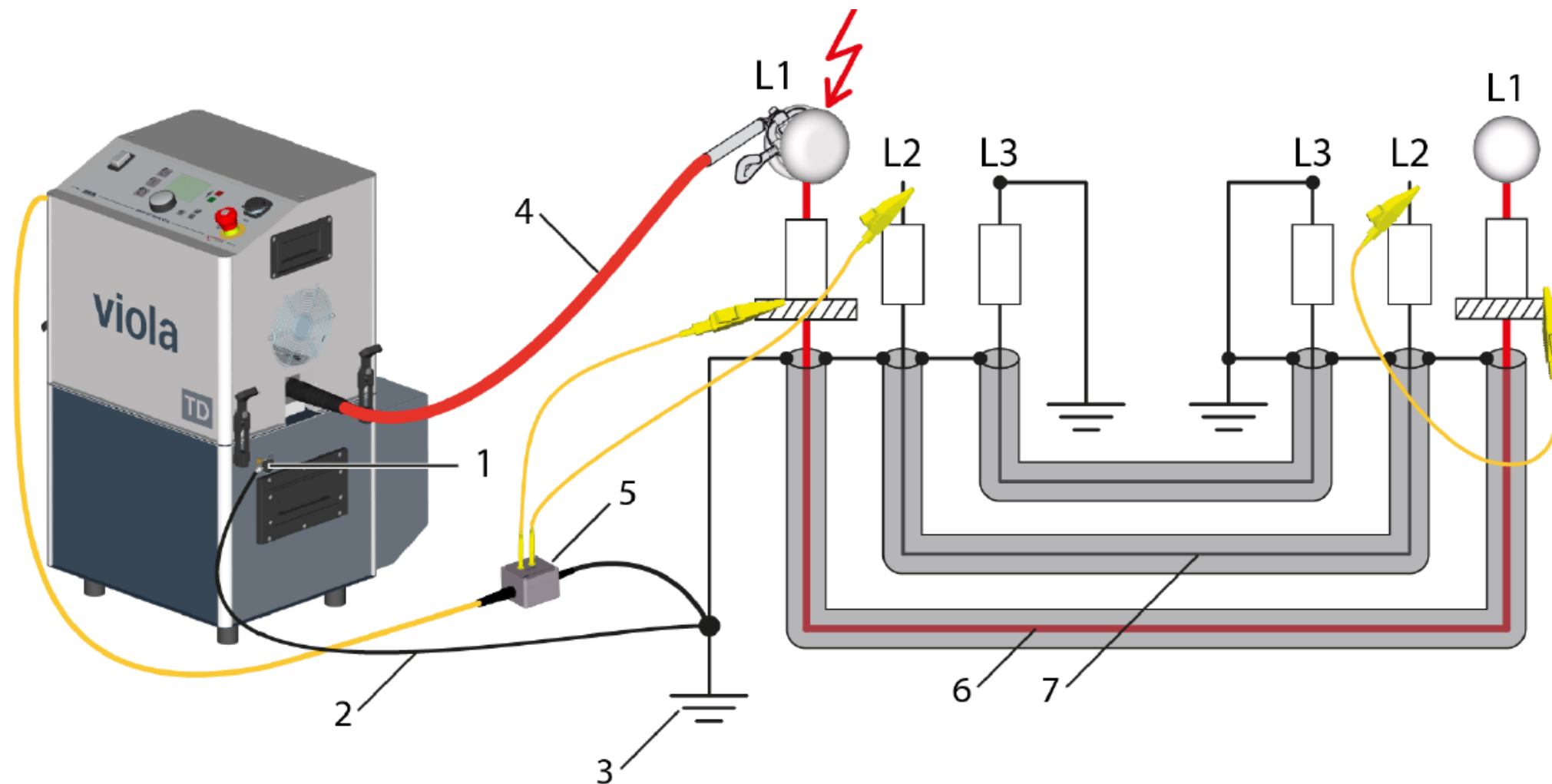
## Anschluss

ohne VSE-Box, ohne Laptop



# Anschluss

mit VSE-Box, ohne Laptop



## Anschlussstechnik

Bis 25 kV<sub>rms</sub>

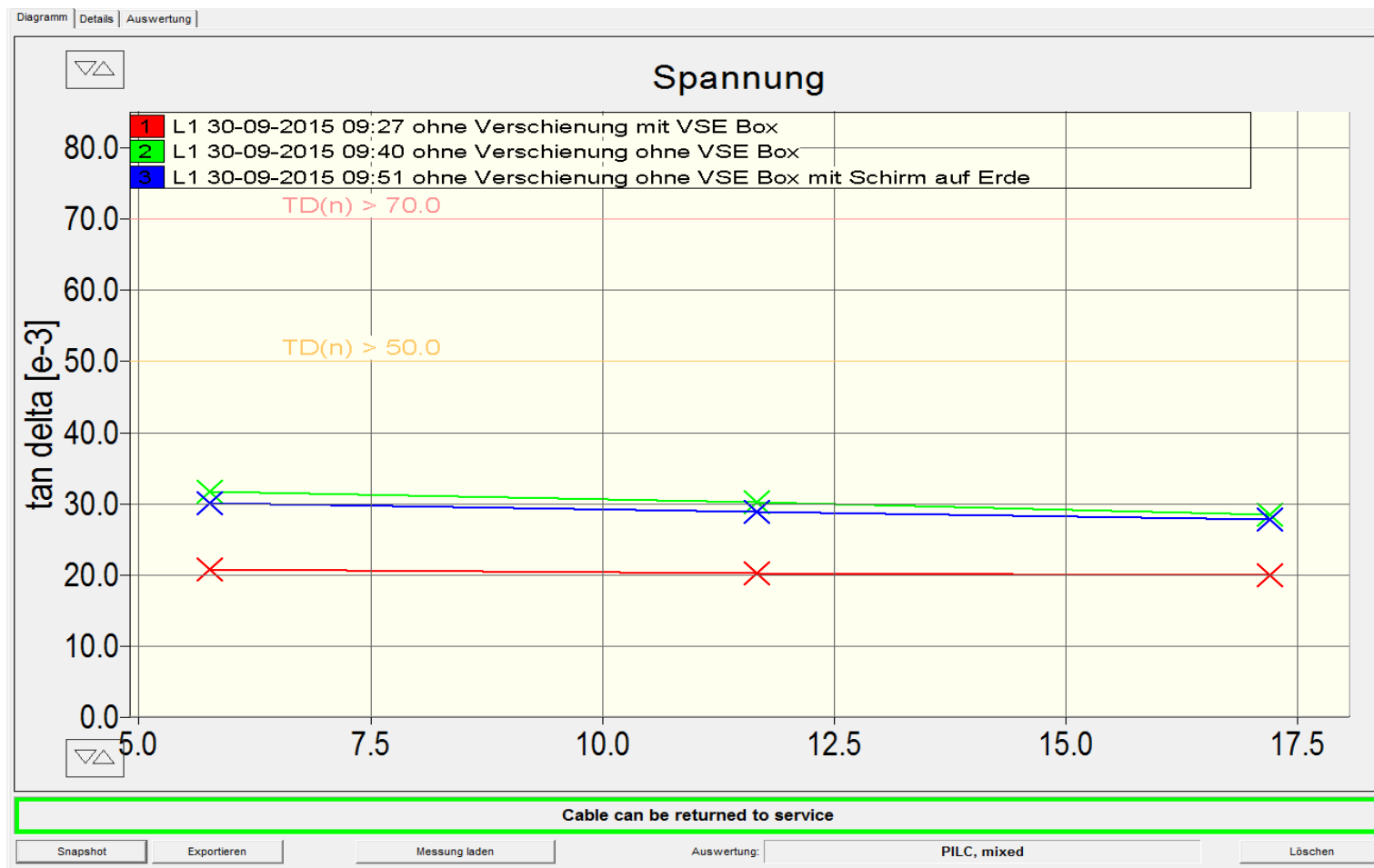


Über 25 kV<sub>rms</sub>



# Anschlussstechnik

Vergleichsmessung: Mit- und ohne VSE Box

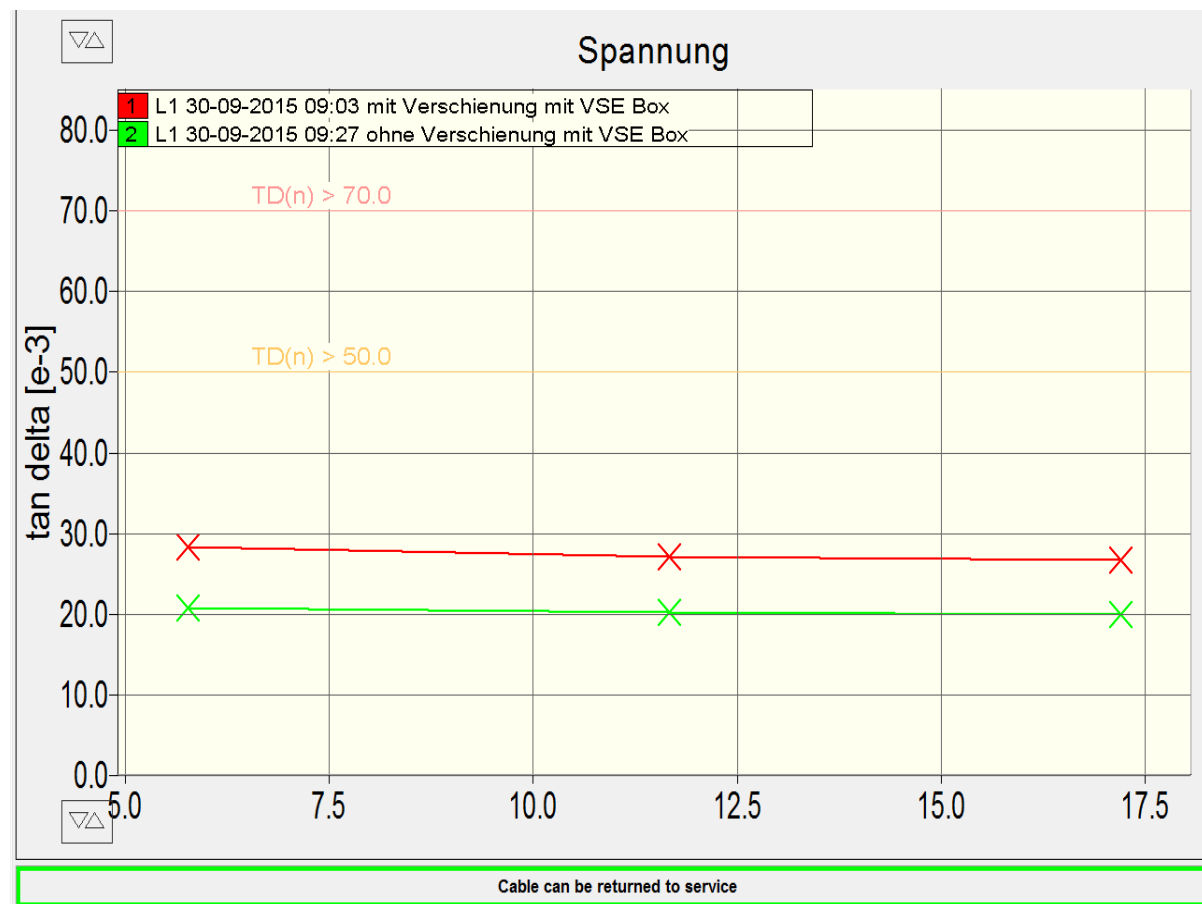


# Anschlussstechnik

Vergleichsmessung: Mit- und ohne abgelegten Kabeln



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

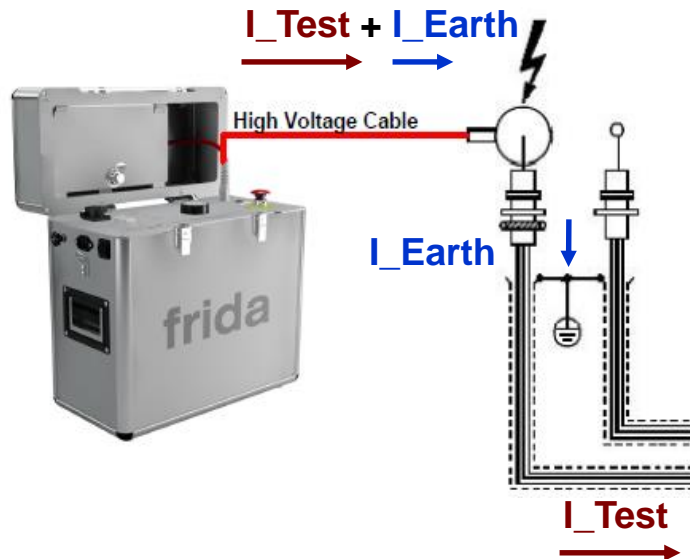


Messergebnis mit / ohne Verschienung

## VSE

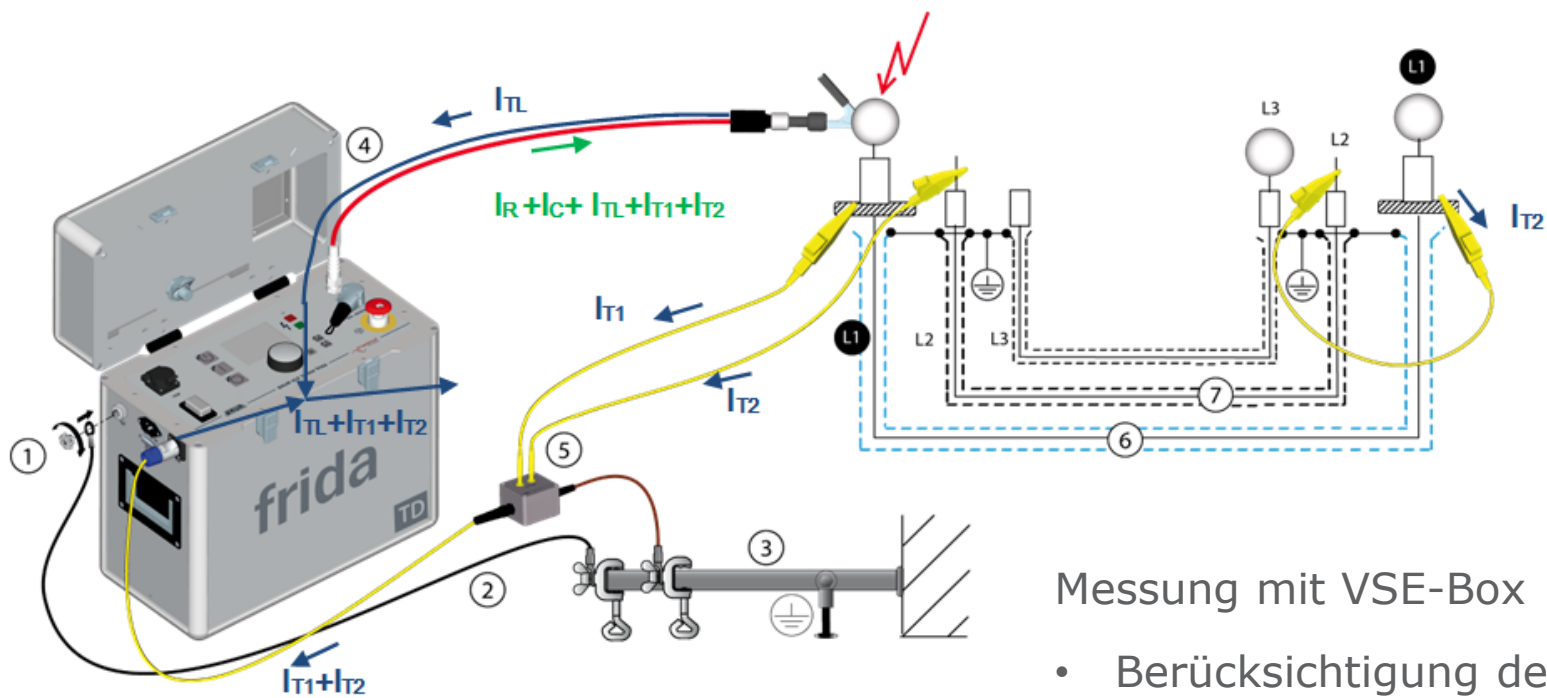
### Messung ohne VSE-Box

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





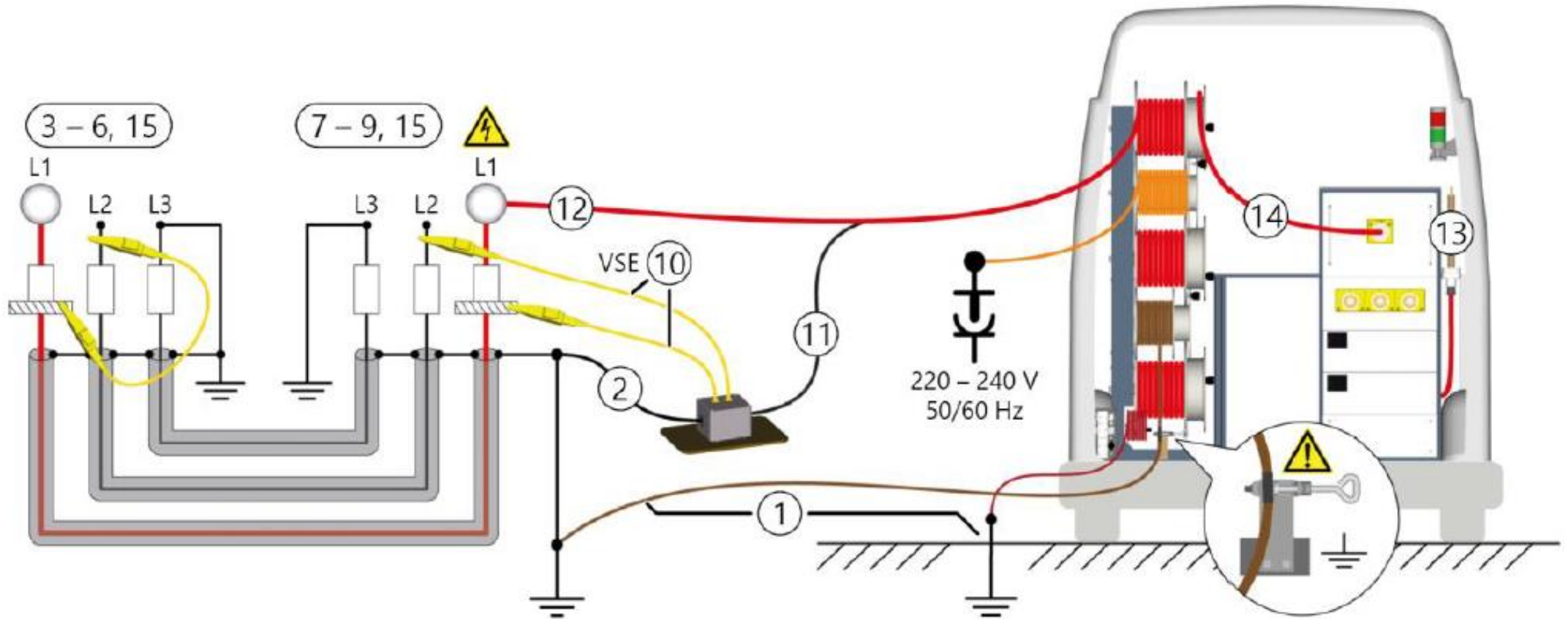
# VSE



## Messung mit VSE-Box

- Berücksichtigung der Kriechströme
- Genaue Berechnung des TD

# VSE



# Bedienoberfläche

### Programm

Name **Programm\_Jan\_19\_0913**

Ramp up

---

Spg. U<sub>0</sub> (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 <sub>0</sub>
Stufe 2	1.5 x U <sub>0</sub>
Stufe 3	2.0 x U <sub>0</sub>

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 <sub>0</sub>
2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.5 x U <sub>0</sub>
3	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	2.0 x U <sub>0</sub>

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

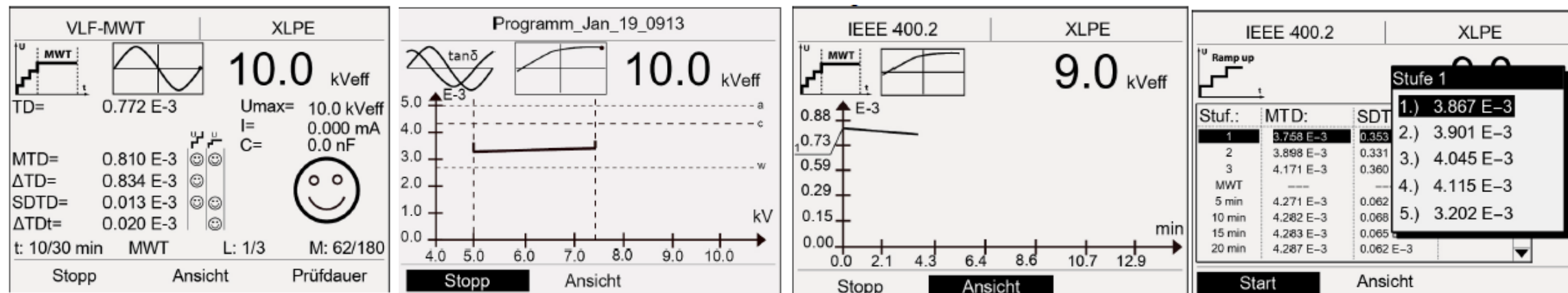
Schwellenwert für ΔTD

Abbruch > --- E-3

Hohes Risiko > --- E-3

Risiko > --- E-3

Speichern Zurück



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  $20 \text{ kV}$
- Verlustfaktormessung mit einer Genauigkeit von  $1 \times 10^{-4}$
- 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  $35 \text{ kV}$
- Verlustfaktormessung mit einer Genauigkeit von  $1 \times 10^{-4}$
- 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

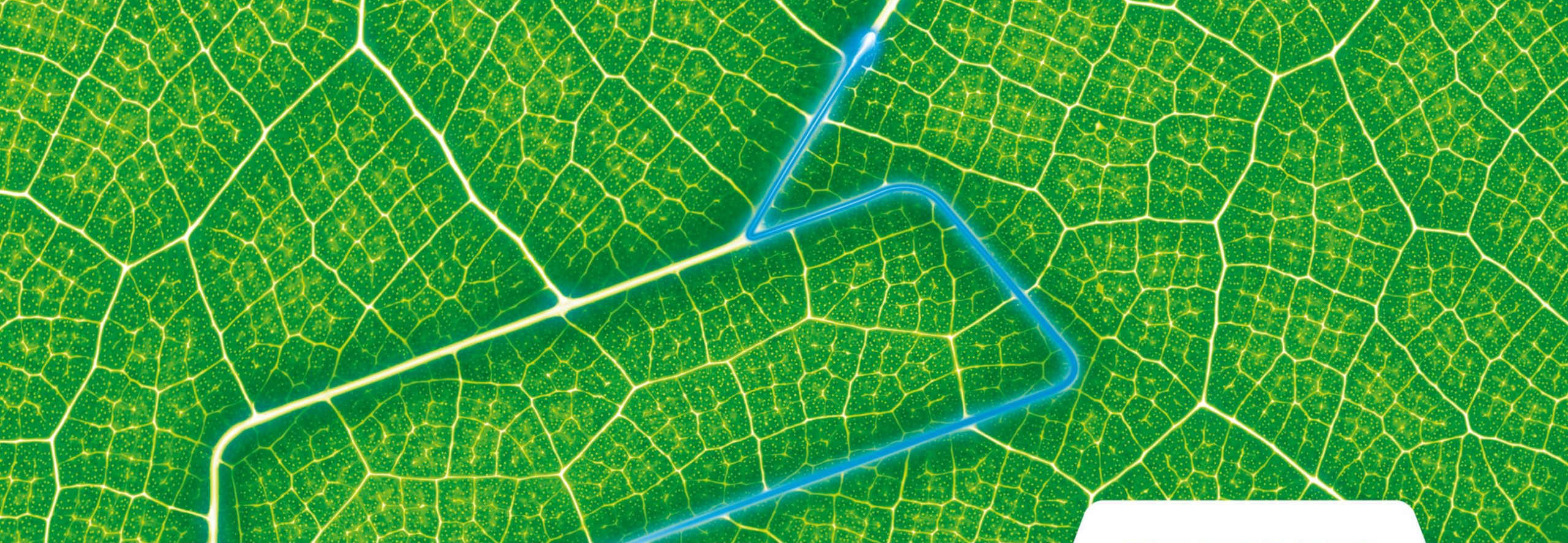


## PHG 80



- 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 Frequenzwahl ( $0,01 - 0,1 \text{ Hz}$ )
- Verlustfaktordiagnose von Betriebsmitteln und Mittelspannungskabeln bis  $50 \text{ kV}$
- Verlustfaktormessung mit einer Genauigkeit von  $1 \times 10^{-4}$
- 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

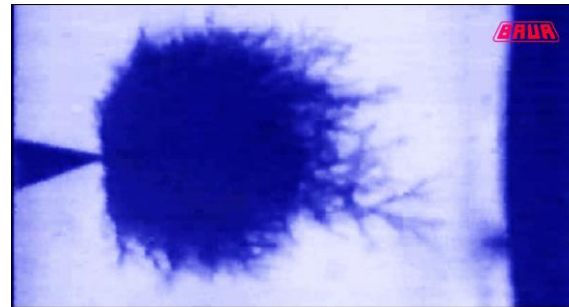


# Teilentladungsmessung

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-Einsetzspannung**

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

### **TE-Aussetzspannung**

- Aussetzspannung ist kleiner als die Einsetzspannung

# Teilentladungsmessung

Informationsgewinn

Erkennung von

- defekten Garnituren
- Isolierungsdefekten
- mechanischen Beschädigungen

TE-Lokalisierung in

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

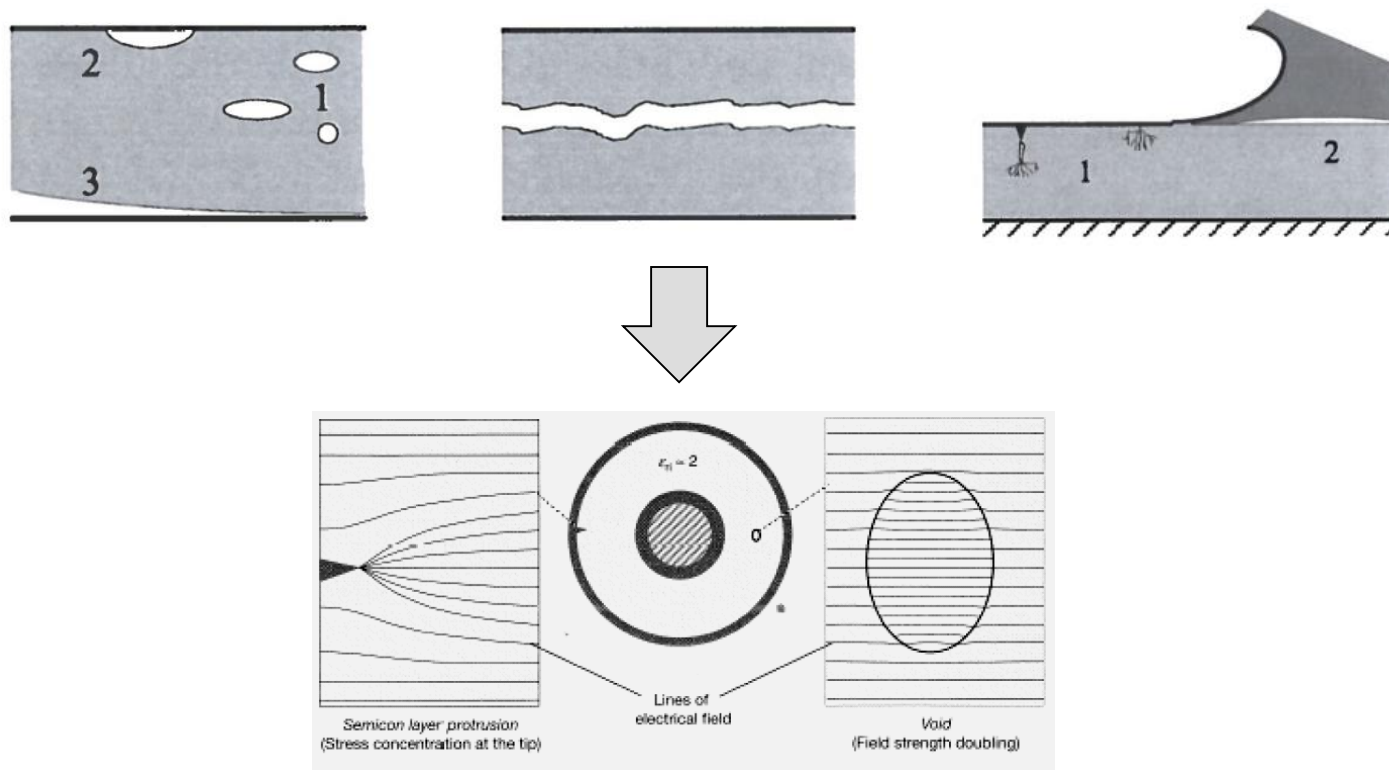
Messung von TE-Pegeln (scheinbare Ladung)

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**

Projekt

Name des Projektes:

Von Station:

Zusatzinformation:

Nach Station:

Kabeldaten

ID:

Typ:

Phasenbezeichnung:

Hersteller:

Nennspannung [kV]:

Anzahl der Phasen:

Verlegejahr:

Länge [m]:

Ausbreitungsgeschwind. [m/us]:

Name des Prüfers:

Muffen und Endverschlüsse

Kommentar

Speichern

Laden




















Neu

# Ablauf der Teilentladungsmessung

Eingabe von Art und Position der Garnituren

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

Liste:

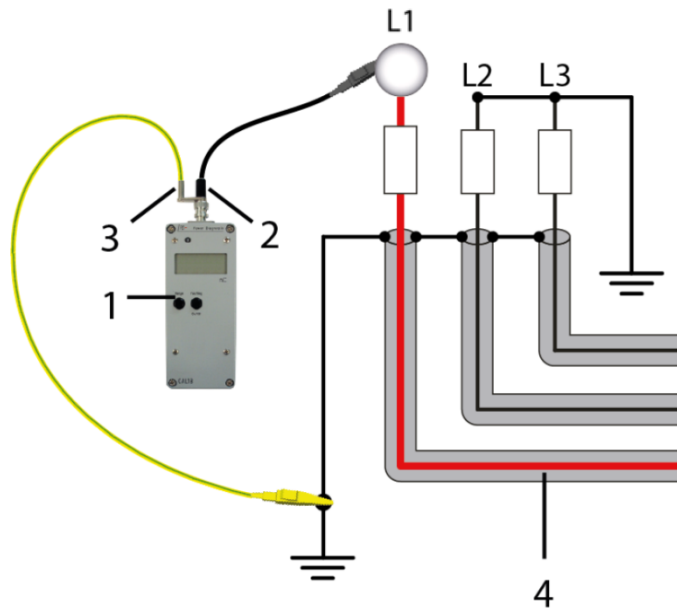
	Entfernung	Name	Symbol	Phase
	0.0	EV 1	Dreieck; Rot	L1
	0.0	EV 1	Dreieck; Rot	L2
	0.0	EV 1	Dreieck; Rot	L3
	258.0	VM1	Dreieck; Rot	L1
	258.0	VM1	Dreieck; Rot	L2
	258.0	VM1	Dreieck; Rot	L3
	621.0	VM2	Dreieck; Rot	L1
	621.0	VM2	Dreieck; Rot	L2
	621.0	VM2	Dreieck; Rot	L3
	1106.0	VM3	Dreieck; Rot	L1
	1106.0	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

Phase wählen:

Abbrechen Hinzufügen Löschen OK

# Kalibrierung

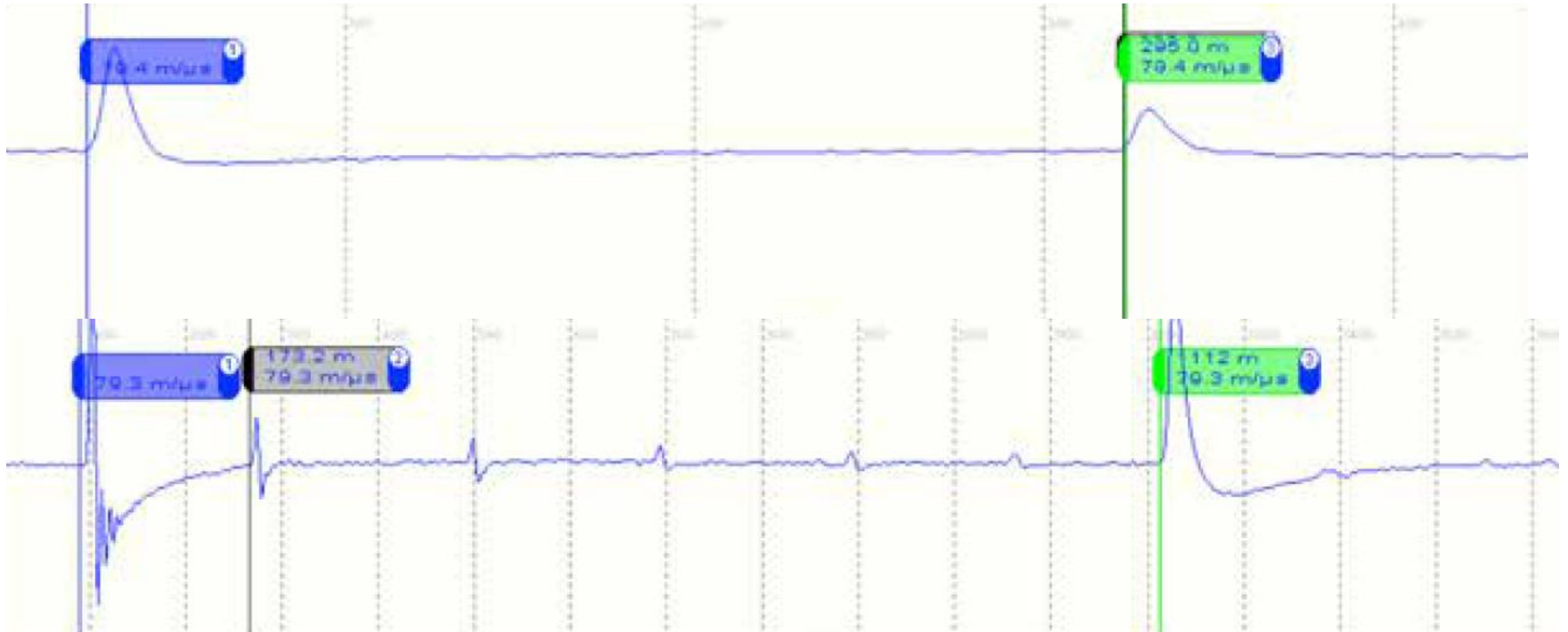
## Anschluss

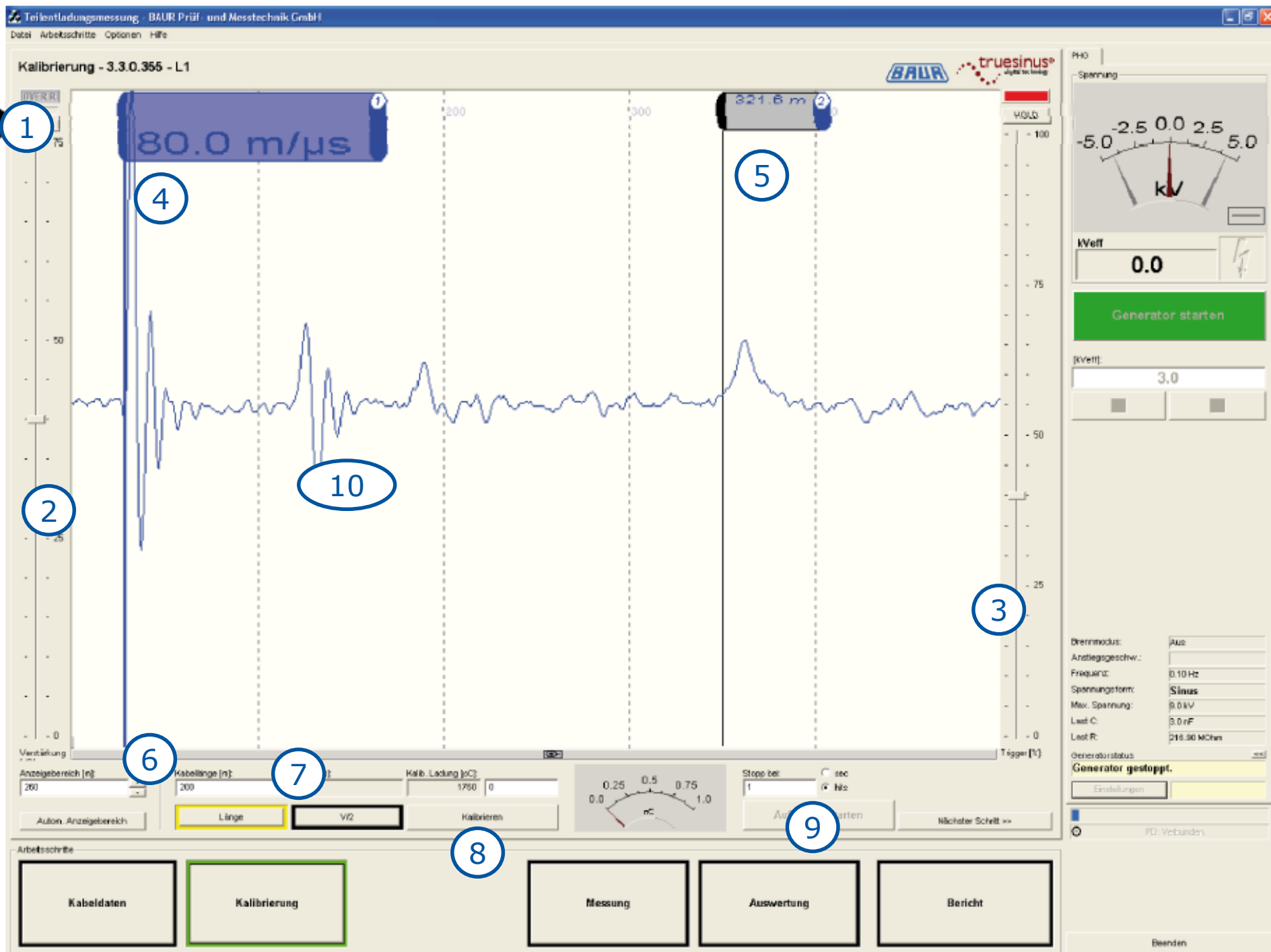


1. Kalibrator
2. Signalausgang
3. Schutzerdungsanschluss
4. Prüfobjekt

# Identifikation von Muffen

Mit Hilfe des Kalibrators





# Ablauf der Teilentladungsmessung

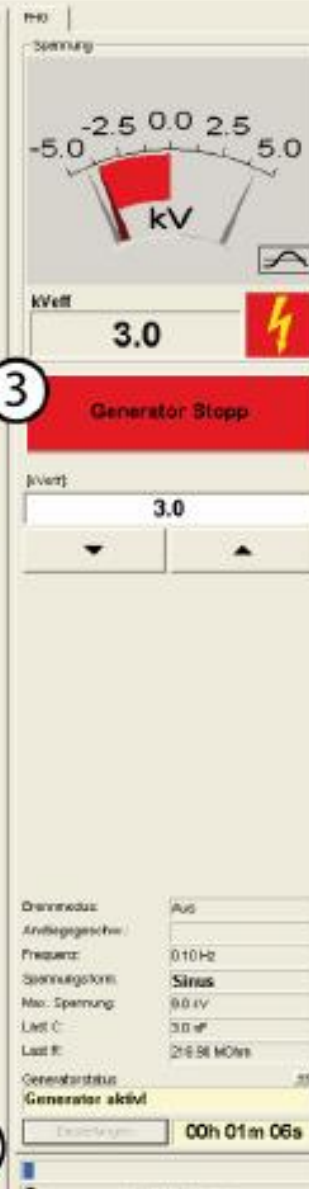
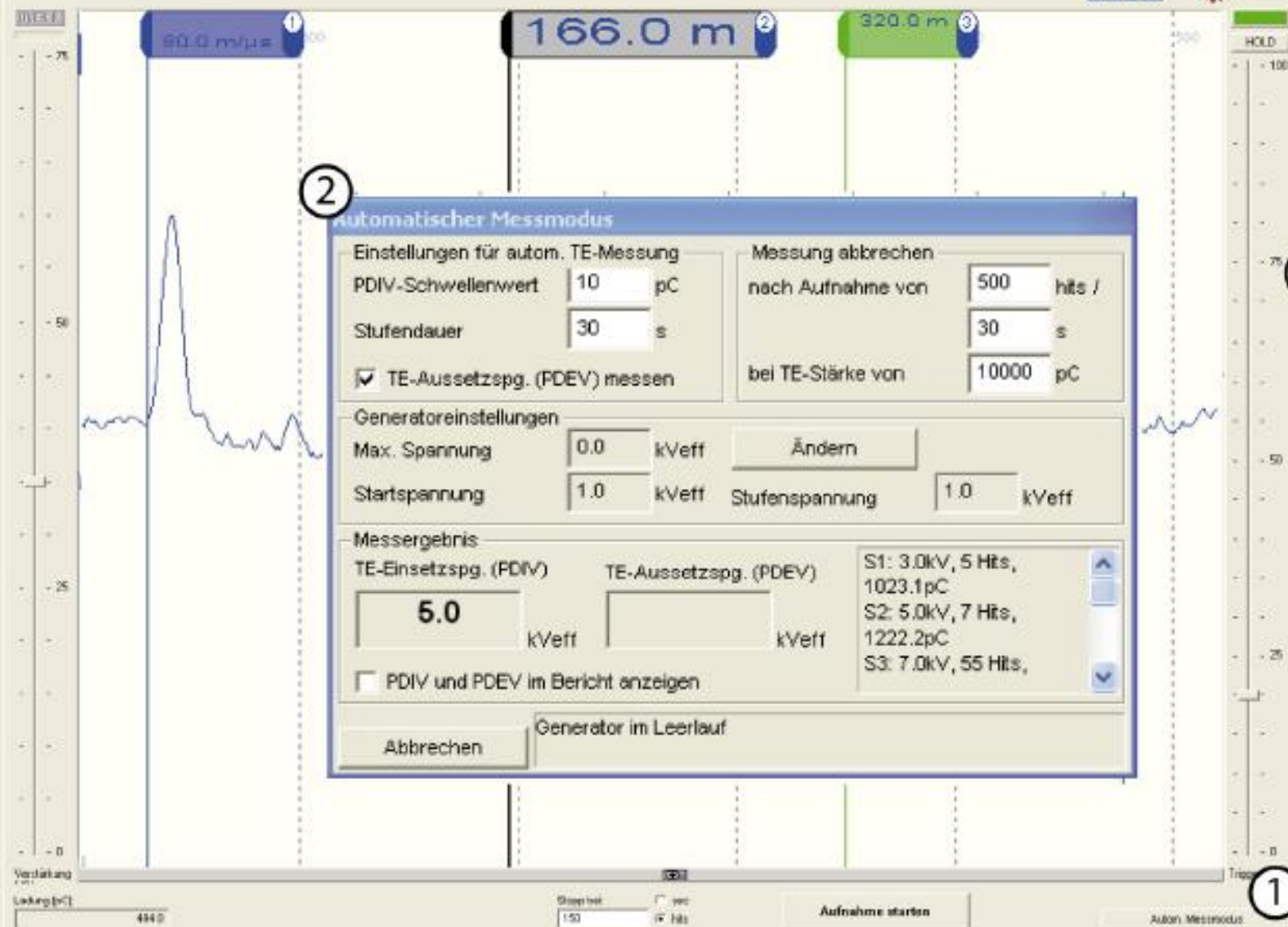
## Messung

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



Manuelle Messung - 3.3.0.355 - L1

BAUR truesinus



Manuelle Messung - 3.3.0.355 - L1

BAUR

truesinus<sup>®</sup>  
Digital Technology



H99

Spannung



kVeff

3.0



2

Generator Stopp

3

[kVeff]

3.0

Brennmodus:

Aus

Anliegegeschw.:

0.10 Hz

Frequenz:

0.01 V

Spannungsform:

Sinus

Max. Spannung:

3.0 kV

Last C:

20.0 MΩ

Last R:

20.0 MΩ

Generatorstatus:

Generator aktiv!

1

00h 01m 06s

Verstärkung

Ladung (nC)

494.0

4

Stopptzeit

150

sec

min

5

Aufnahme starten

Autom. Messmodus

Arbeitsschritte

Kabeldaten

Kalibrierung

Messung

Auswertung

Bericht

Beenden

# Ablauf der Teilentladungsmessung

Auswertung der Teilentladungsmessung

Auswertung starten

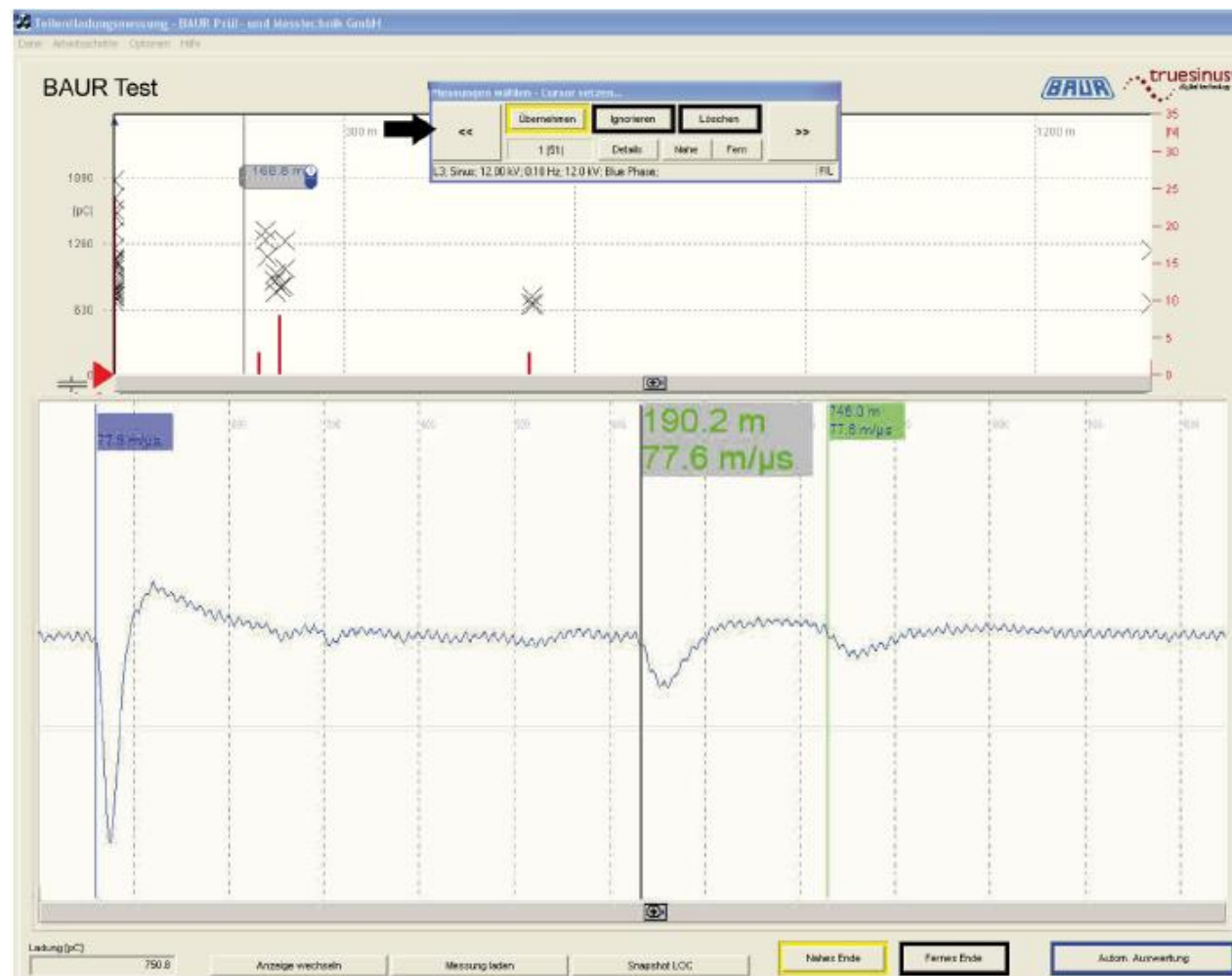
3 Anzeigemodi:

- PD-Diagramm
- LOC-Graph
- Kombiniert

Phasenaufgelöste Darstellung

# Auswertung der Teilentladungsmessung

Kombinierte Ansicht



# Auswertung der Teilentladungsmessung

Steuerungsleiste

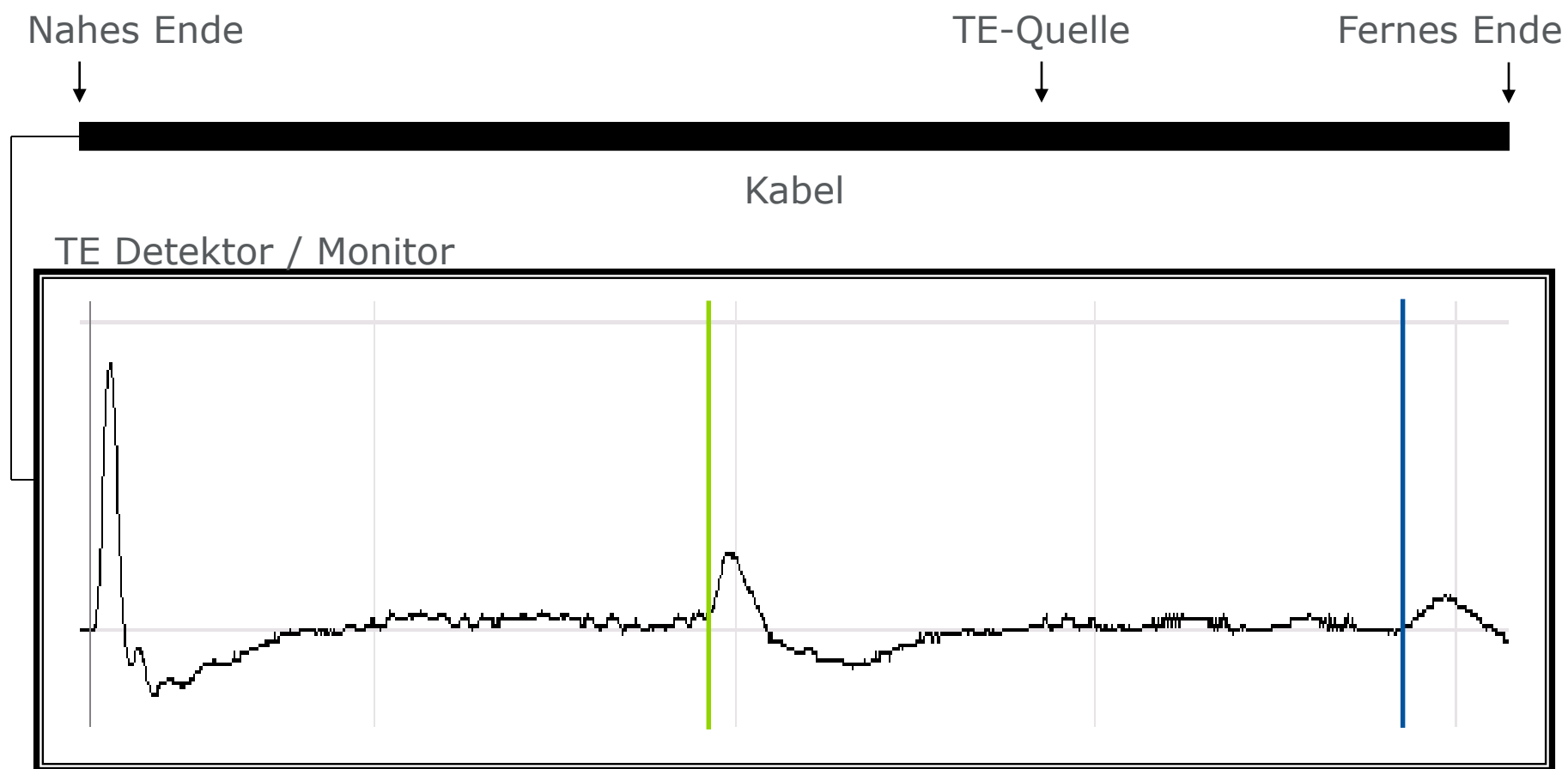
Messungen wählen - Cursor setzen...

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

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

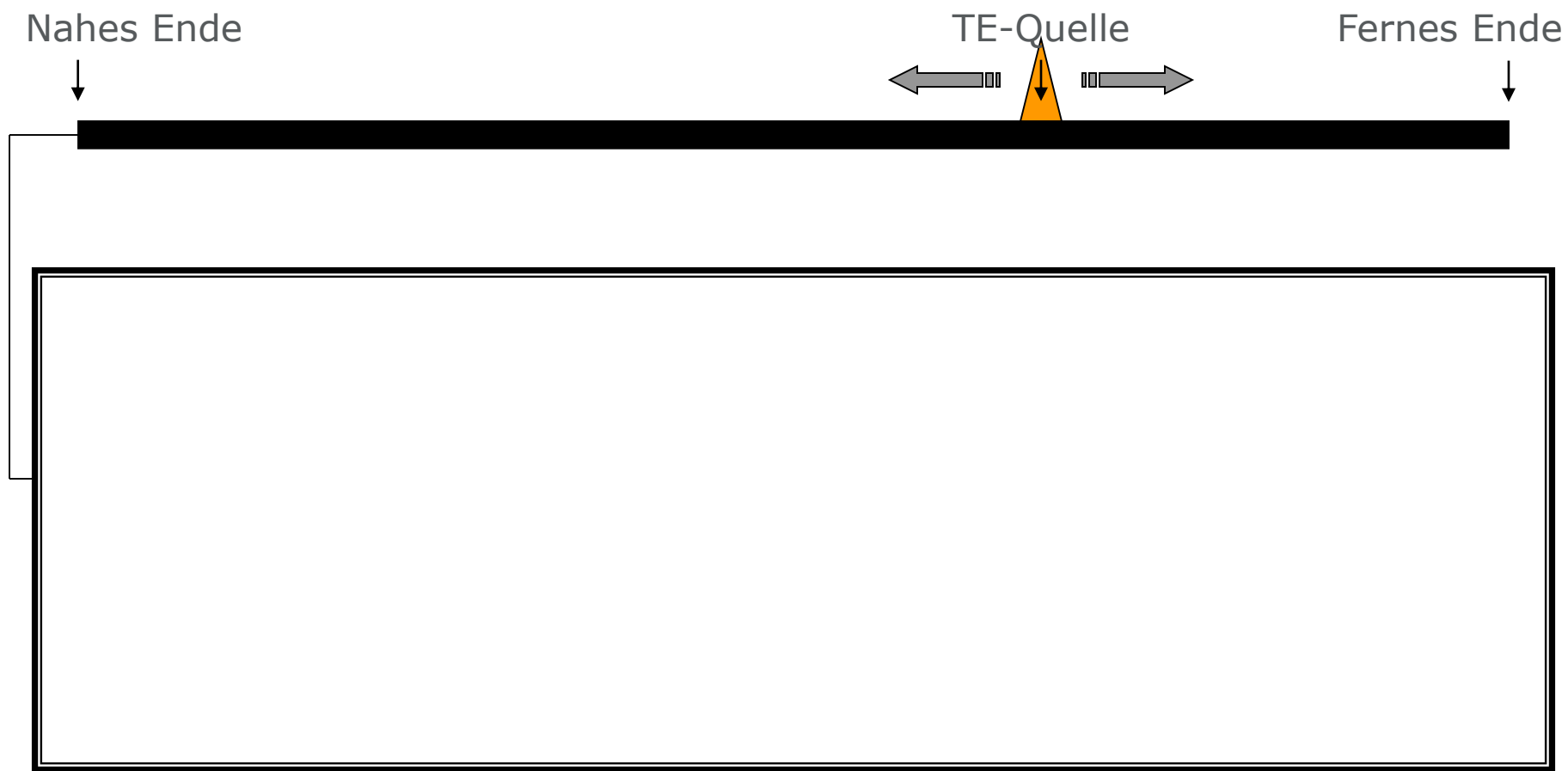
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

Messaufbau



# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

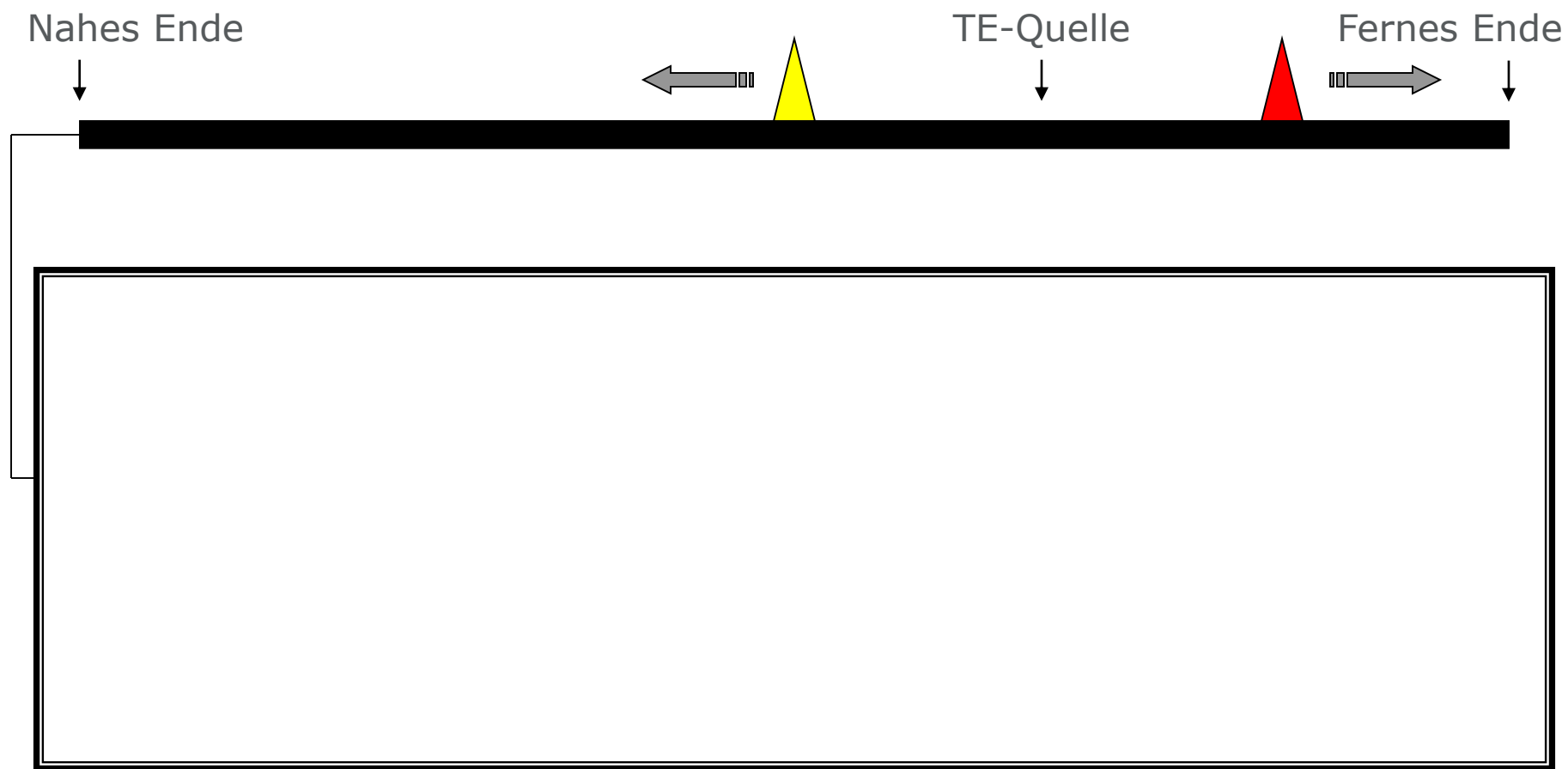
## 1. Entstehung





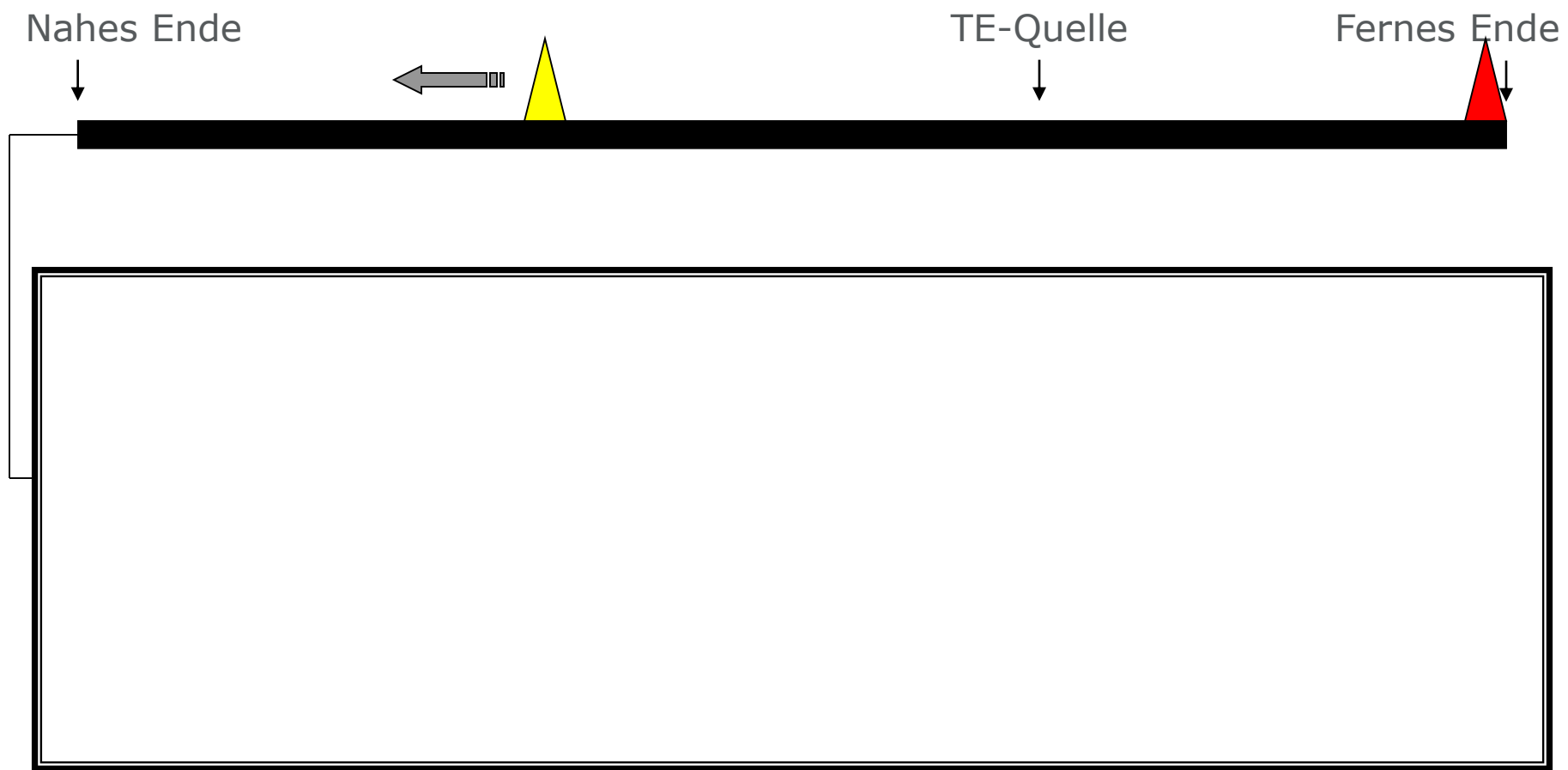
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 2. Ausbreitung



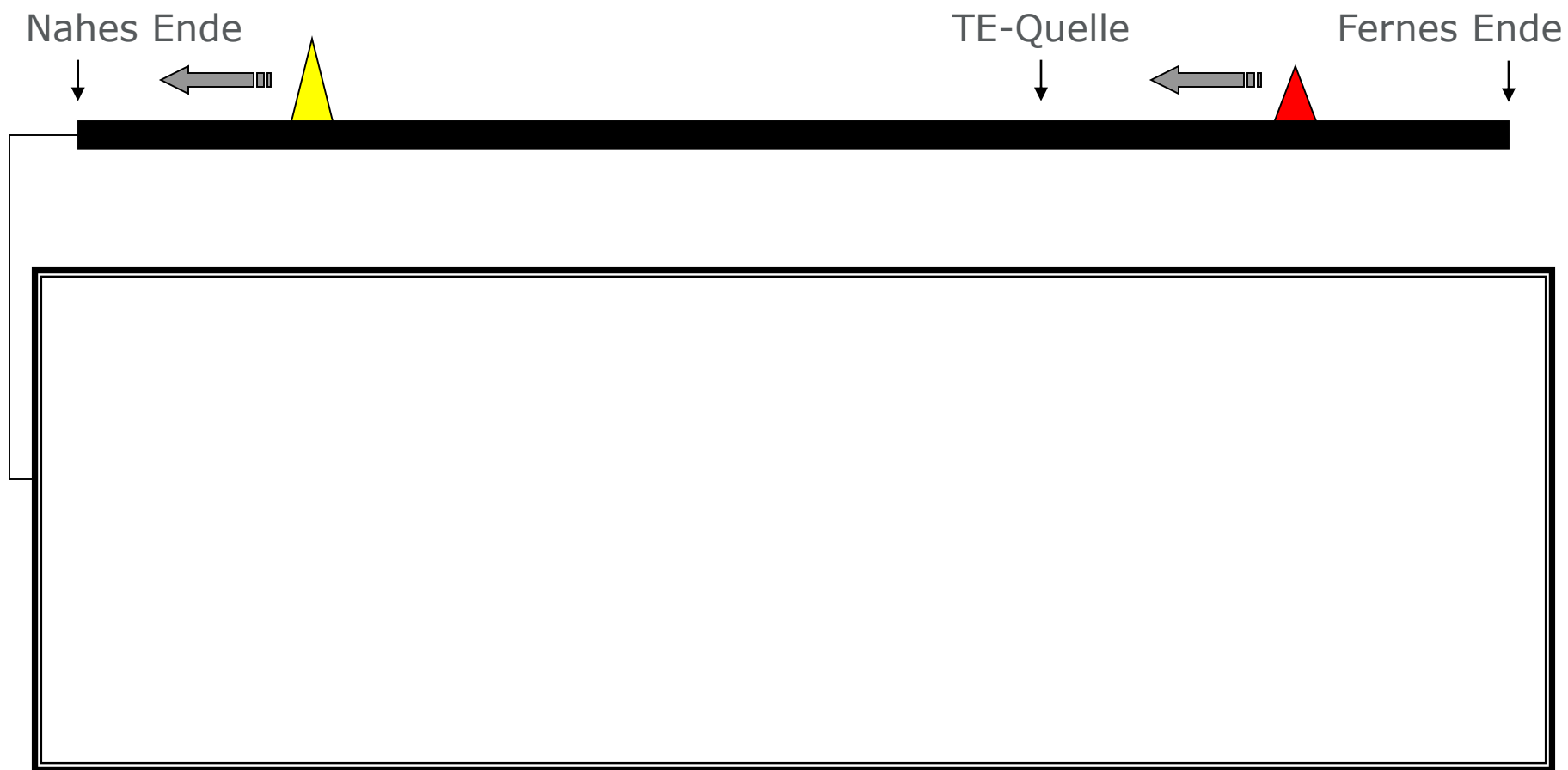
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 3. Reflexion am fernen Ende



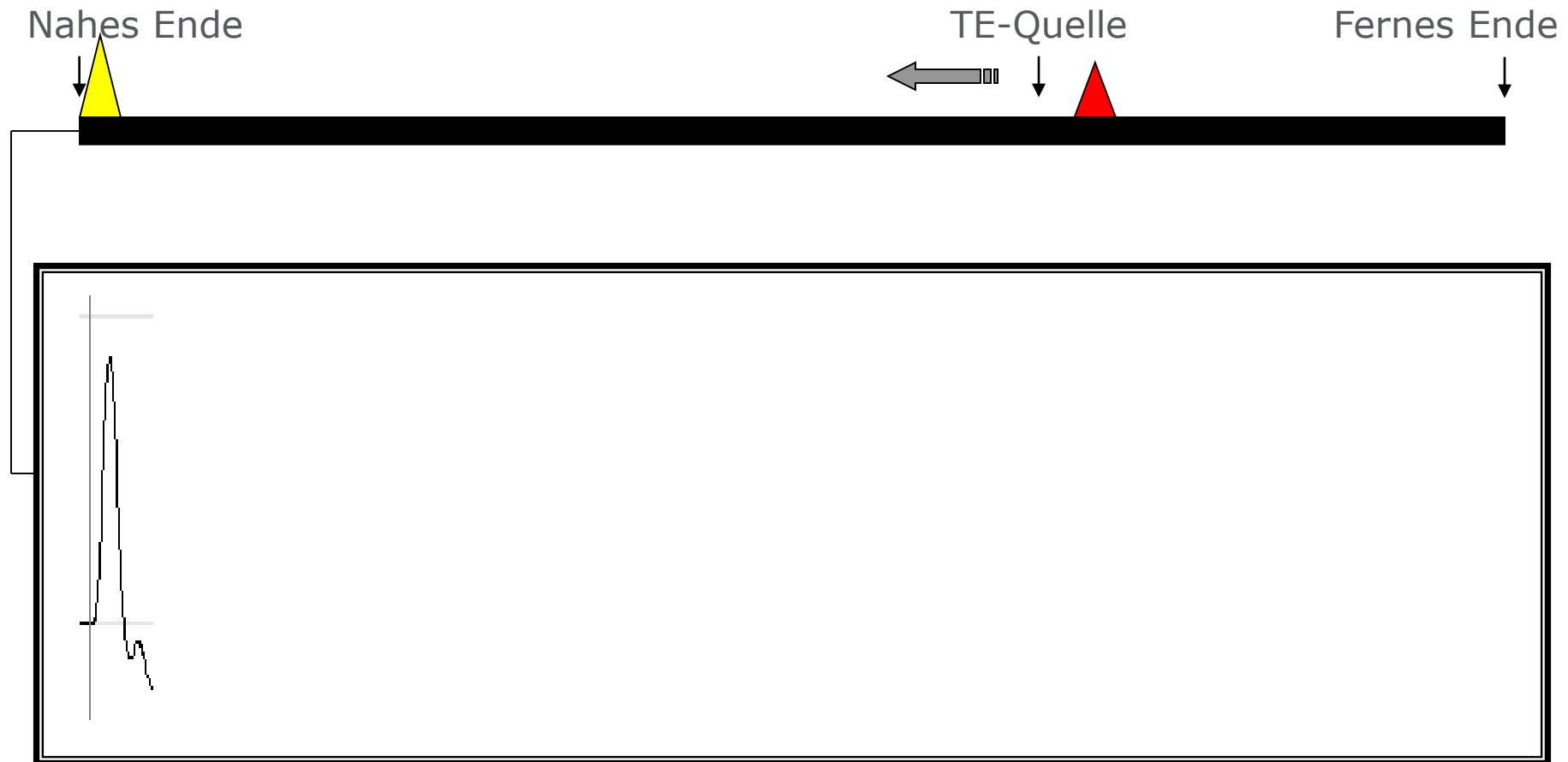
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 4. Ausbreitung



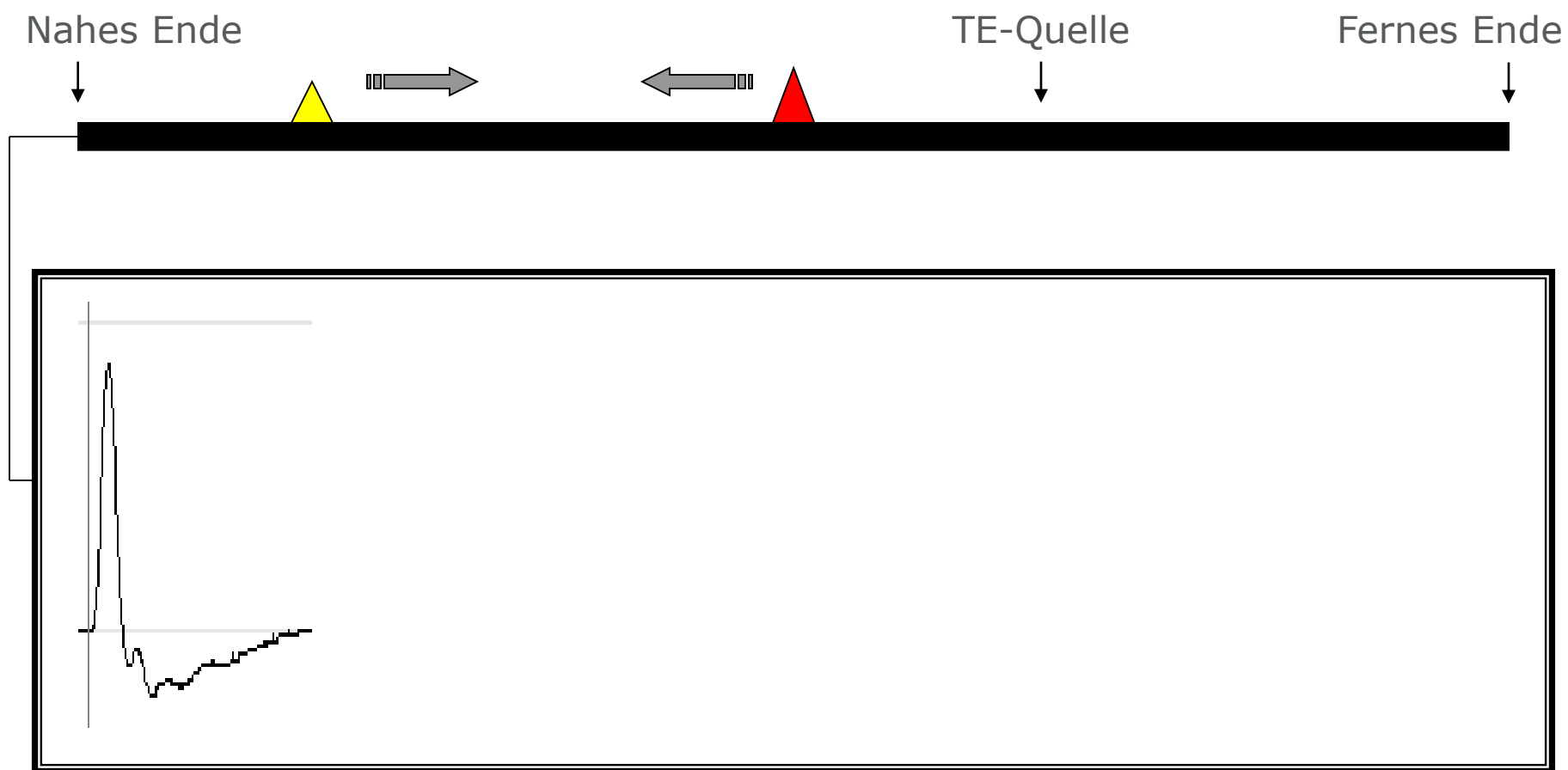
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 5. Triggerung des Detektors und Reflektion am nahen Ende



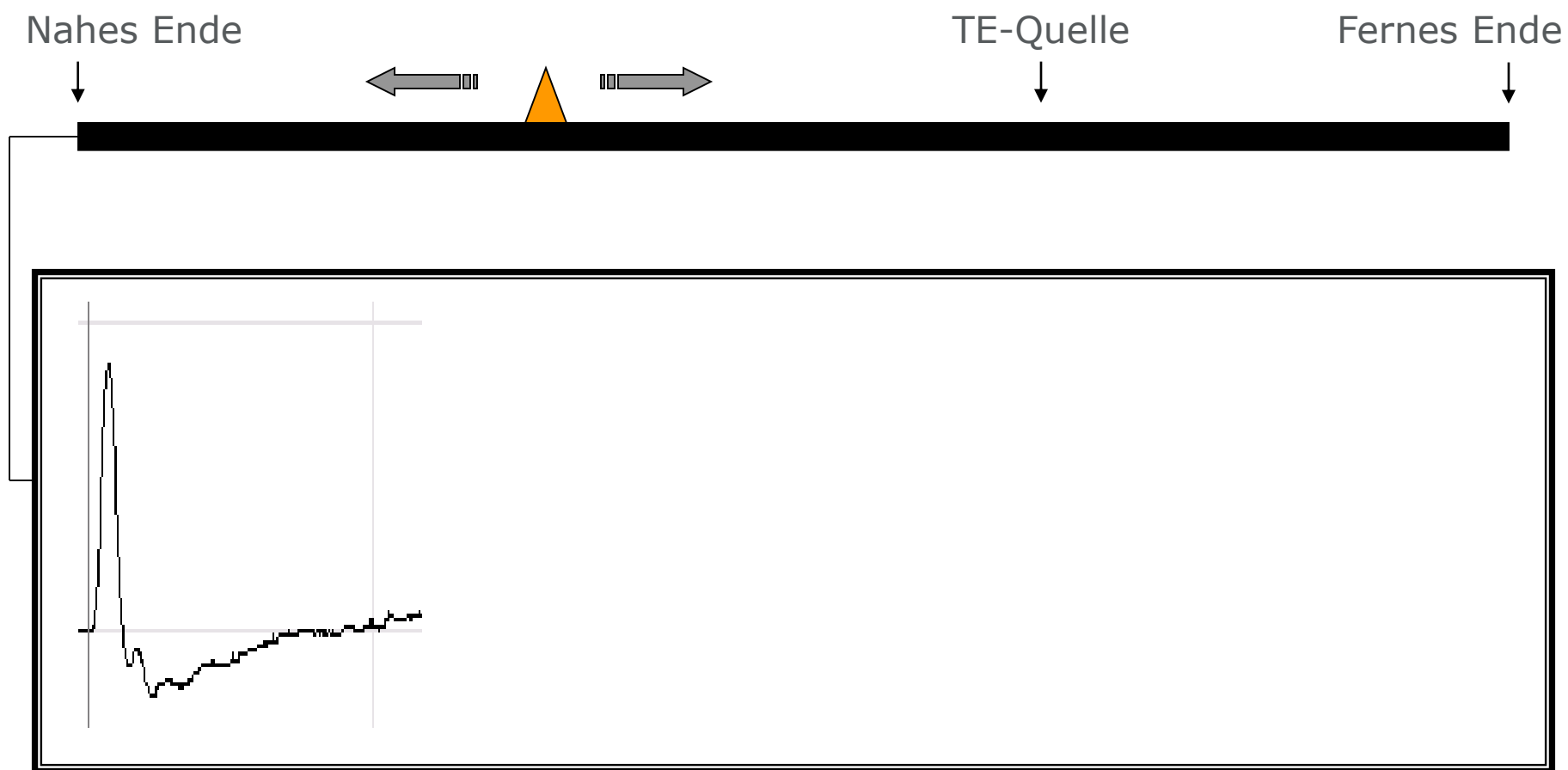
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 6. Ausbreitung



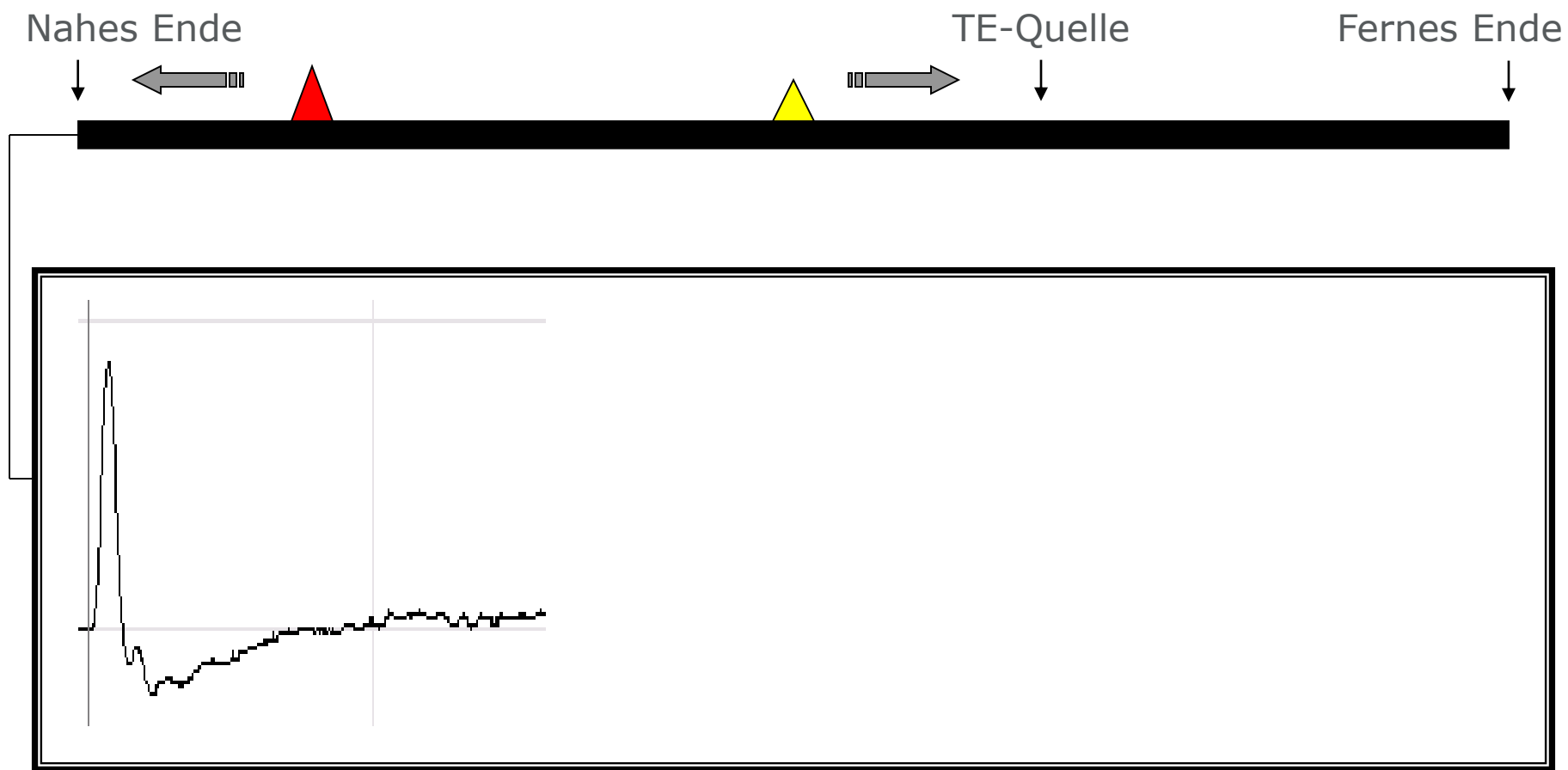
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 7. Ausbreitung



# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

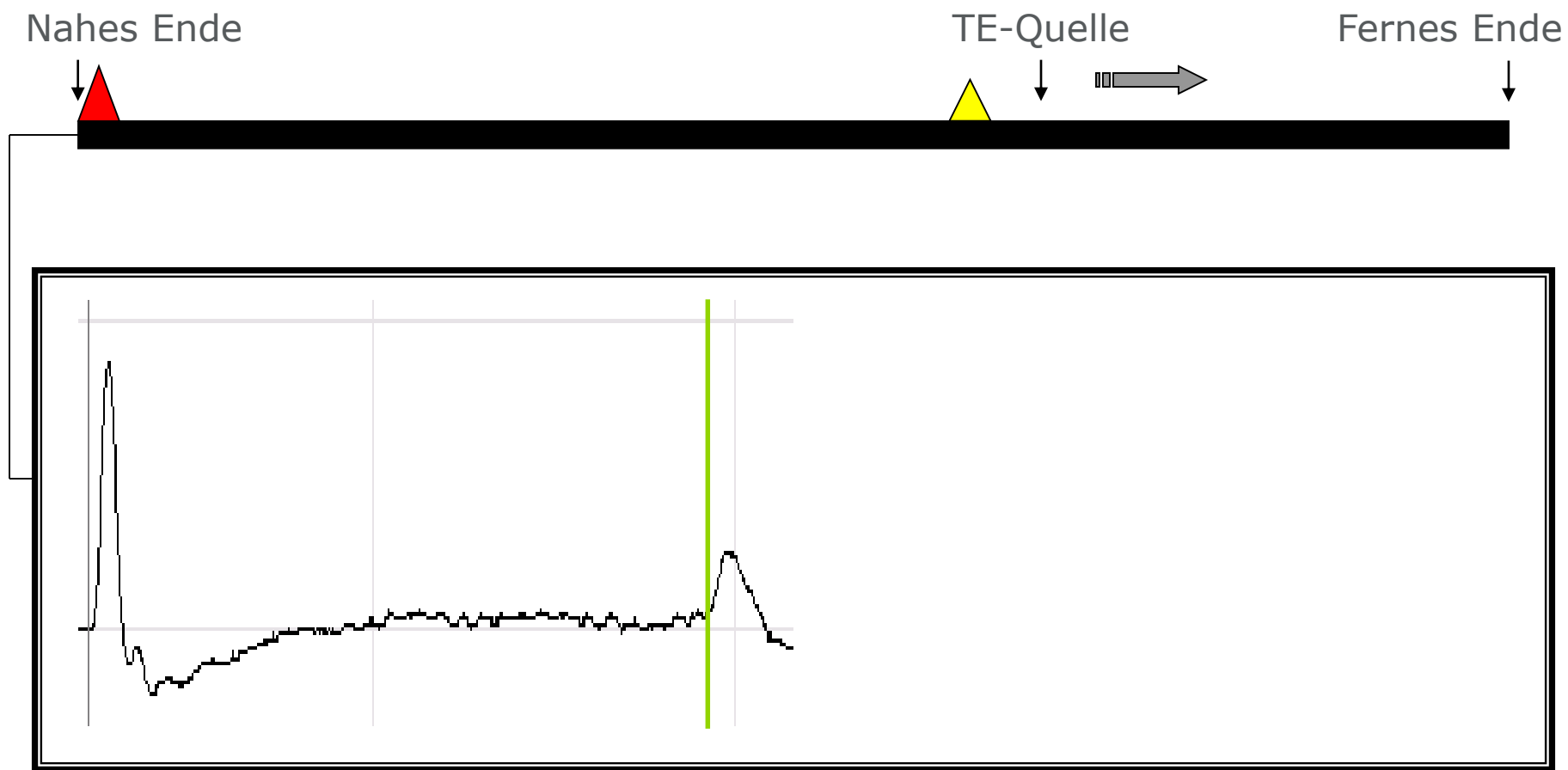
## 8. Ausbreitung





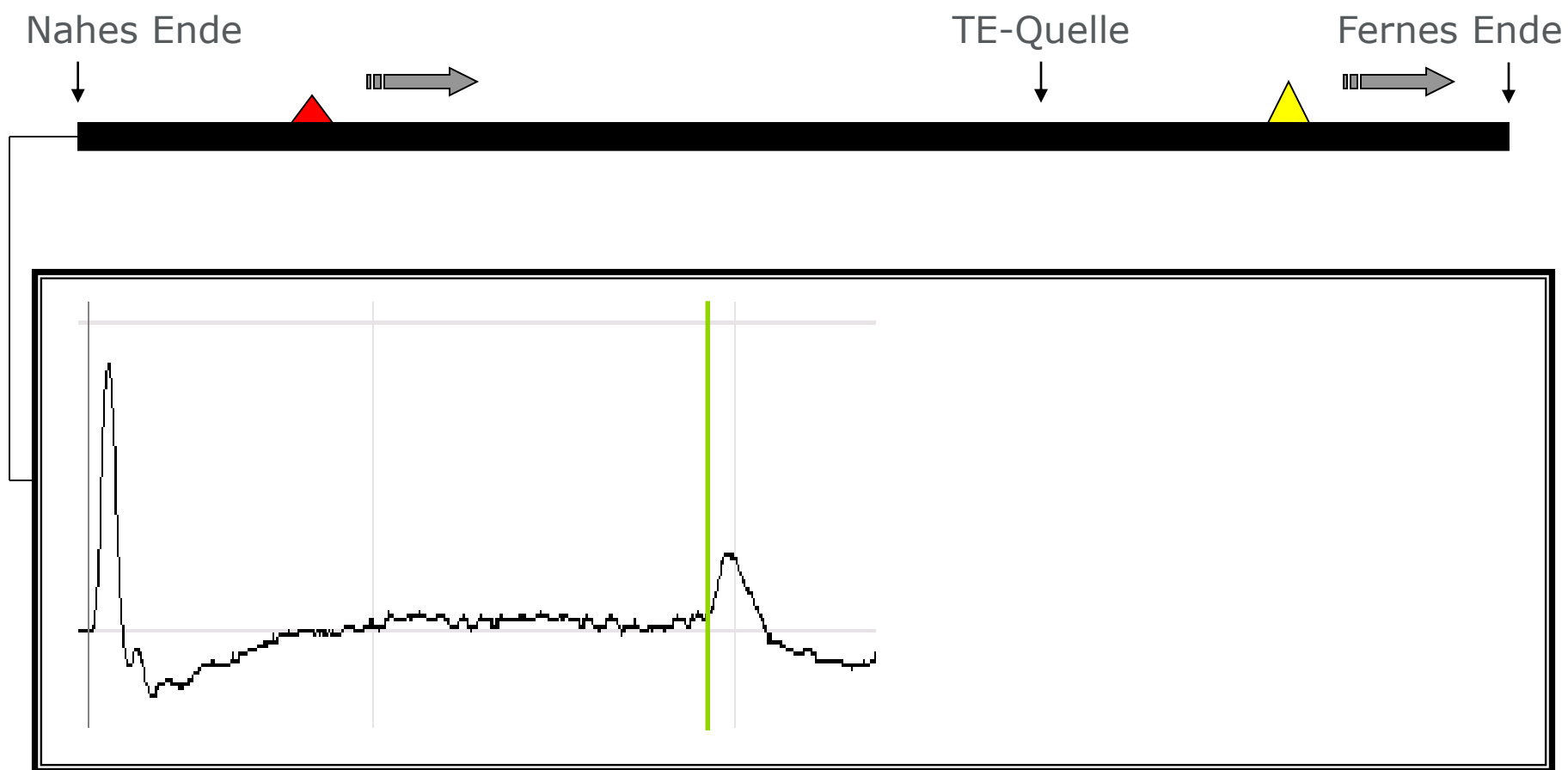
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 9. Reflexion am nahen Ende



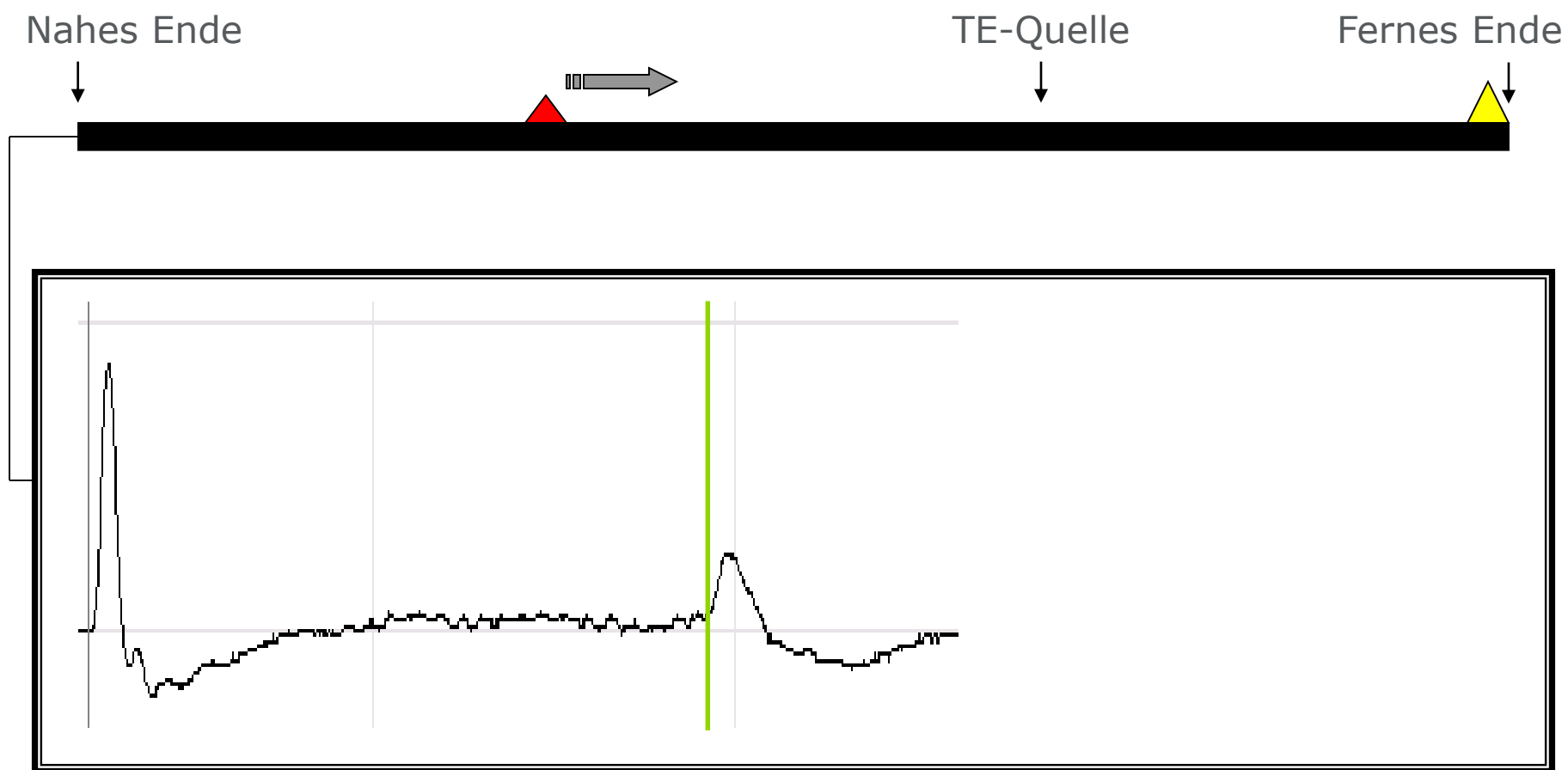
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 10. Ausbreitung



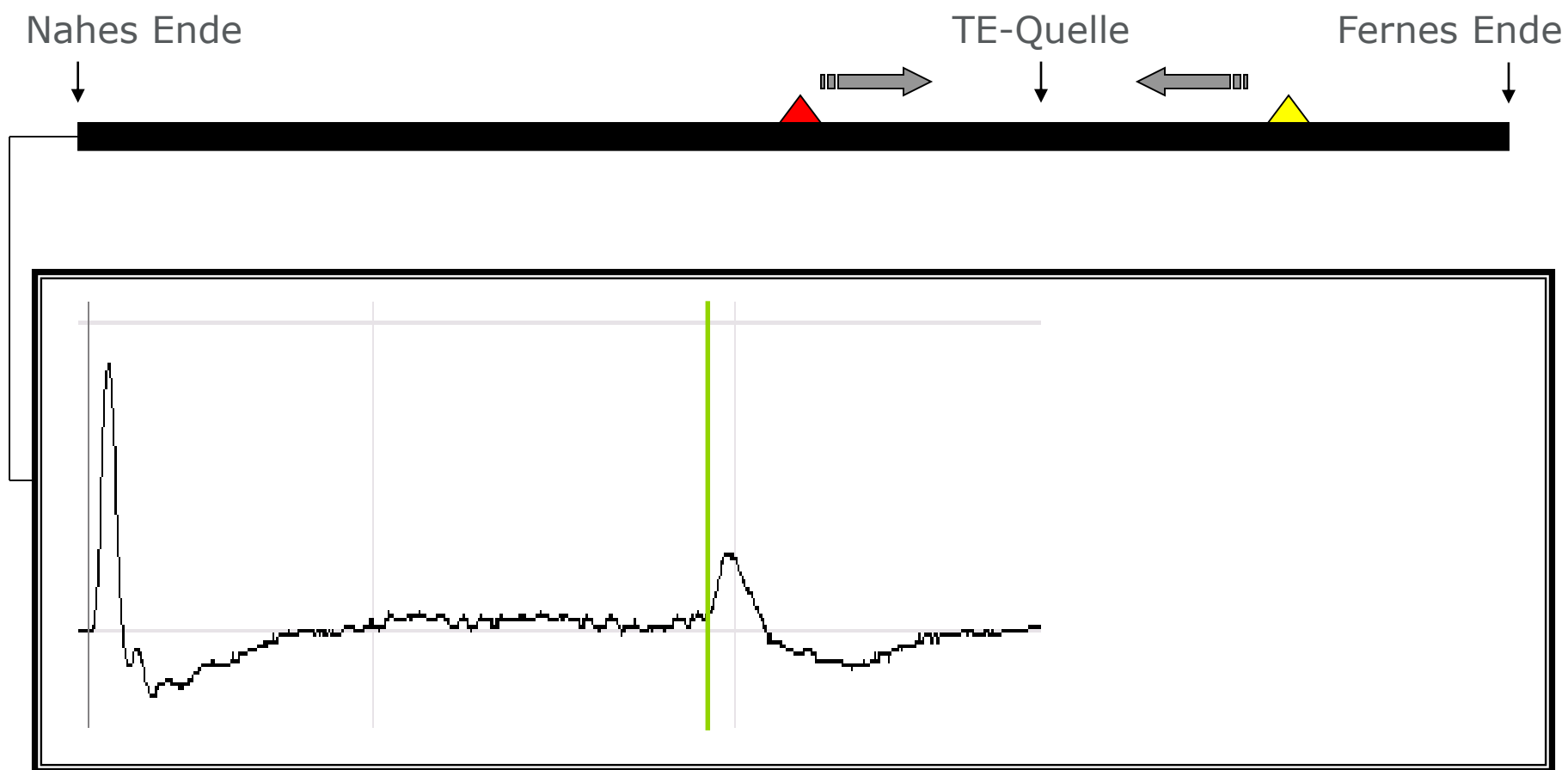
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 11. Reflexion am fernen Ende



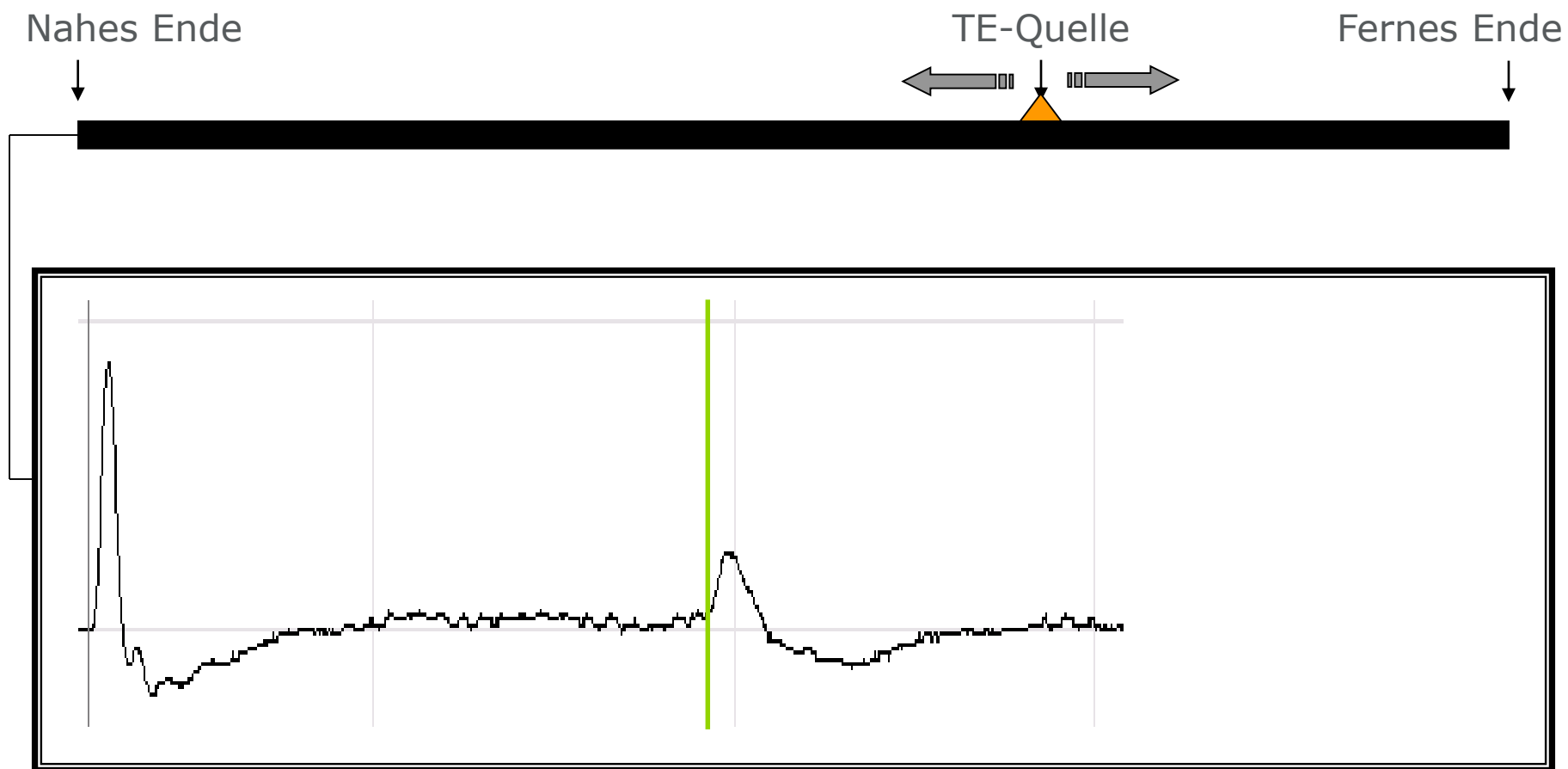
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 12. Ausbreitung



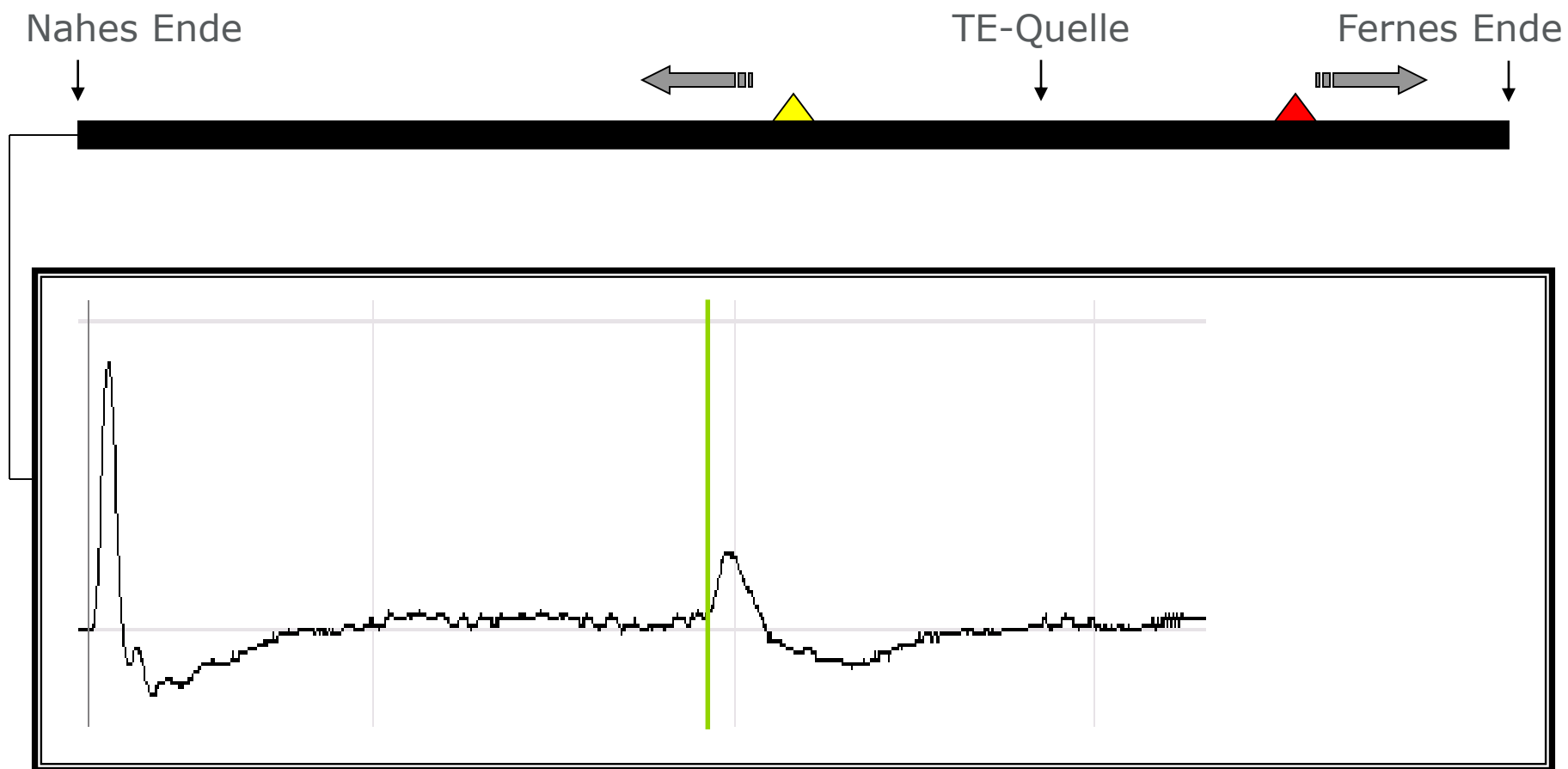
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 13. Ausbreitung



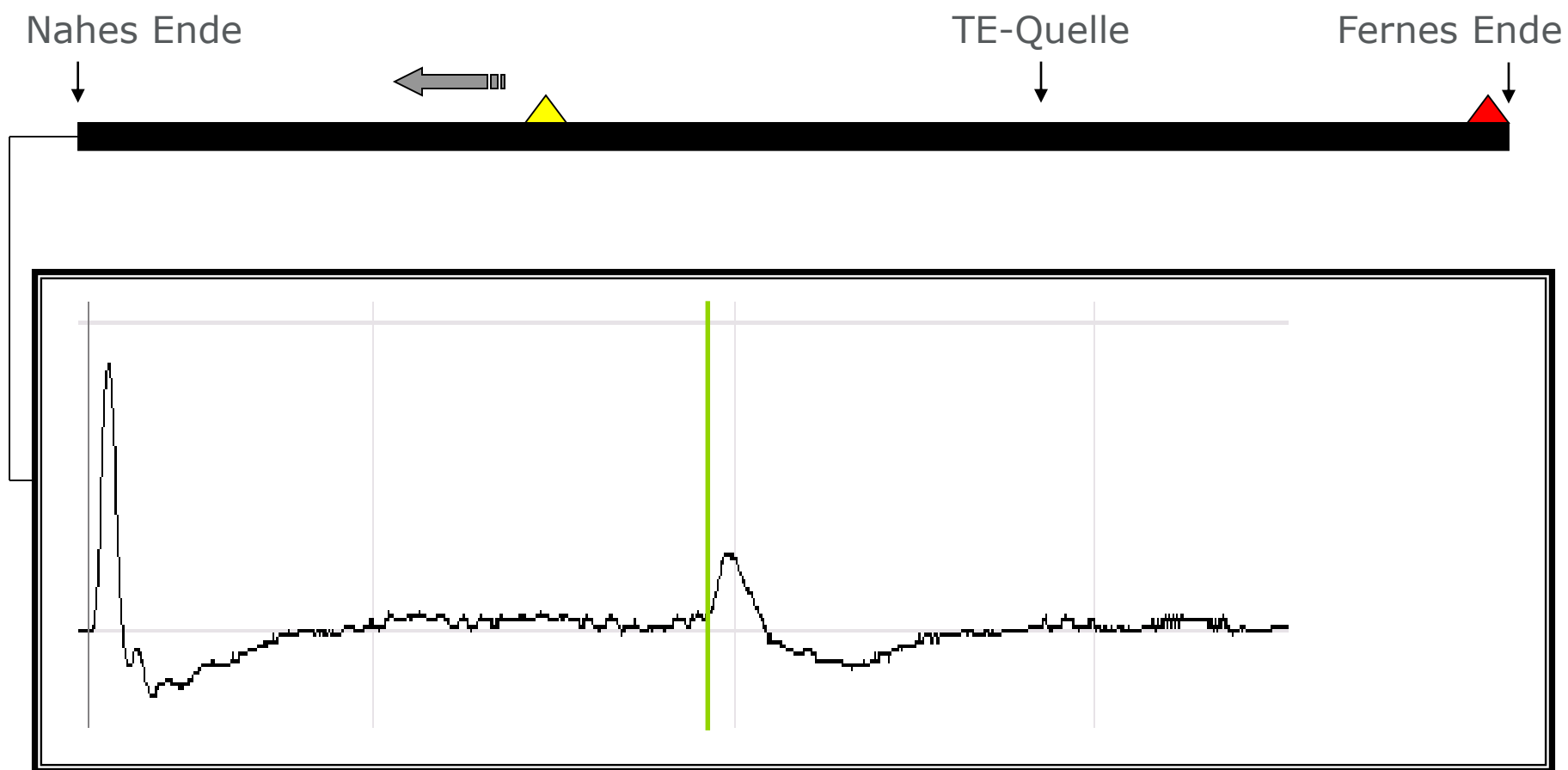
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 14. Ausbreitung



# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

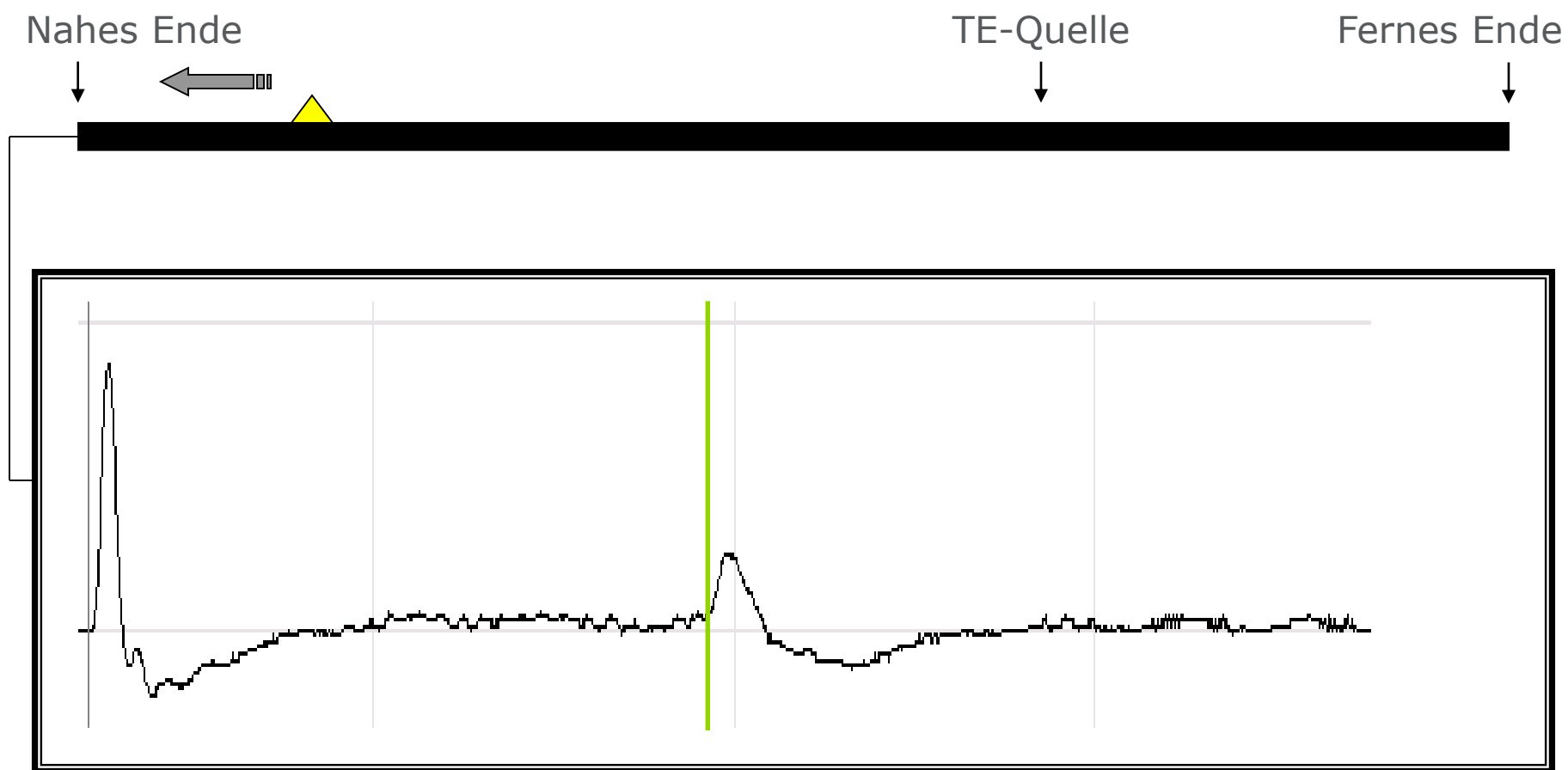
## 15. Reflexion am fernen Ende





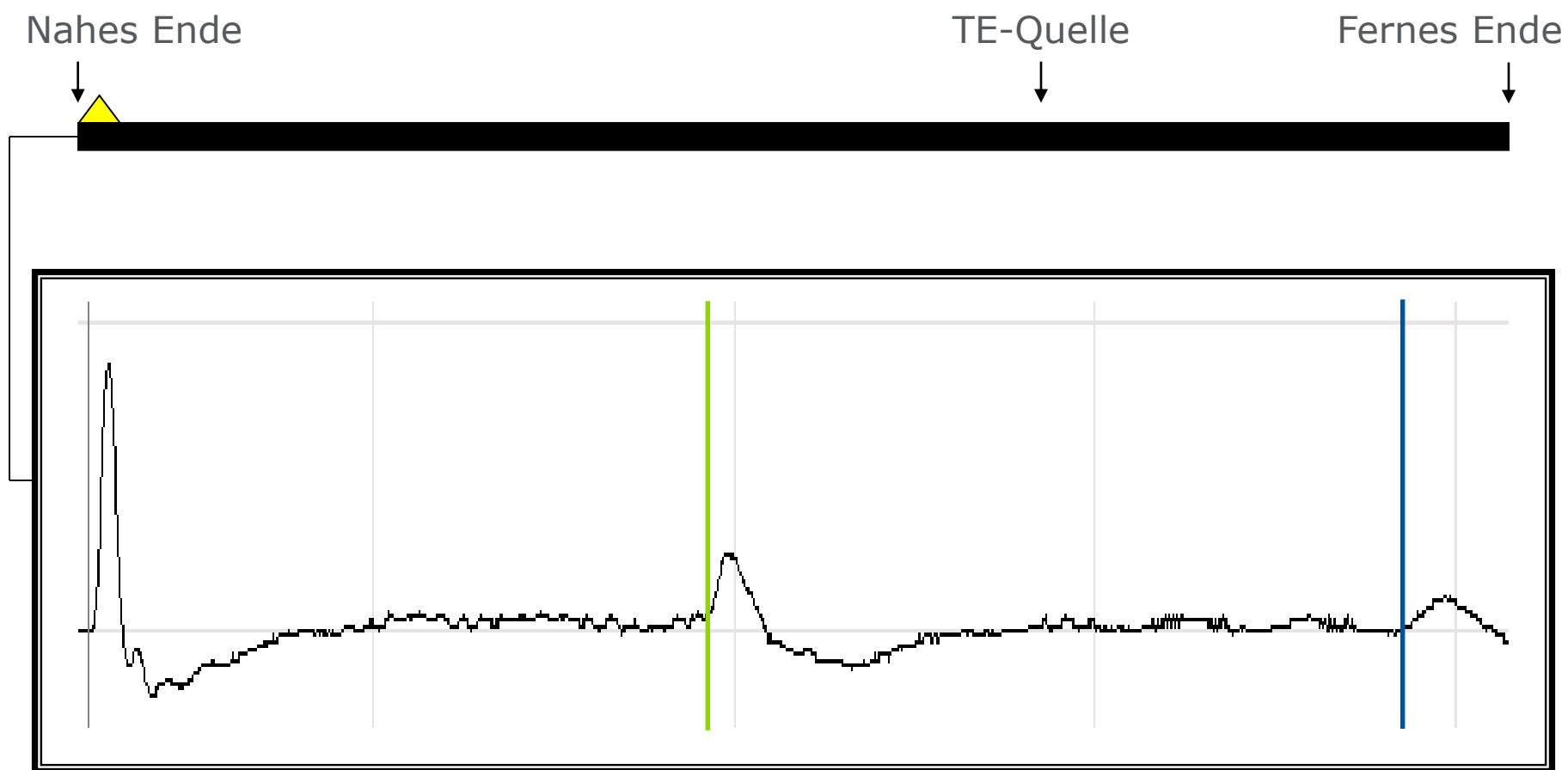
# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

## 16. Ausbreitung

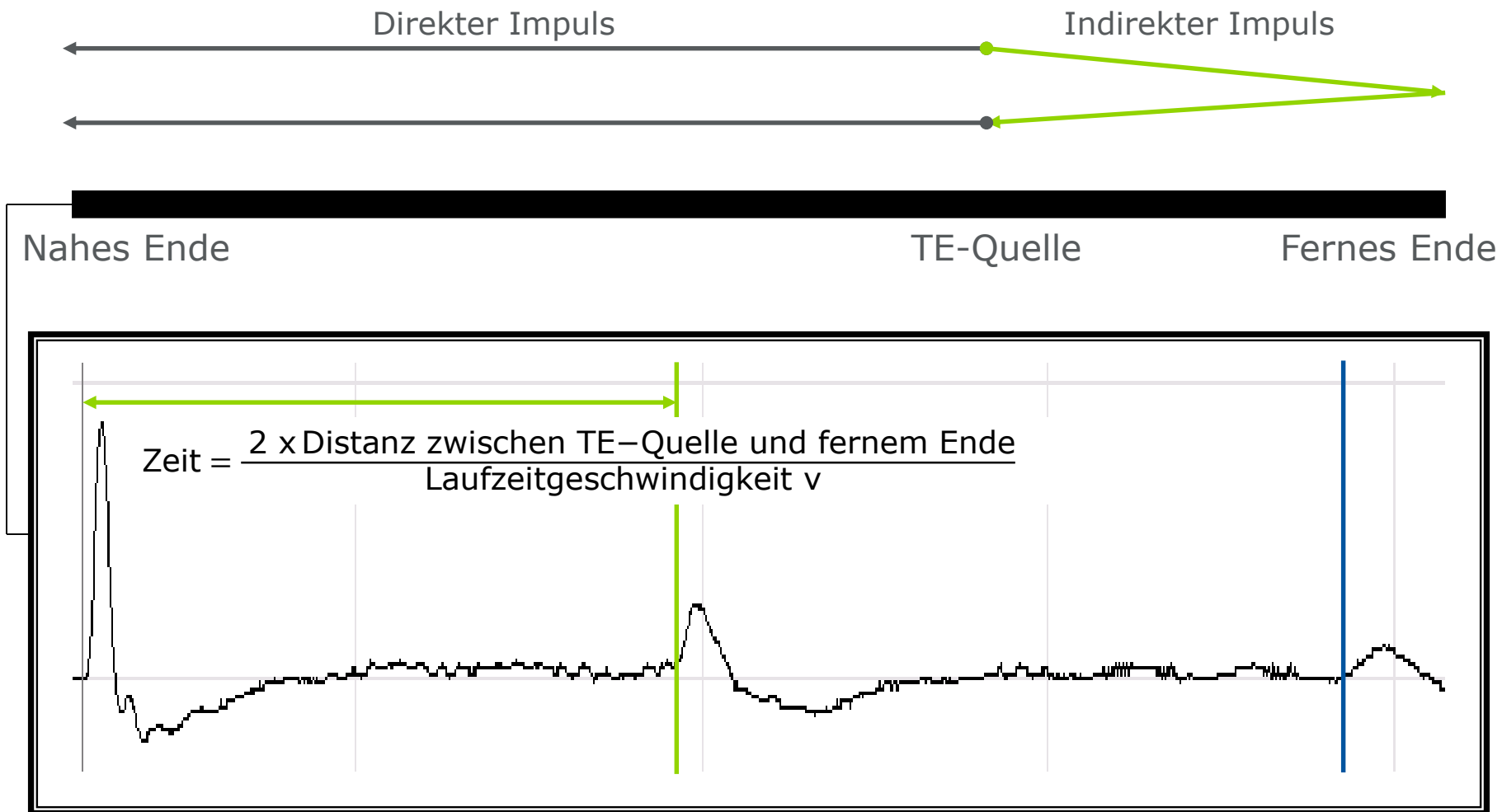


# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

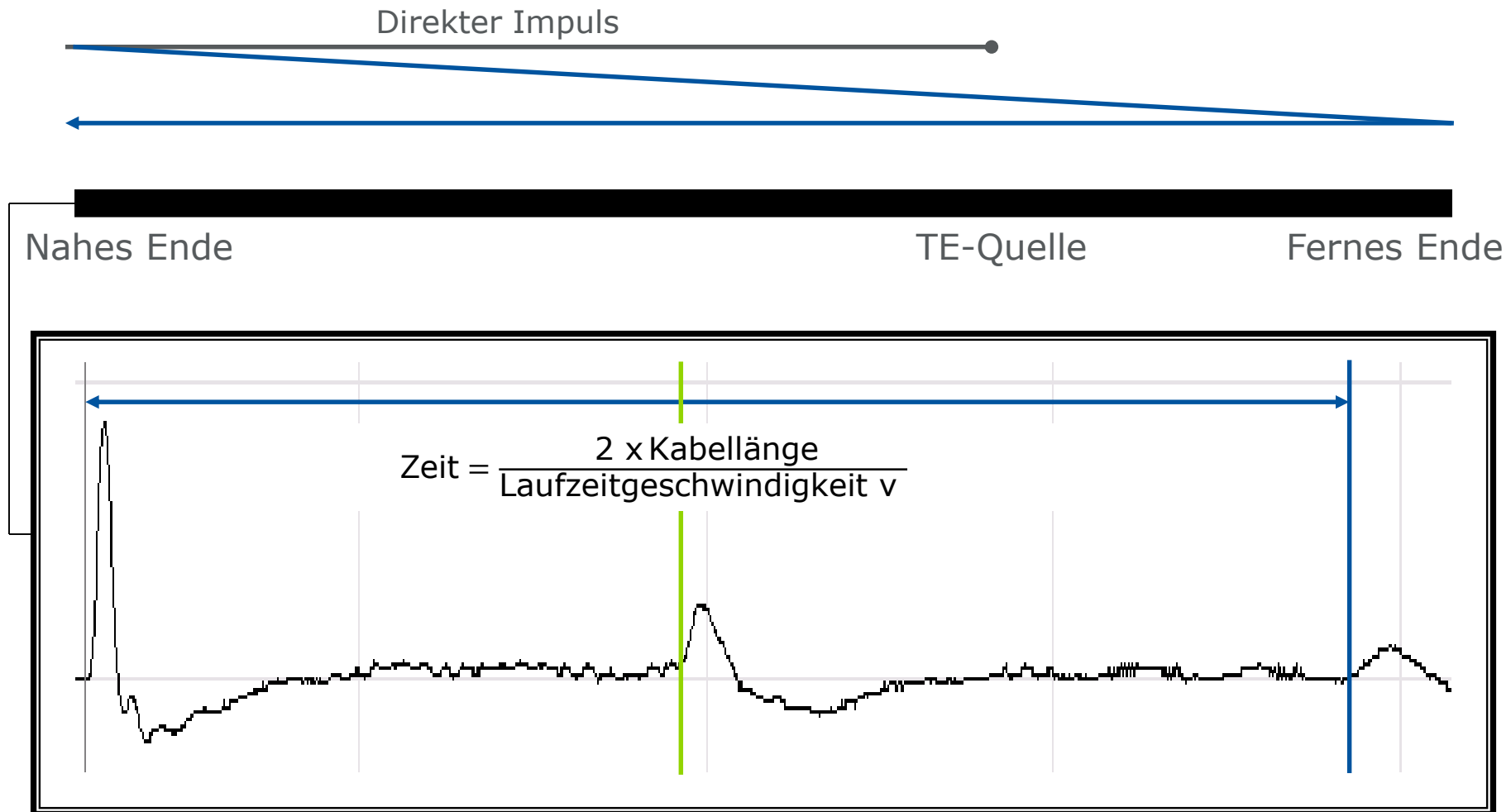
## 17. Reflexion am nahen Ende



## Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

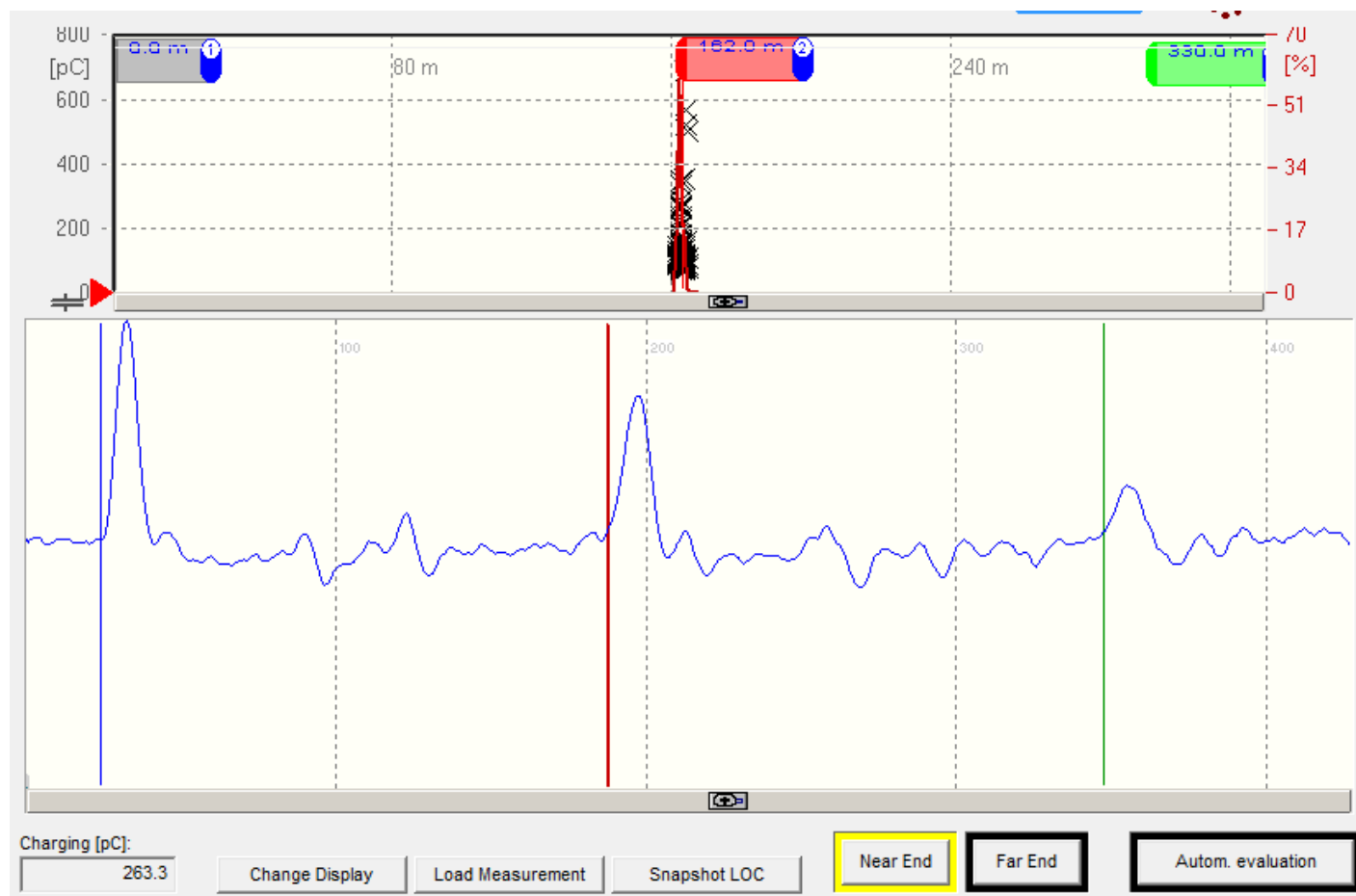


## Ortung von Teilentladungen in einem Kabel



# Ortung von Teilentladungen in einem Kabel

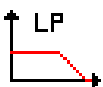
Darstellung in der Software

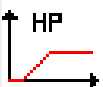


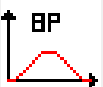
# Auswertung

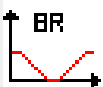
## TE-Frequenzfilter

### TE-Frequenzfilter

☐

☐

☐

☐

MHz

MHz

# Auswertung

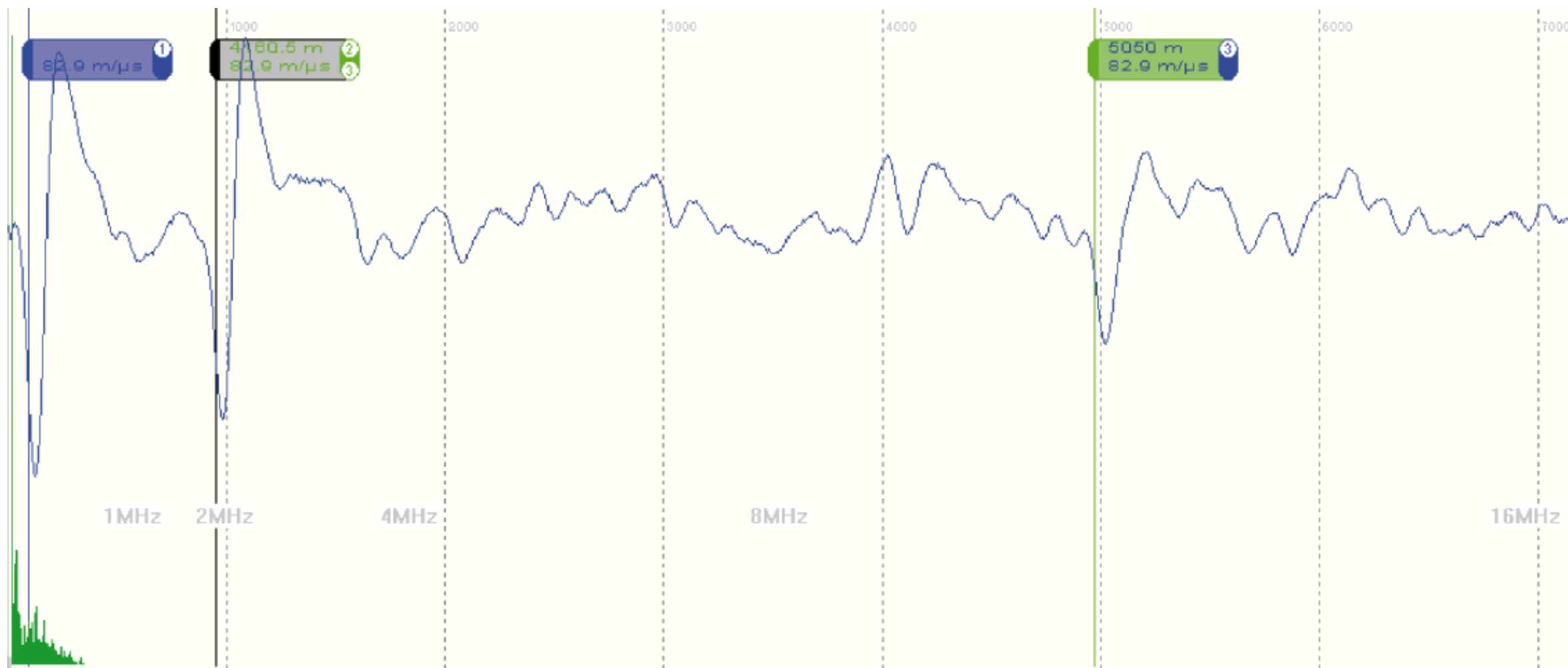
## TE-Frequenzfilter





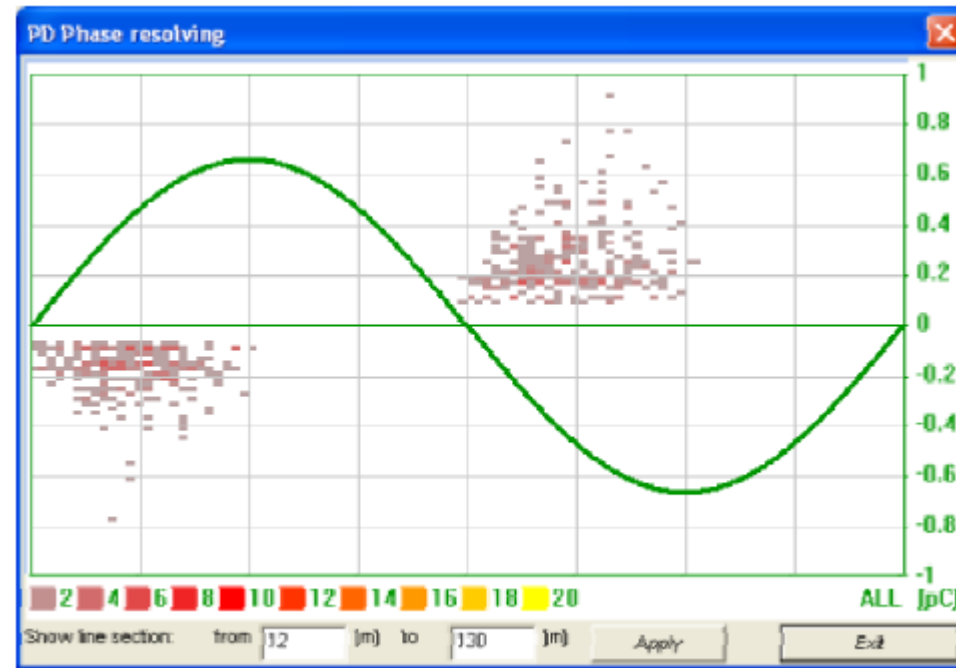
# Auswertung

## TE-Frequenzfilter



# Auswertung

## TE-Phasenauflösung

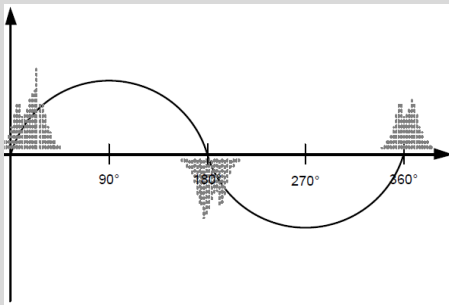


- Darstellung TE-Pegel und TE-Häufigkeit
- in Bezug auf Phasenwinkel
- Unterscheidung zwischen inneren und äußeren TE

# Auswertung

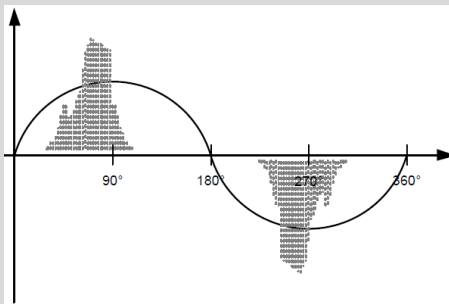
## TE-Phasenauflösung

### 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

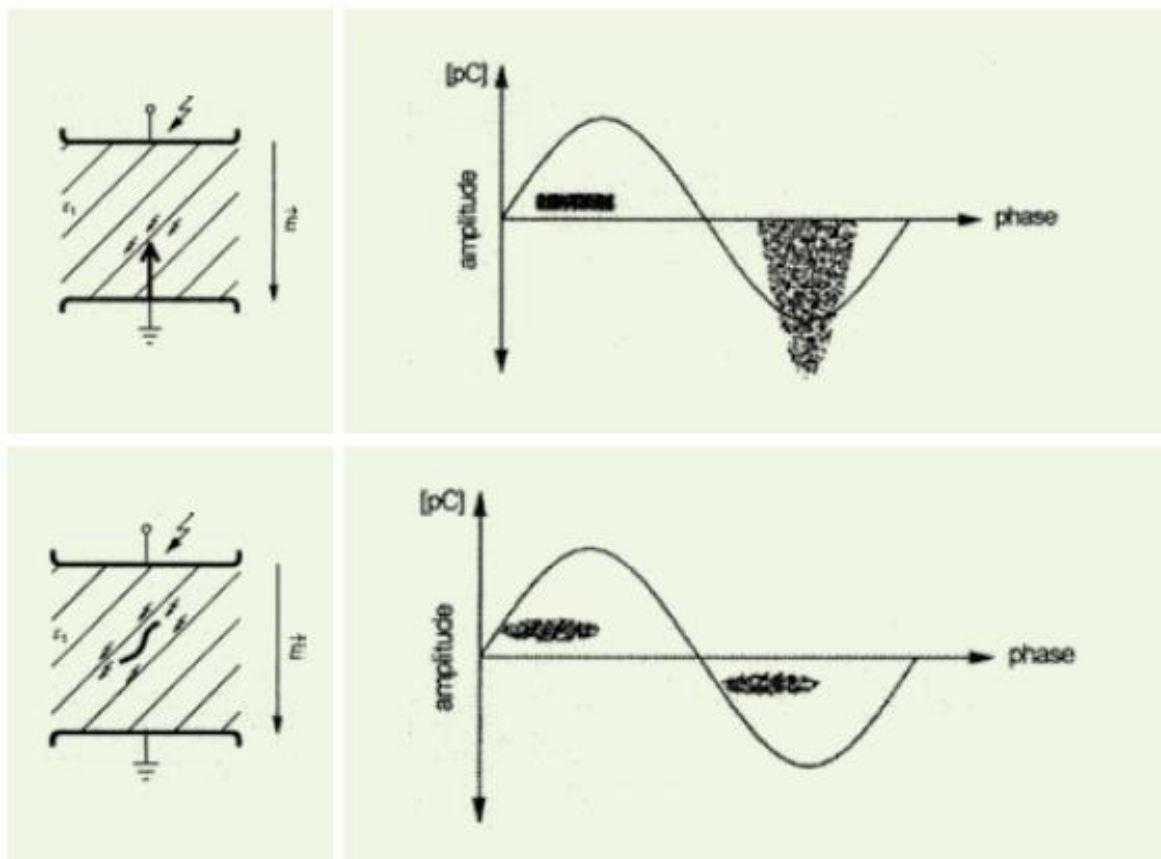
### Äußere Teilentladungen



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

# Auswertung

## TE-Phasenauflösung

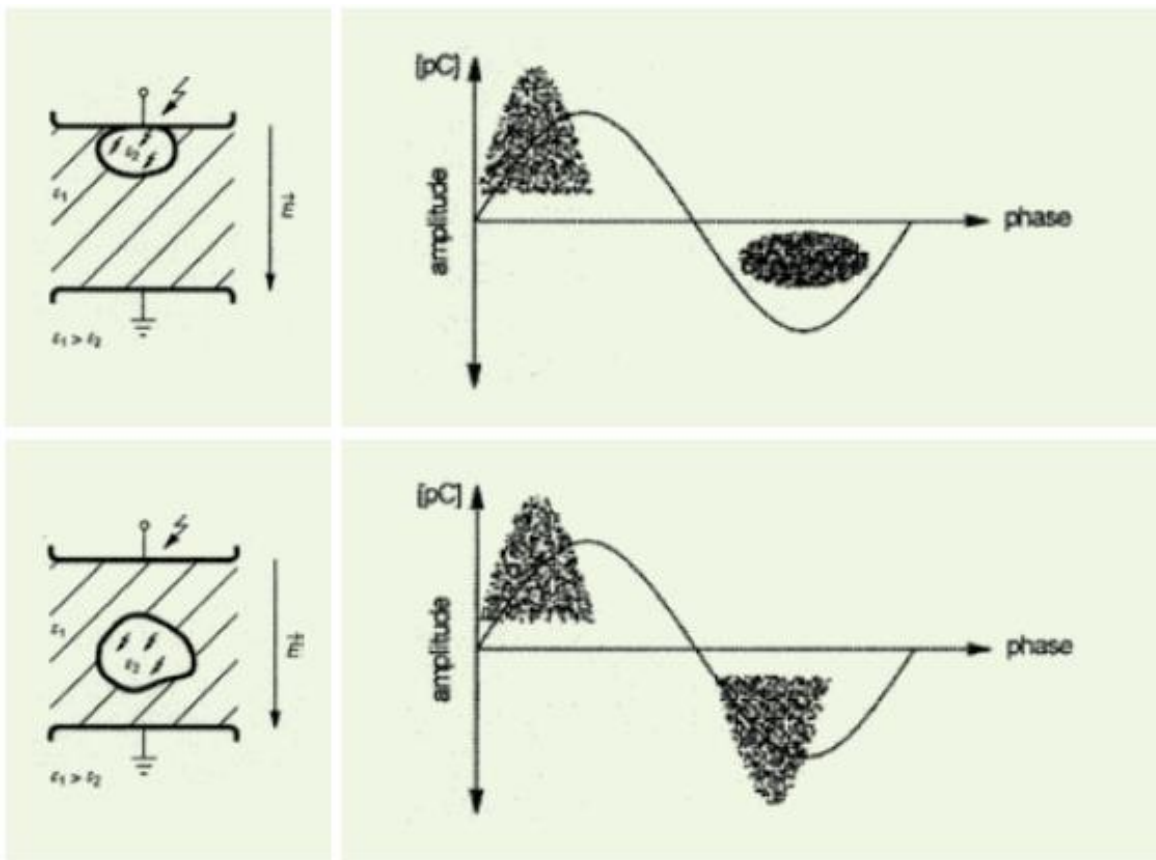


### Leitende Teile im Isoliermedium

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

# Auswertung

## TE-Phasenauflösung



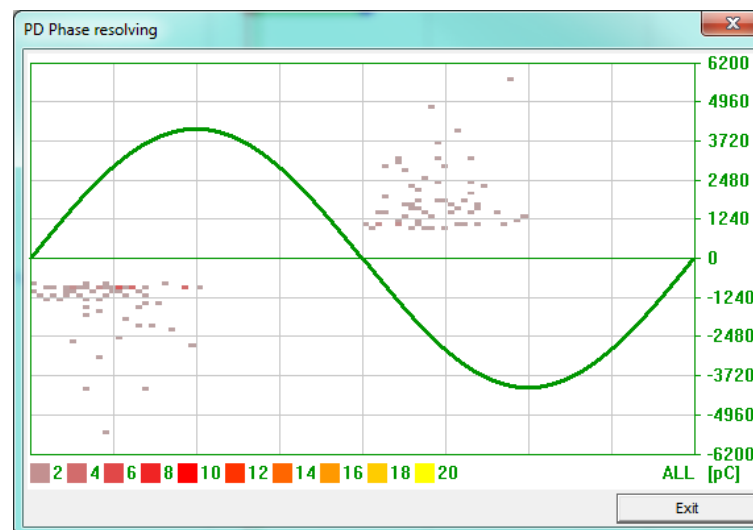
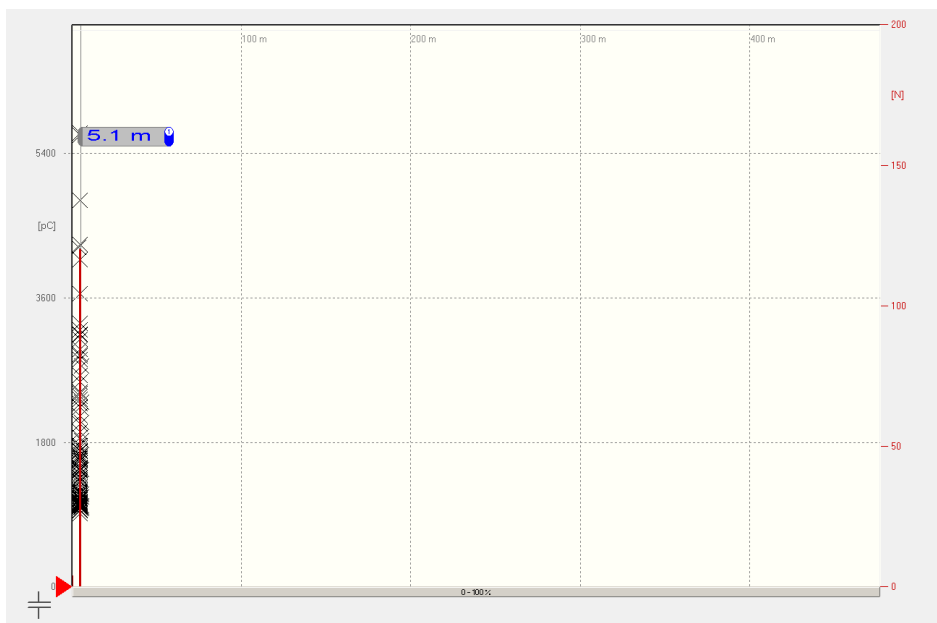
### Nicht-Leitende Teile im Isoliermedium

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

# Auswertung

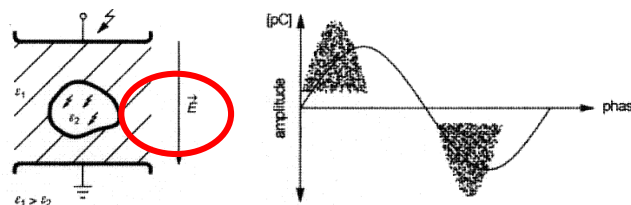
## TE-Phasenauflösung

### Beispiel:



### Vermutung:

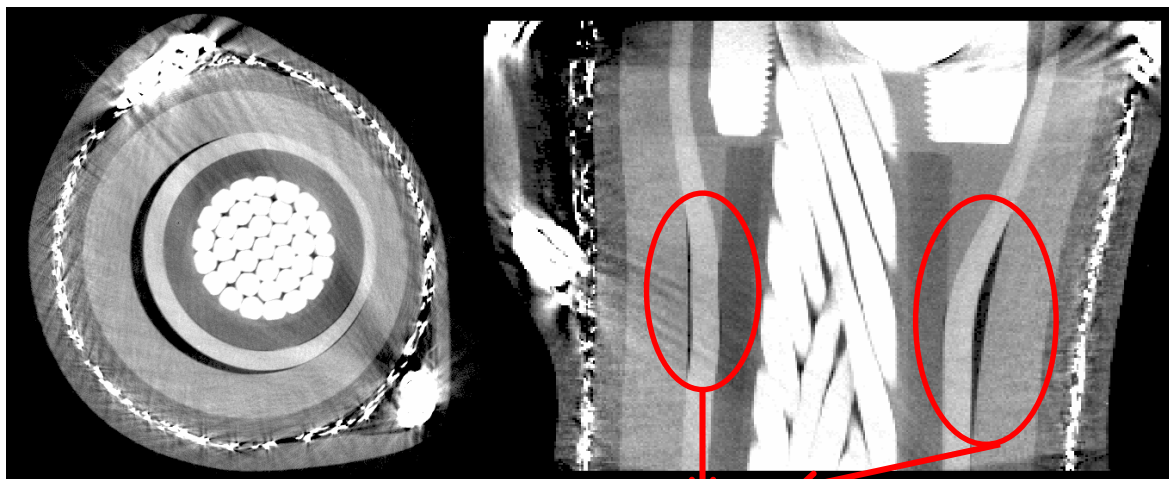
Nicht leitendes Material ohne direktem Kontakt zur metallischen Elektrode.



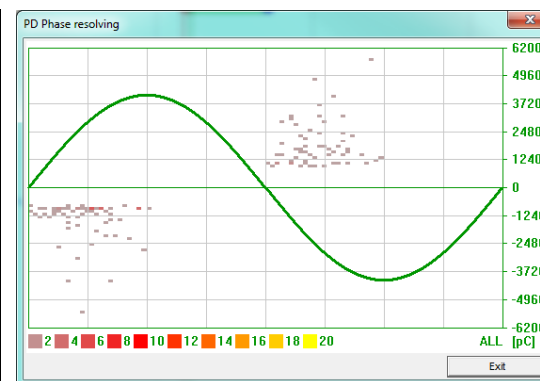
# Auswertung

## TE-Phasenauflösung

### Städtische Werke Magdeburg

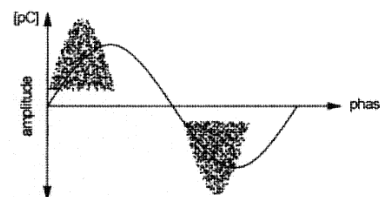
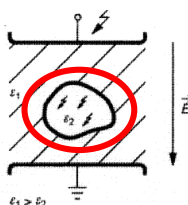


Lufteinschluss zwischen Isolierkörper  
und Feldsteuerung



### Vermutung:

Nicht leitendes Material ohne direktem  
Kontakt zur metallischen Elektrode.



# VLF-Spannungsquelle

	1xU <sub>0</sub>				1,5xU <sub>0</sub>				1,7xU <sub>0</sub>				2xU <sub>0</sub>				2,5xU <sub>0</sub>			
Joint fault	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

	1xU <sub>0</sub>				1,5xU <sub>0</sub>				1,7xU <sub>0</sub>				2xU <sub>0</sub>				2,5xU <sub>0</sub>			
Joint fault	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

	1xU <sub>0</sub>				1,5xU <sub>0</sub>				1,7xU <sub>0</sub>				2xU <sub>0</sub>				2,5xU <sub>0</sub>			
Joint fault	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																				

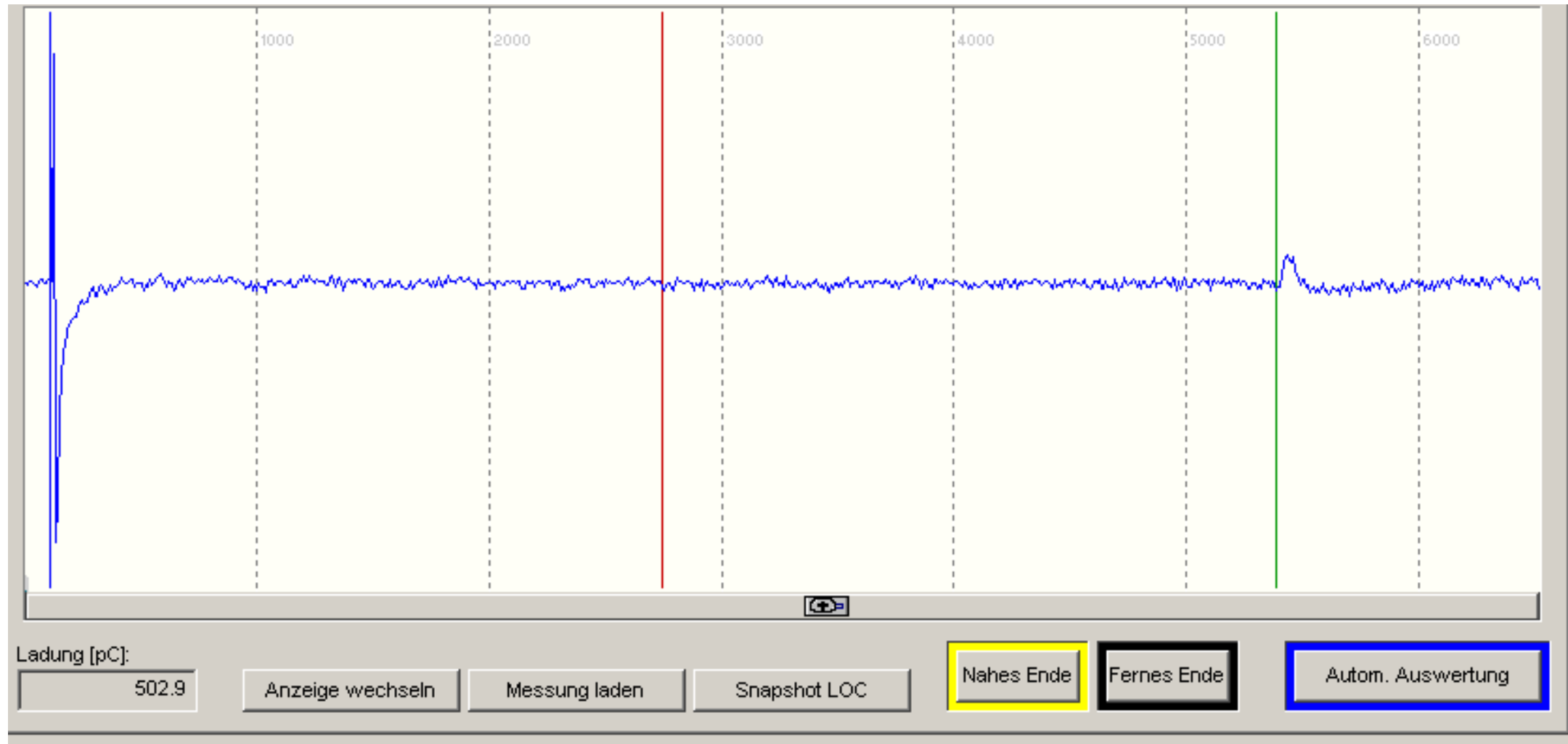
### Vergleich TE-Sensitivität

- BAUR
- Gedämpfte Wechselspannung

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

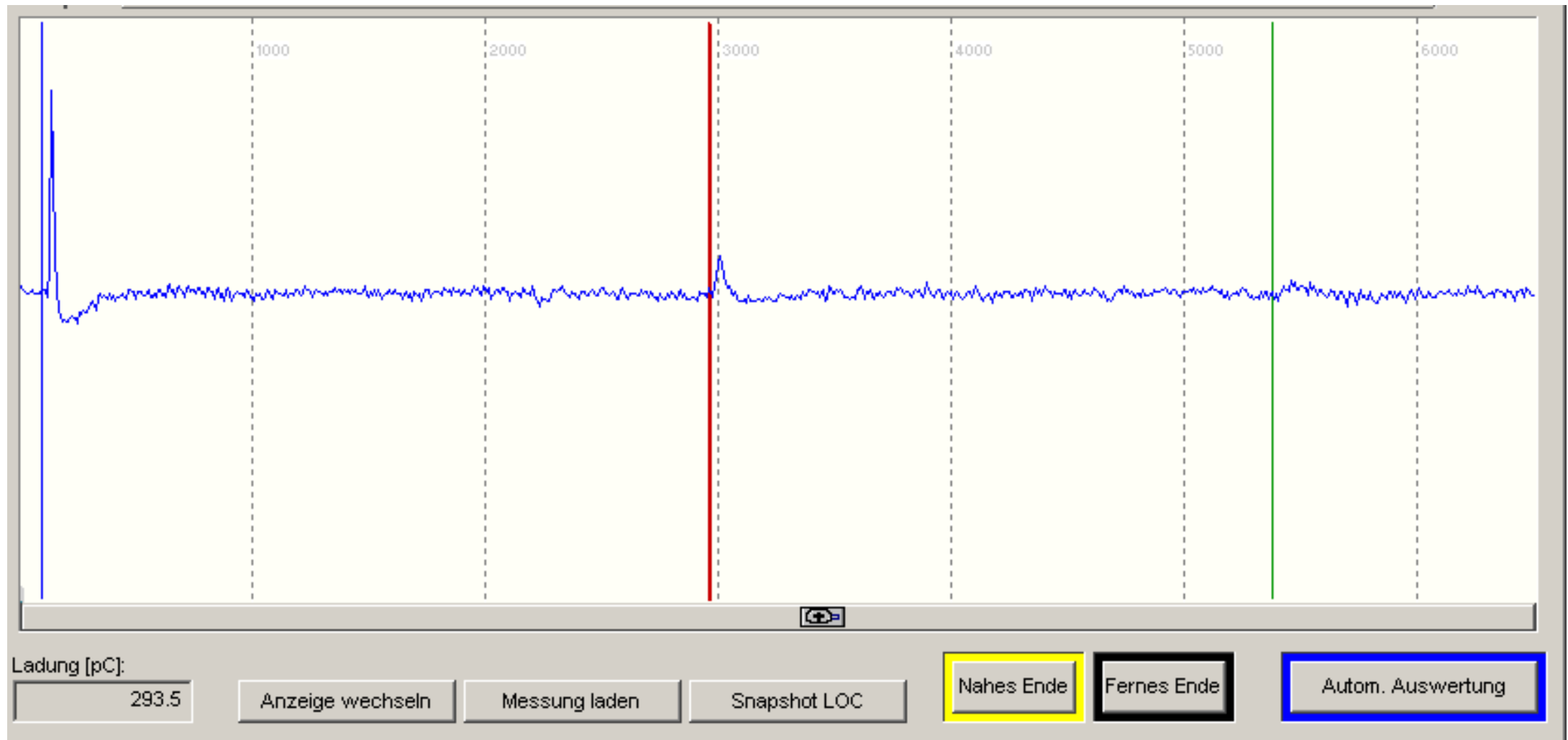
# Lange Kabel

## Kalibrierung

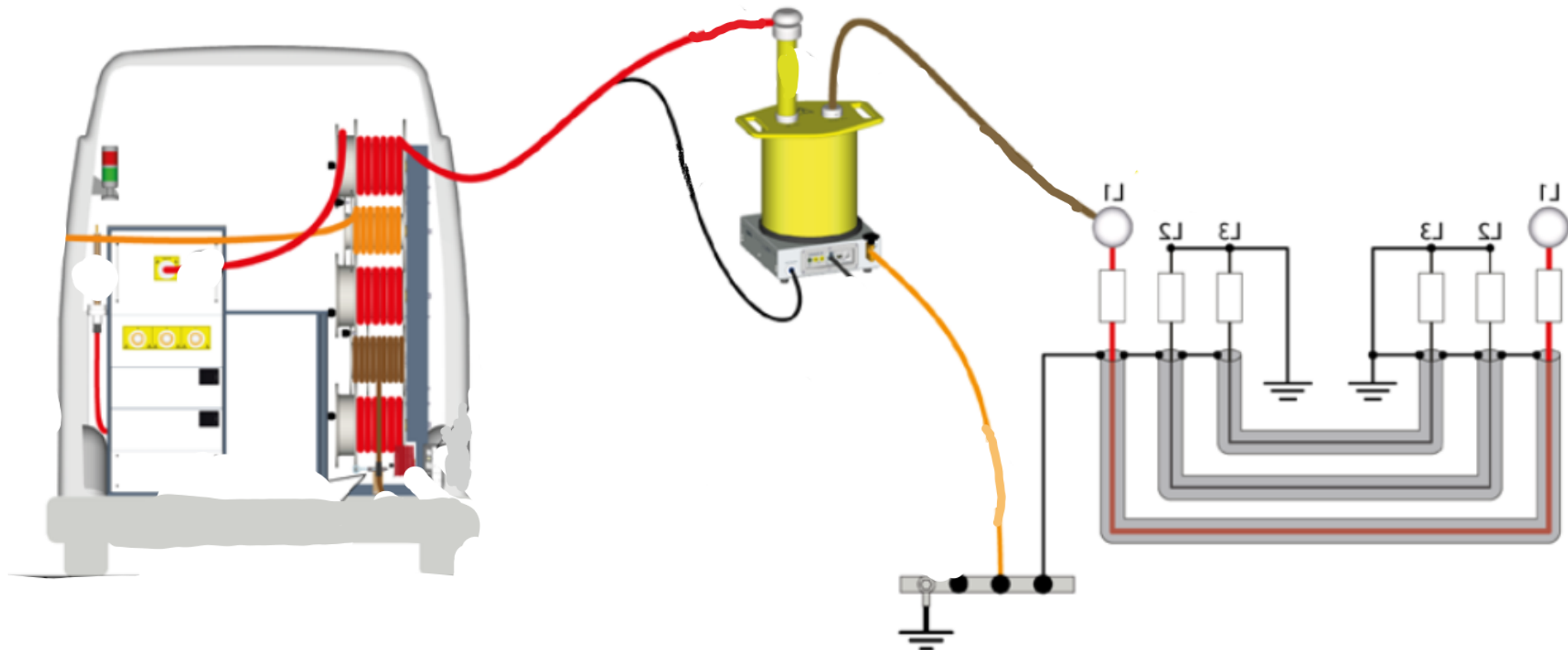


# Lange Kabel

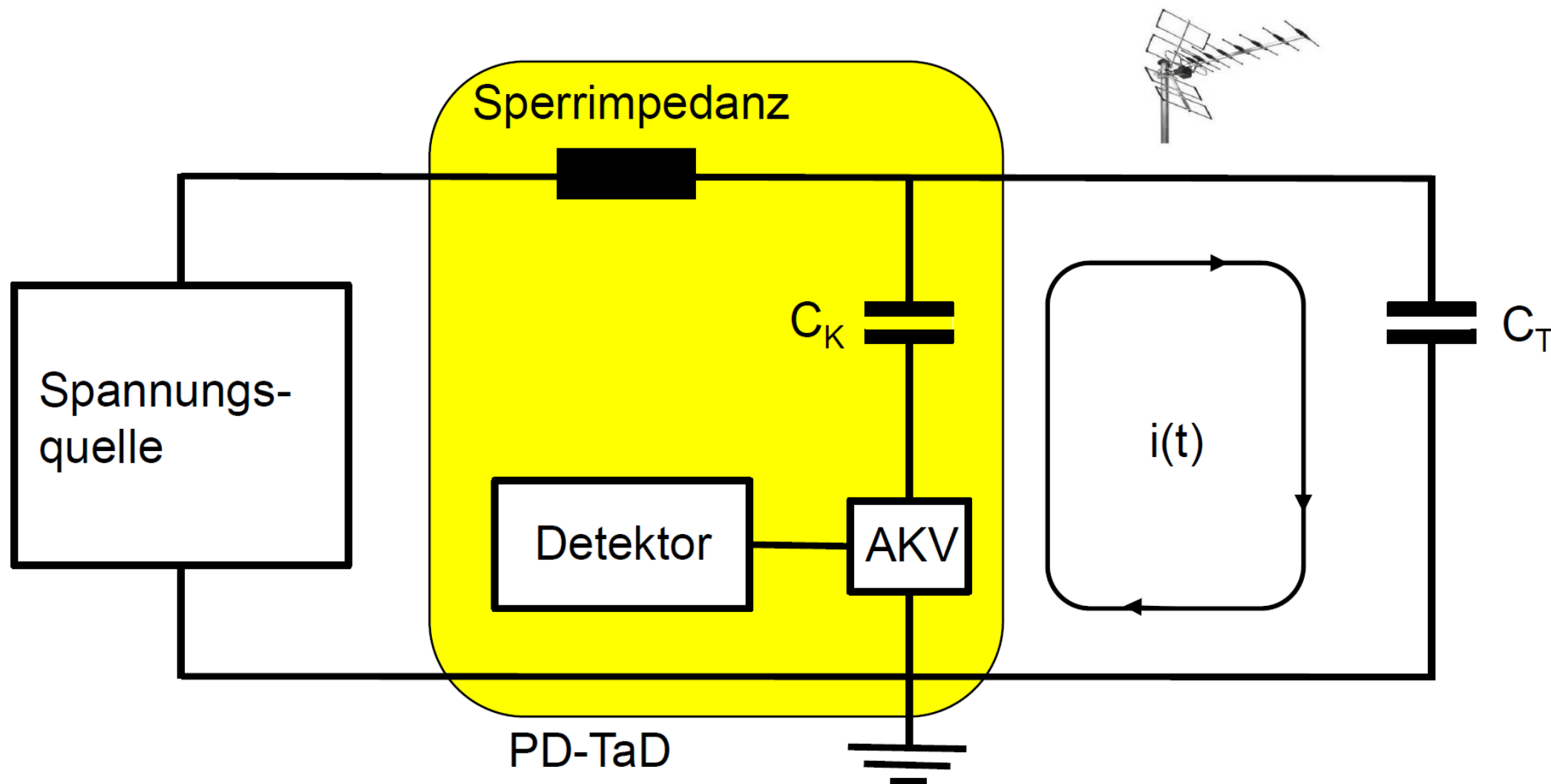
## Teilentladungsortung



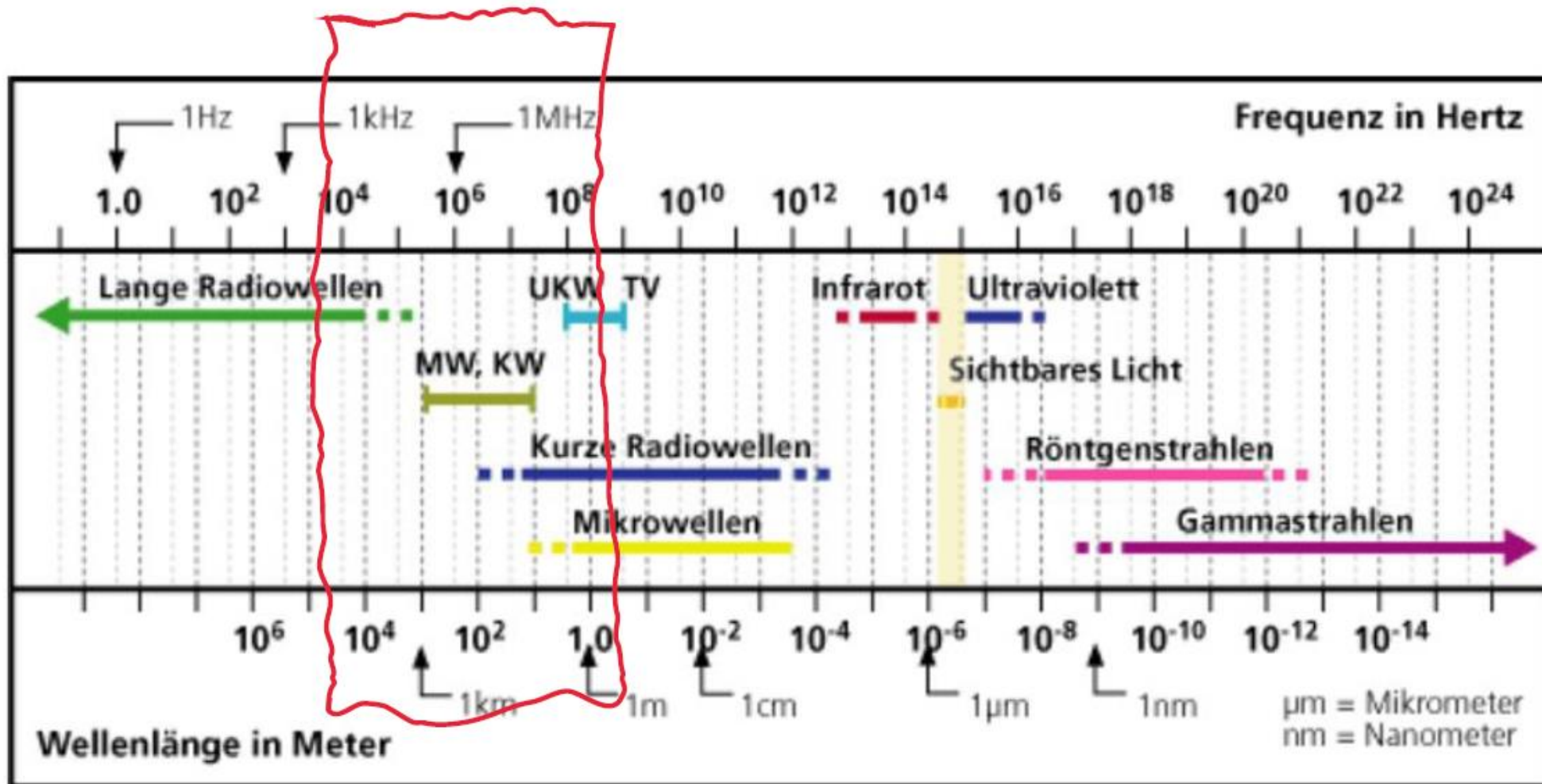
## TE-Prüfkreis



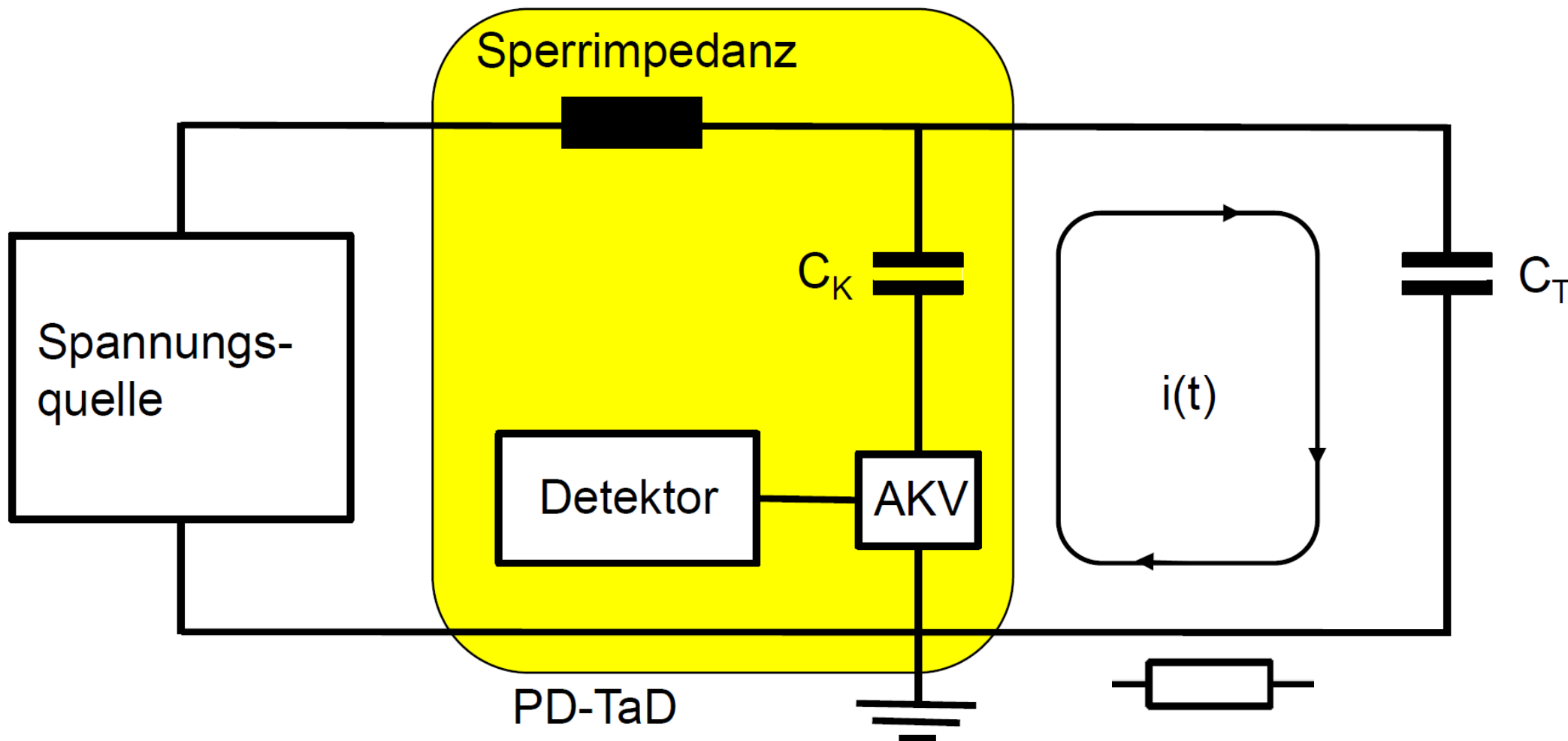
## TE-Prüfkreis



## TE-Prüfkreis



## TE-Prüfkreis



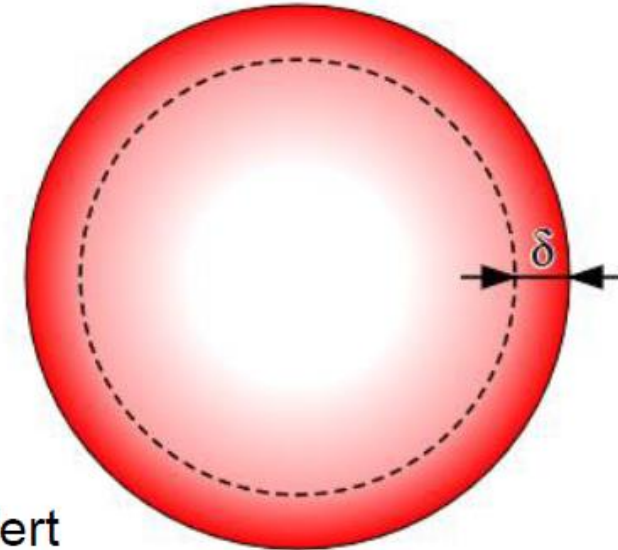


## TE-Prüfkreis

Skin-Eindringtiefe der Stromdichte im Leiter

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

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



Eindringtiefe  $\delta(f)$

	<b>50 Hz</b>	<b>5 kHz</b>	<b>500 kHz</b>	<b>5 MHz</b>	<b>50 MHz</b>	<b>500 MHz</b>
<b>Silber</b>	9,11 mm	0,91 mm	91,1 µm	28,8 µm	9,11 µm	2,88 µm
<b>Kupfer</b>	9,35 mm	0,94 mm	93,5 µm	26,6 µm	9,35 µm	2,96 µm
<b>Aluminium</b>	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 eingeschrumpft
- 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

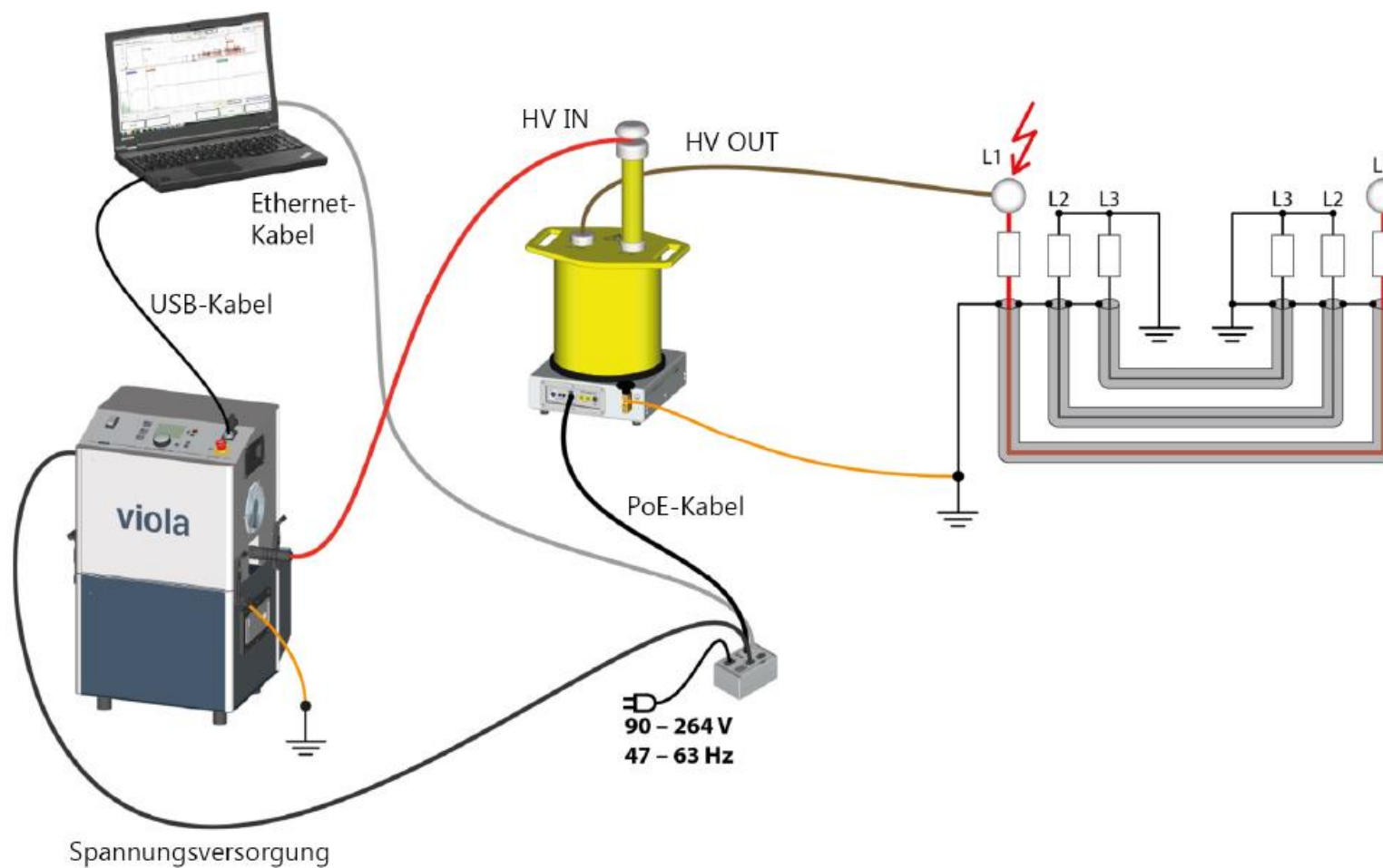
Kabel (ausgetrocknete Abschnitte):  $\sim 9.000$  pC

Garnituren:

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

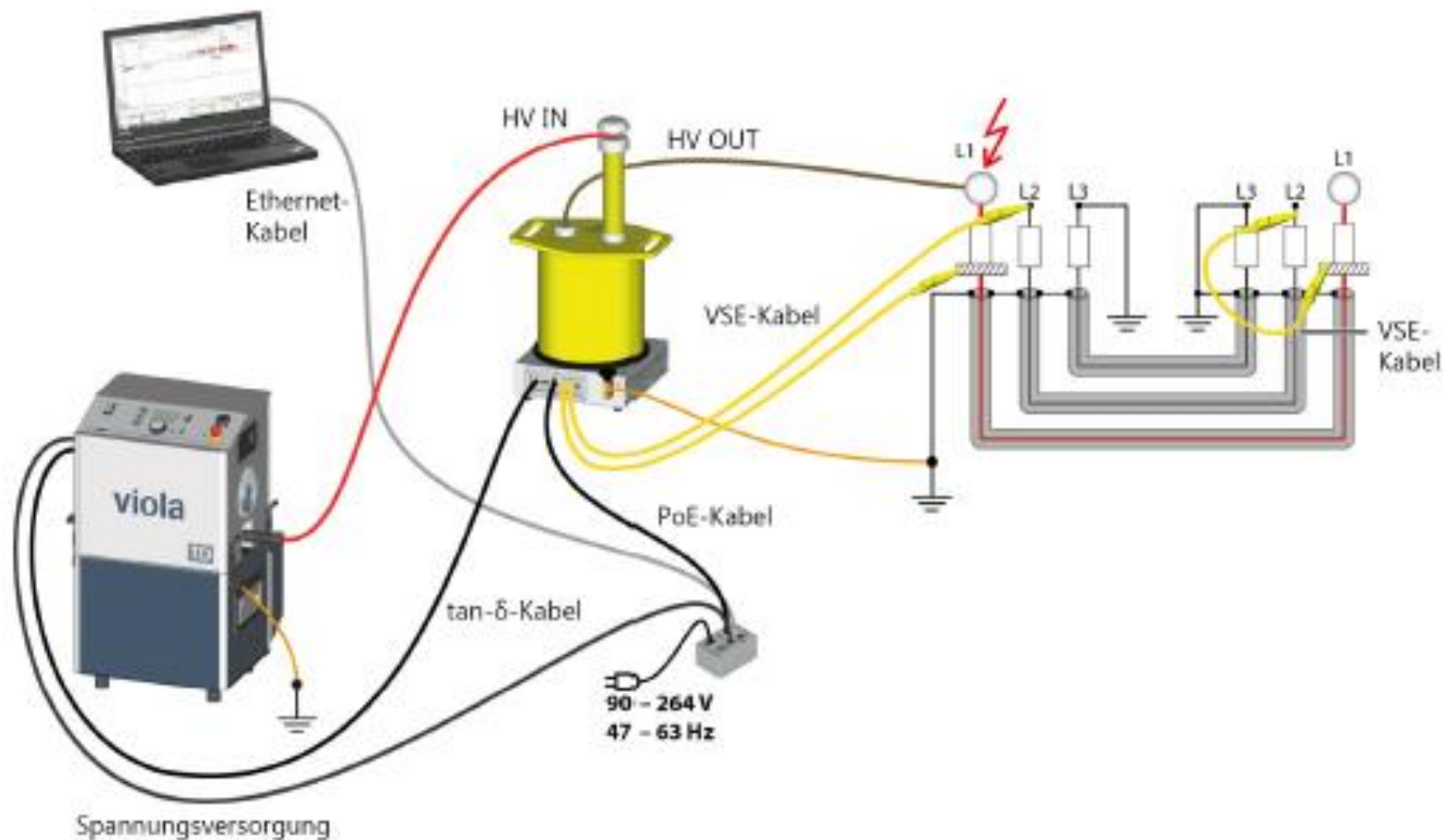
PDIV  $<$   $U_0$ :    10.000 pC erneute Messung nach 6 Monaten  
                      20.000 pC Hohes Ausfallrisiko, Garnitur erneuern  
                      40.000 pC Sehr hohes Ausfallrisiko, Garnitur erneuern

# Anschluss TE-Messung

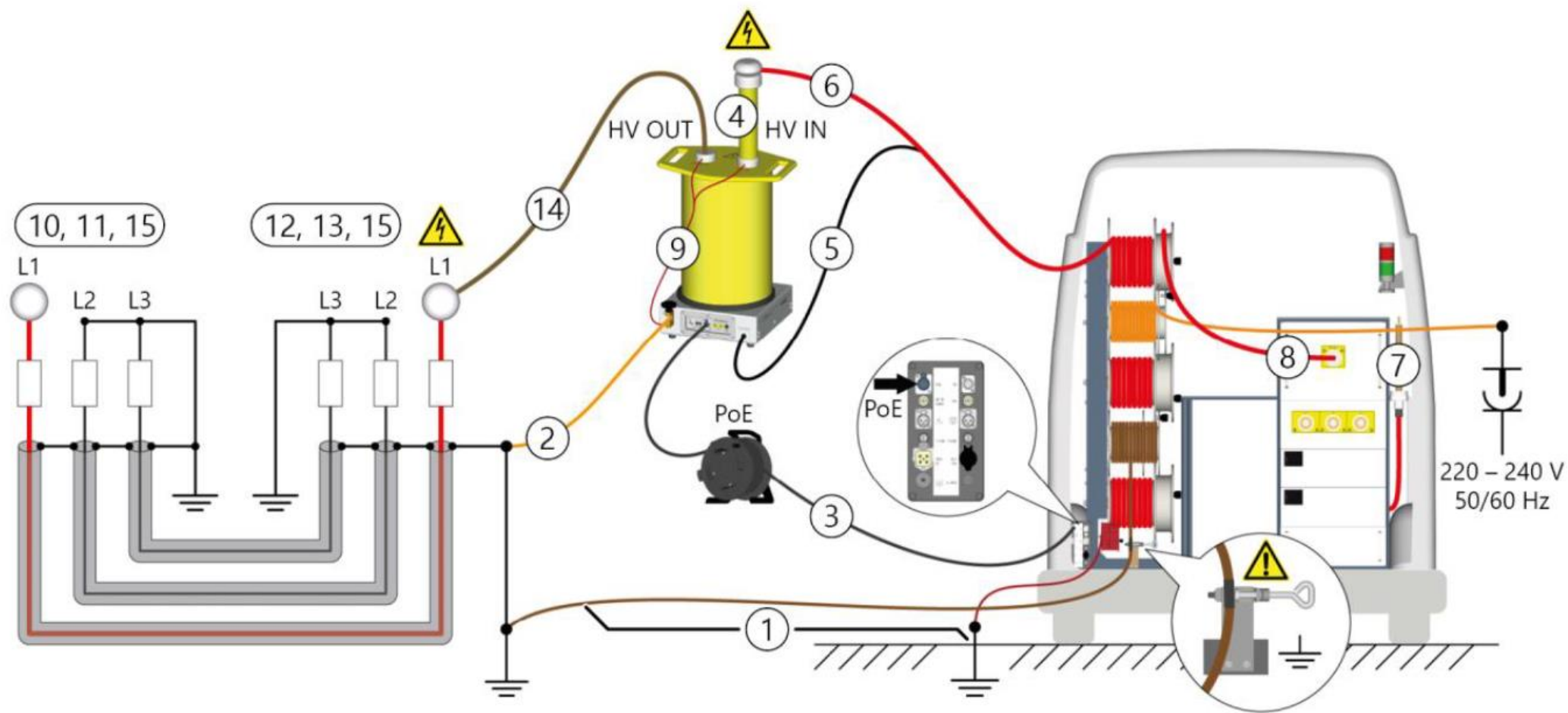


# Anschluss

## Full MWT-Messung



# Anschluss KMW TE-Messung







## 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



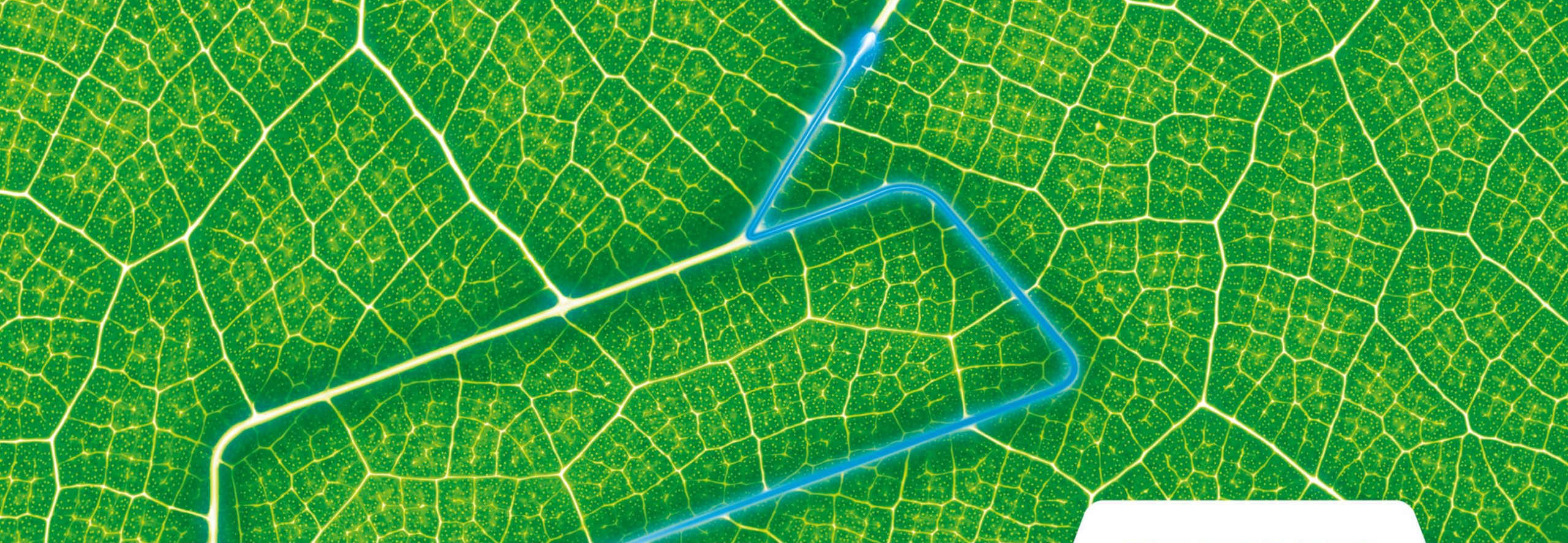
## Offline - TE - Messung

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](mailto:thorsten.schlender@baur-germany.de), 017612979012