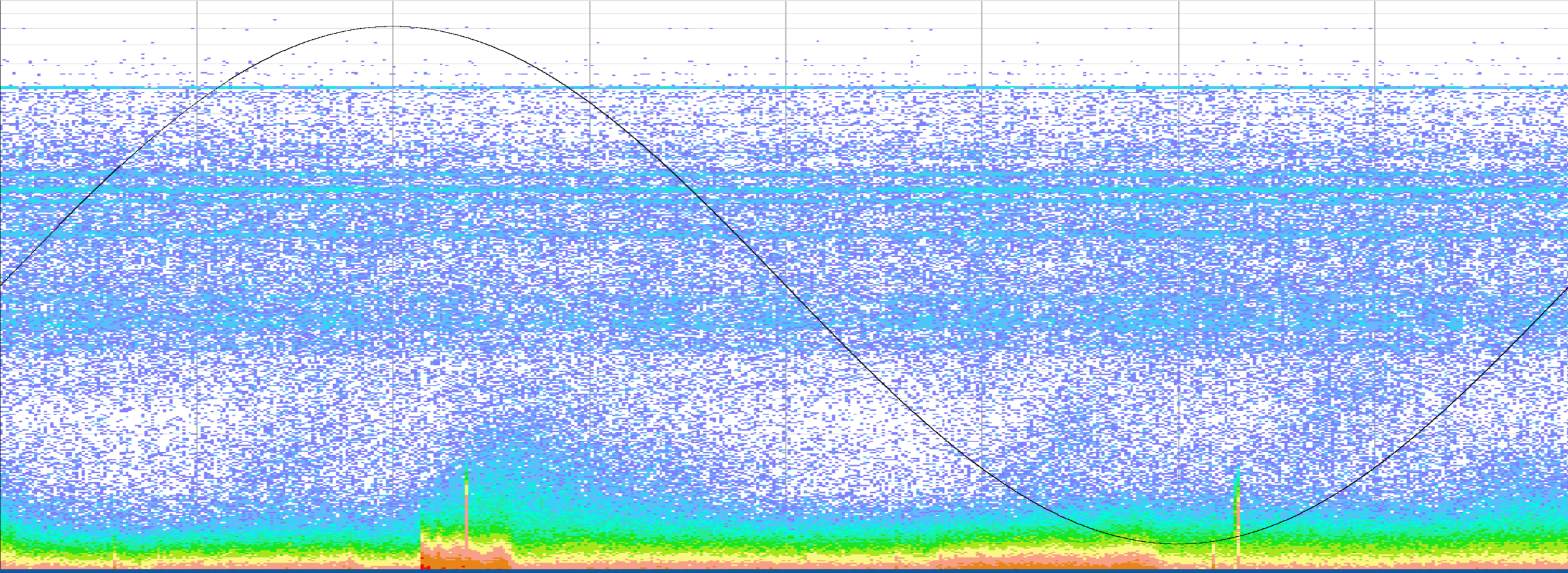


Zustandsdiagnose vs. Glaskugelleserei

12.-14. November 2025, Windenergietage Potsdam

Ulrike Broniecki

OMICRON

Worum geht es?

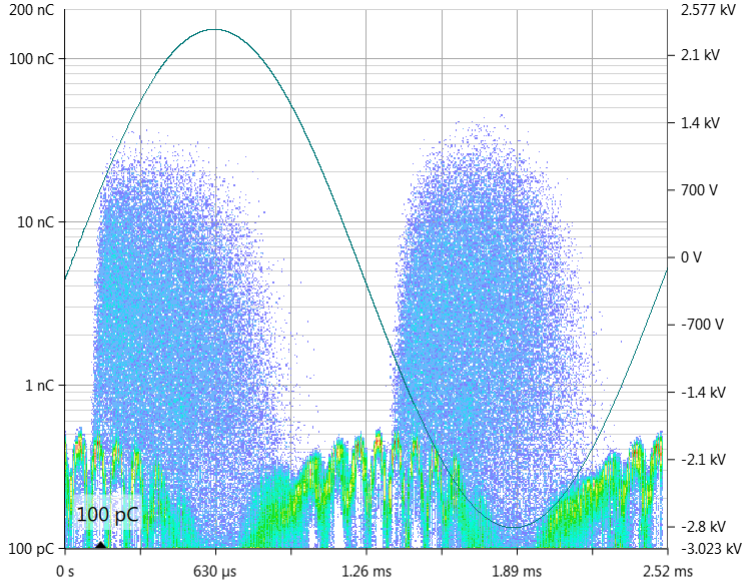
Teilentladungsmessung

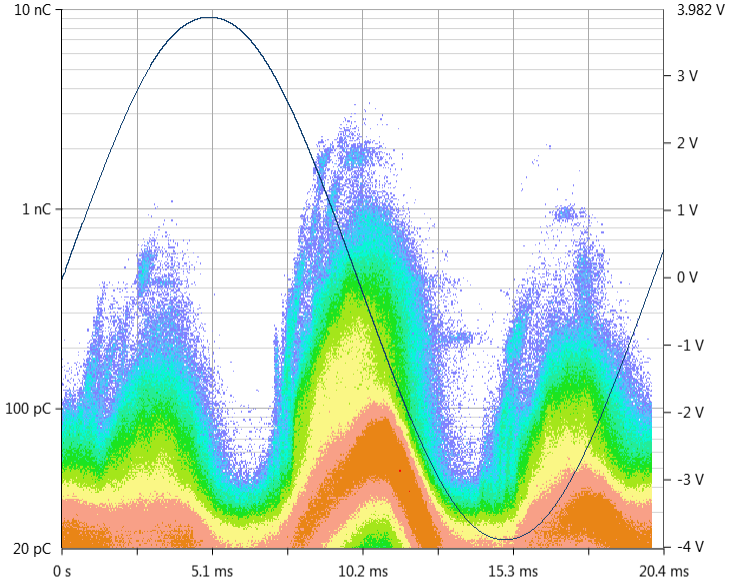
- Was ist das eigentlich?
- Wie geht das?
- Welche Ergebnisse bringt TE Messung?
- Welche Erkenntnisse kann man daraus ableiten?
- Welche Erkenntnisse kann man daraus nicht ableiten?

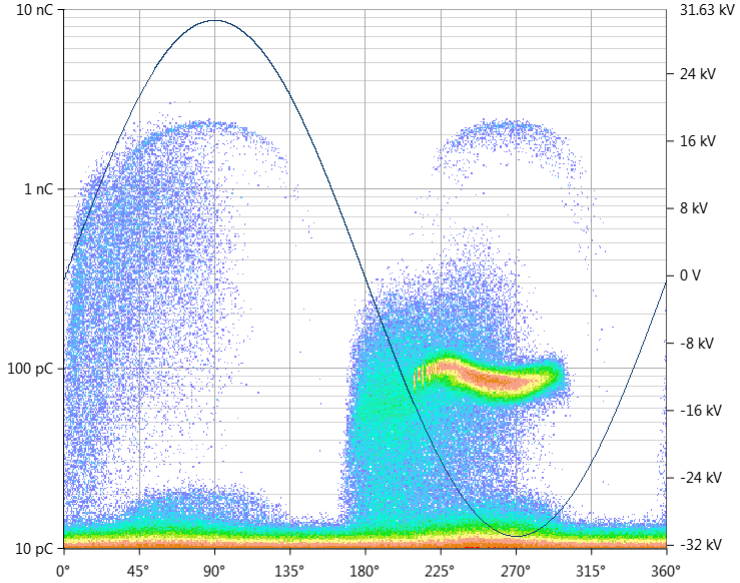
- „Was soll das ganze bloß?“

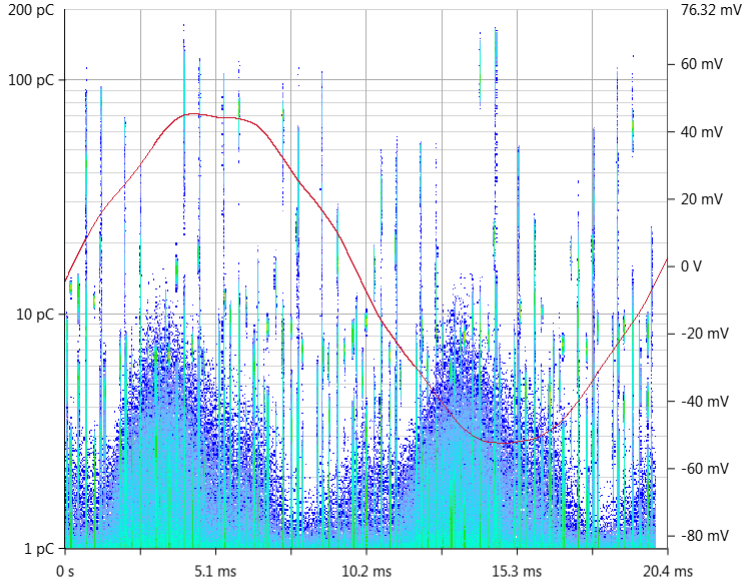
C1 - Internal

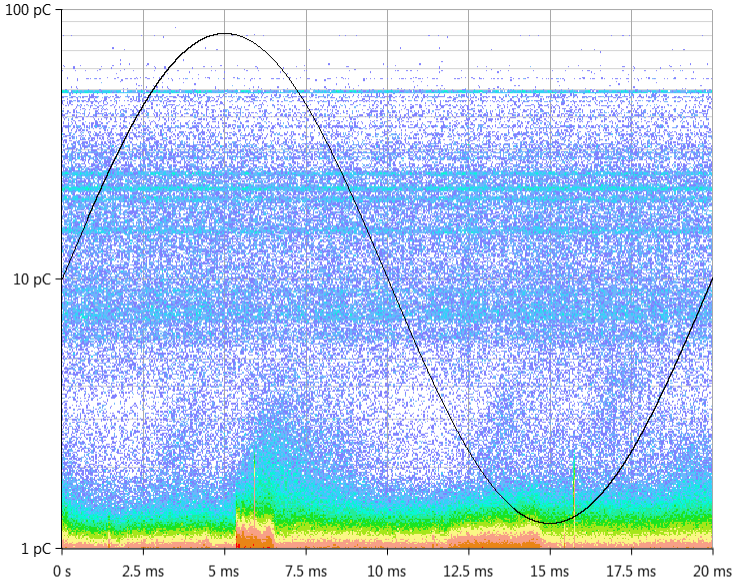
Beispiele

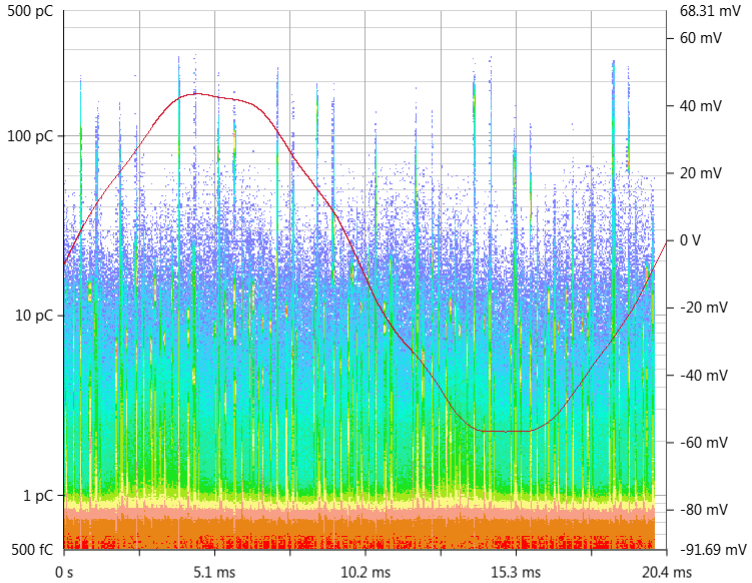

200 nC
100 nC
10 nC
1 nC
100 pC
100 pC
2.577 kV
2.1 kV
1.4 kV
700 V
0 V
-700 V
-1.4 kV
-2.1 kV
-2.8 kV
-3.023 kV
0 s
630 µs
1.26 ms
1.89 ms
2.52 ms


10 nC
1 nC
100 pC
20 pC
3.982 V
3 V
2 V
1 V
0 V
-1 V
-2 V
-3 V
-4 V
0 s
5.1 ms
10.2 ms
15.3 ms
20.4 ms

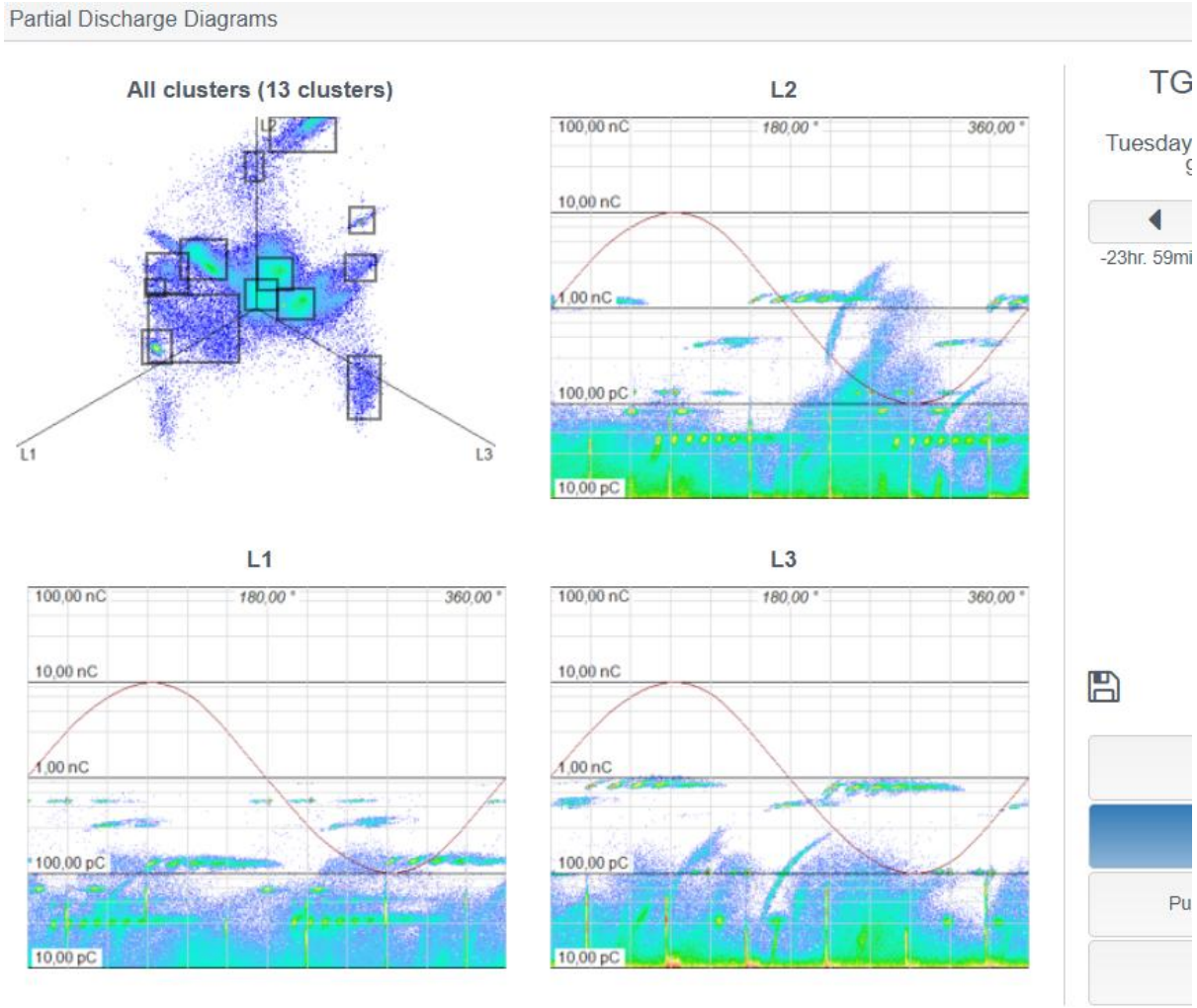

10 nC
1 nC
100 pC
10 pC
31.63 kV
24 kV
16 kV
8 kV
0 V
-8 kV
-16 kV
-24 kV
-32 kV
0°
45°
90°
135°
180°
225°
270°
315°
360°


200 pC
100 pC
10 pC
1 pC
76.32 mV
60 mV
40 mV
20 mV
0 V
-20 mV
-40 mV
-60 mV
-80 mV
0 s
5.1 ms
10.2 ms
15.3 ms
20.4 ms


100 pC
10 pC
1 pC
0 s
2.5 ms
5 ms
7.5 ms
10 ms
12.5 ms
15 ms
17.5 ms
20 ms


500 pC
100 pC
10 pC
1 pC
500 fC
68.31 mV
60 mV
40 mV
20 mV
0 V
-20 mV
-40 mV
-60 mV
-80 mV
-91.69 mV
0 s
5.1 ms
10.2 ms
15.3 ms
20.4 ms

„Böse Zungen”

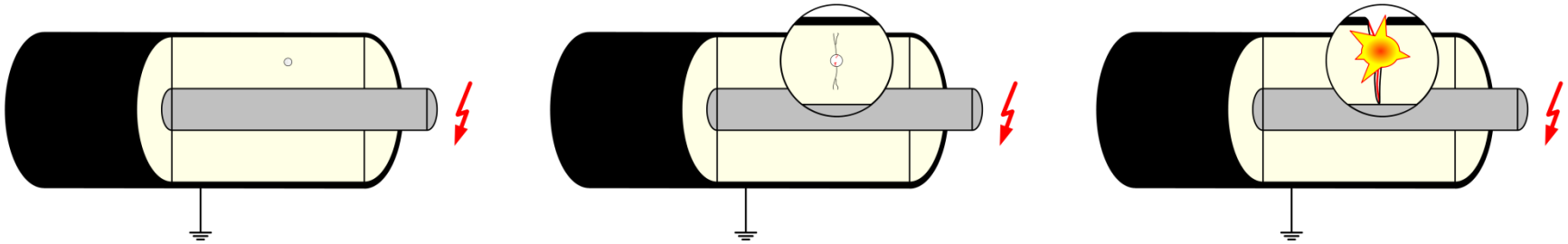


- „Könnte auch Moderne Kunst sein”
- „Glaskugelleserei”
- „Sieht ja aus wie ne Schneekugel”
- „Finger, Wolken, Pappeln, Delfine? 😳 “
- „Da kann man ja gar nichts erkennen”
- „Sieht doch alles Gleich aus”
- „Da kann man alles Rein-Interpretieren”

- „Da kommen ja eh keine eindeutigen Aussagenraus“
- „Ist super kompliziert“

Was sind Teilentladungen?

- **Definition gemäß IEC 60270**
  Teilentladungen (TE) ist eine lokale elektrische Entladung, die die Isolation zwischen Leitern nur teilweise überbrückt und die in der Nähe eines Leiters auftreten kann oder nicht.



- elektrische Entladungen
- in der Isolation
- Lokal ≠ Komplettversagen ⇨ Teildurchschlag
- Teilentladungsmessung trifft eine Aussage über den Zustand der Isolation

Wie entstehen Teilentladungen?

- Angelegte Spannung erzeugt ein elektrisches Feld
- Die Elektrische Feldstärke ist im Isolierstoff nicht homogen verteilt
- Elektrische Festigkeit des Isolierstoffs wird lokal überschritten, es kommt zum Teildurchschlag
- Erste TE häufig an Schwachstellen (reduzierte elektrische Festigkeit, Inhomogenität, Design)
- TE können “Kettenreaktion” auslösen
- Kann zum kompletten Versagen der Isolation führen (Durchschlag)

Nahaufnahme eines elektrischen Trees als Ergebnis kontinuierlicher Teilentladungsaktivität

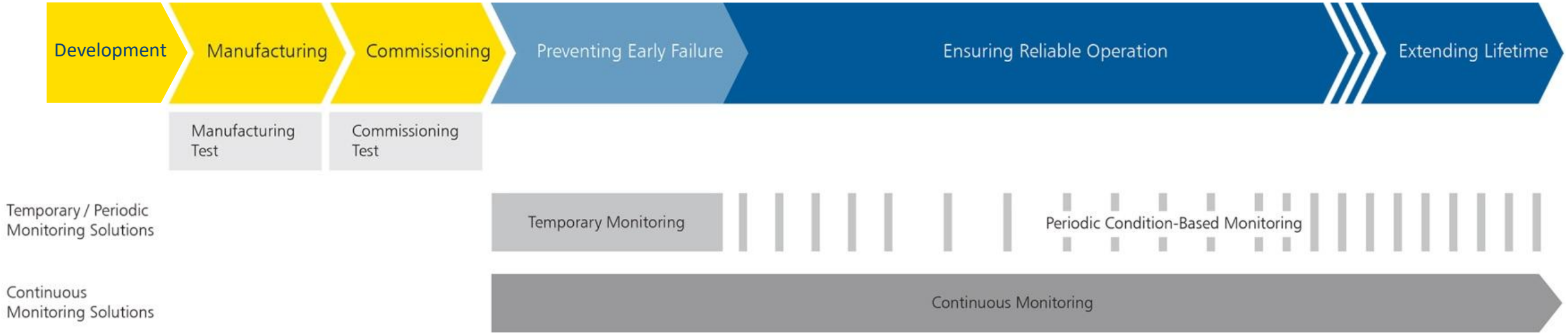
Warum Teilentladungsmessung

Typisches Ergebnis von Teilentladungen
(Pressboard Barrier eines Leistungstransformators)

- Früherkennung von Fehlern in der Isolation oder Schwachpunkten im Design
- Teilentladungsmessung ist nicht invasiv
- Unterstützung der Betriebsentscheidungen
- Planung von Wartungsintervallen und Austausch des Betriebsmittels

Wann misst man TE

- Entwicklung: Designüberprüfung
- Herstellung: Typ- und Stückprüfungen, Fertigungsüberprüfung
- Inbetriebnahme: Überprüfung auf Transportschäden und Montageüberprüfung
- Im Betrieb: Eventgesteuert, Regelmäßig oder Dauerhaft
- Steuerung der Restlaufzeit



OMICRON

Arten von TE-Prüfungen

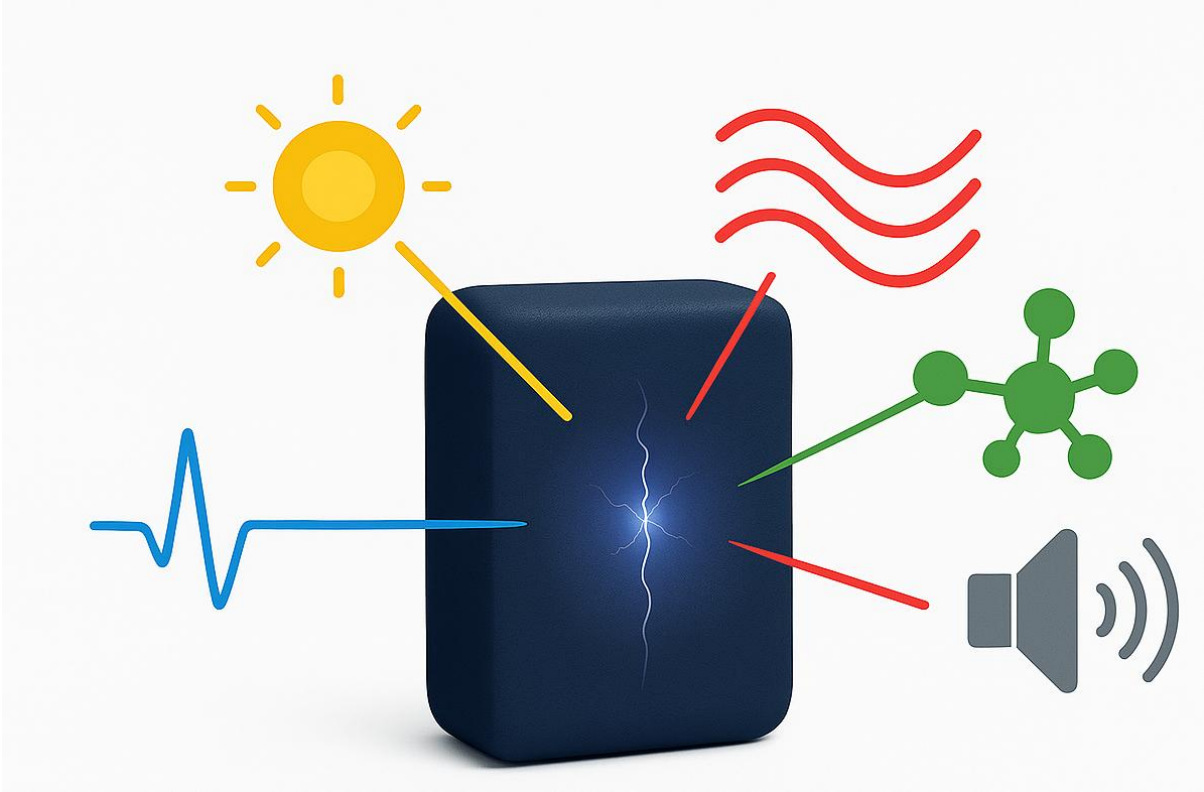
OFFLINE-Tests: durchgeführt an einer stromlosen und vom Netz getrennten Anlage

- Ermöglicht die Variation verschiedener Parameter (Prüfspannung, Frequenz, ...)
- Keine natürlichen Stressbedingungen für die Anlage
- Auslegung je nach verwendetem Prüfsystem (Hersteller) und Betreiber
- "Momentaufnahme" des Betriebszustands

ONLINE-Tests: werden „live“ durchgeführt und liefern Informationen über den Zustand der Anlage unter Betriebsbedingungen

- Erlaubt keine/bedingte Variation verschiedener Zustände
- Betriebsbedingungen (Last, Temperatur, mechanische Belastung)
- Umsetzung erfordert weniger Eingriff des Benutzers

Messbare Effekte



Teilentladungen erzeugen

- (hochfrequente) Stromimpulse
- Elektromagnetische Wellen
- Photonen
- Schallwellen
- Chemische Reaktionen

Mess- und Detektionsmethoden

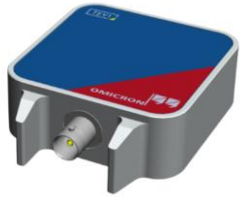
- Koppelkondensatoren

- Messung an Durchführungen

- Hochfrequenz-Stromwandler

- UHF Sensoren

- TEV Sensoren



- Akustische Sensoren / Richtmikrofone

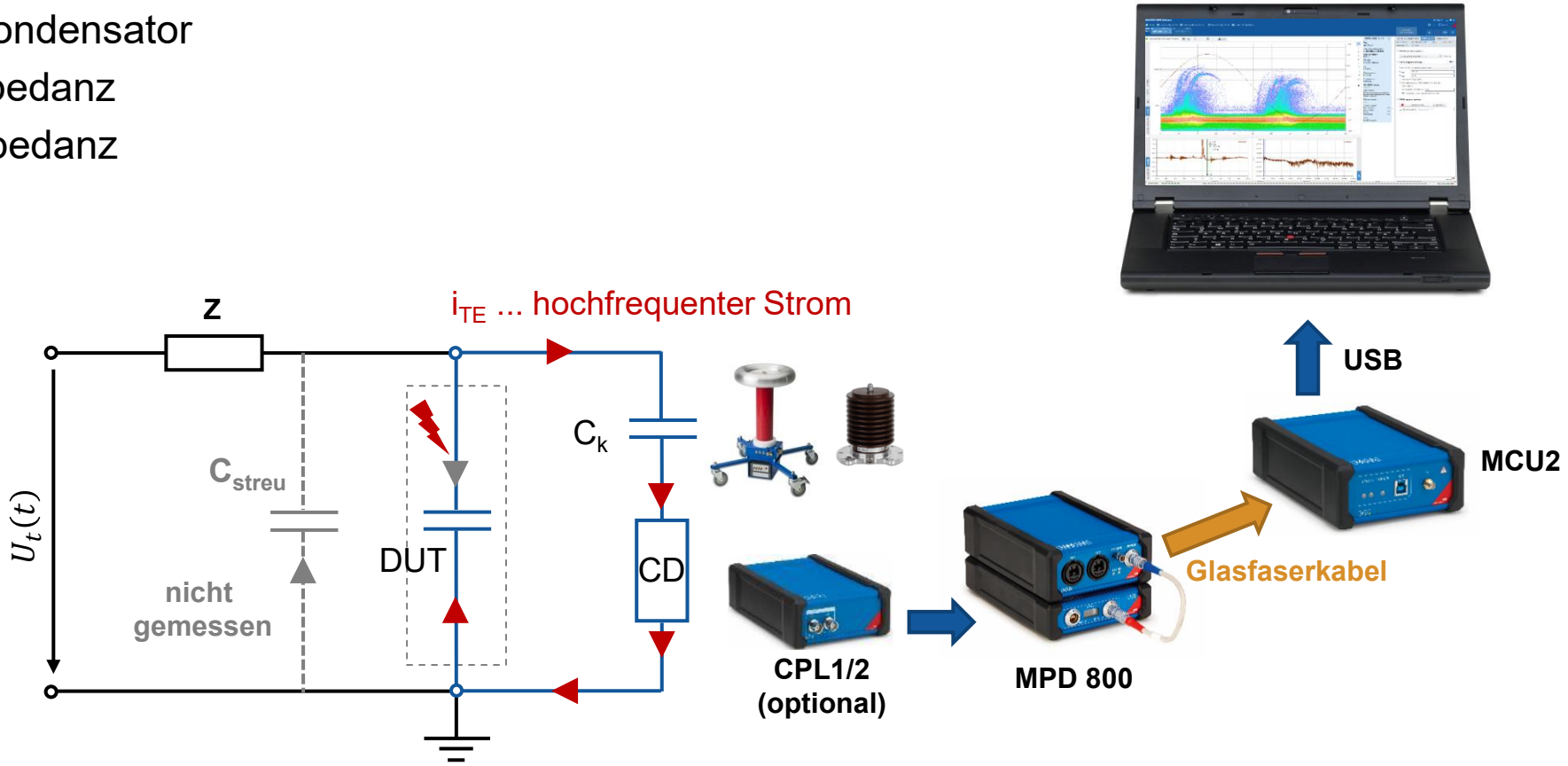
- Chemisch (DGA), UV-Strahlung, Funktstörempfänger, ...

© OMICRON

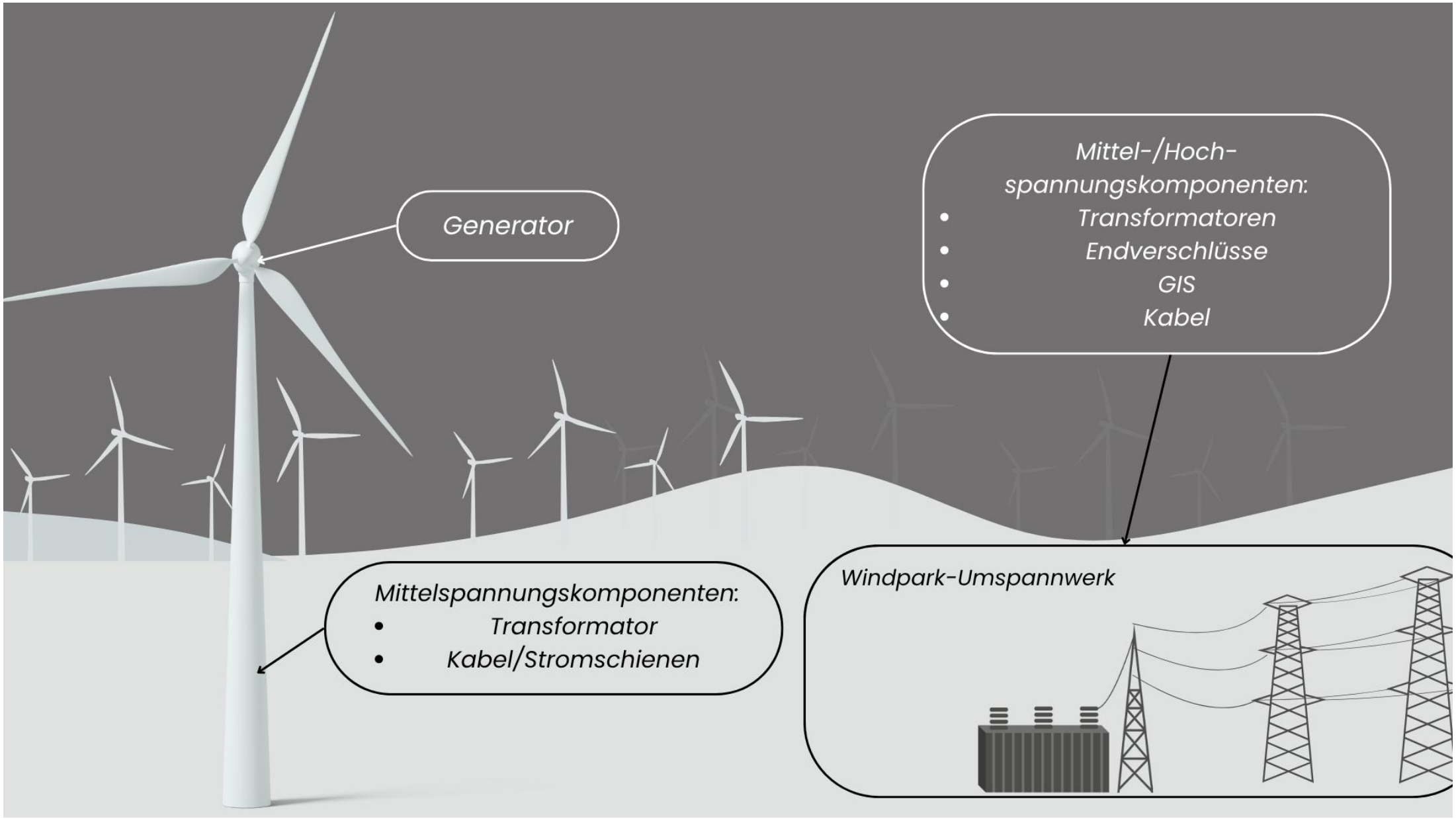
Standard-Prüfanordnung für die TE-Messung

Prüfanordnung gemäß IEC 60270:2015

DUT... Prüfling
C_k ... Koppelkondensator
CD... Messimpedanz
Z ... Sperrimpedanz



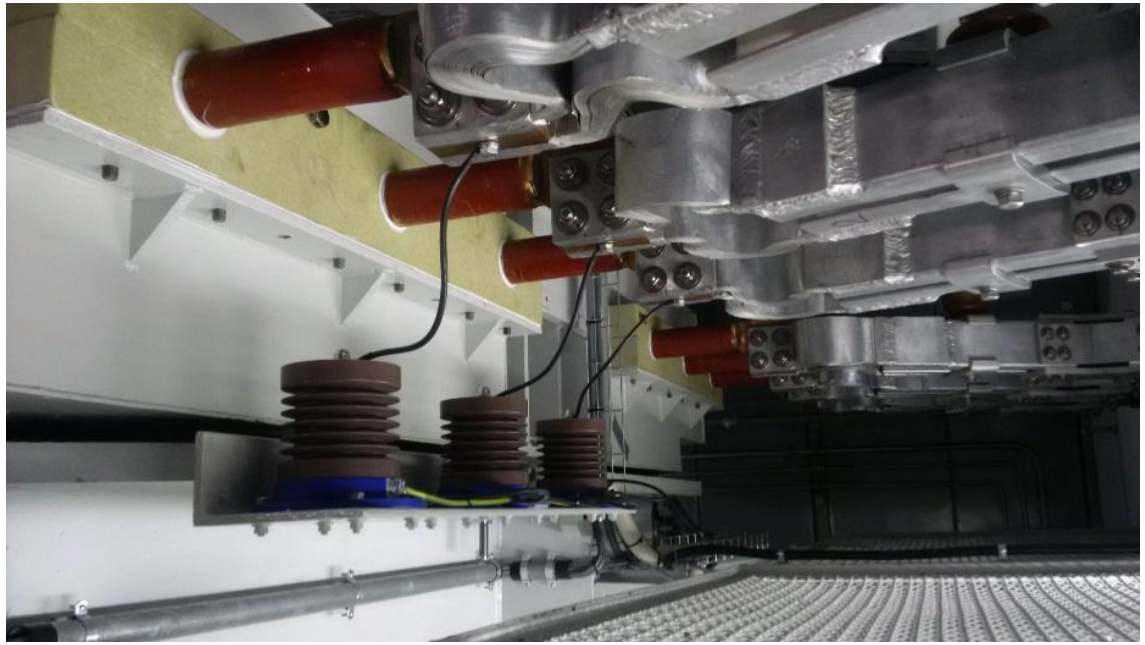
Elemente Windkraftanlage

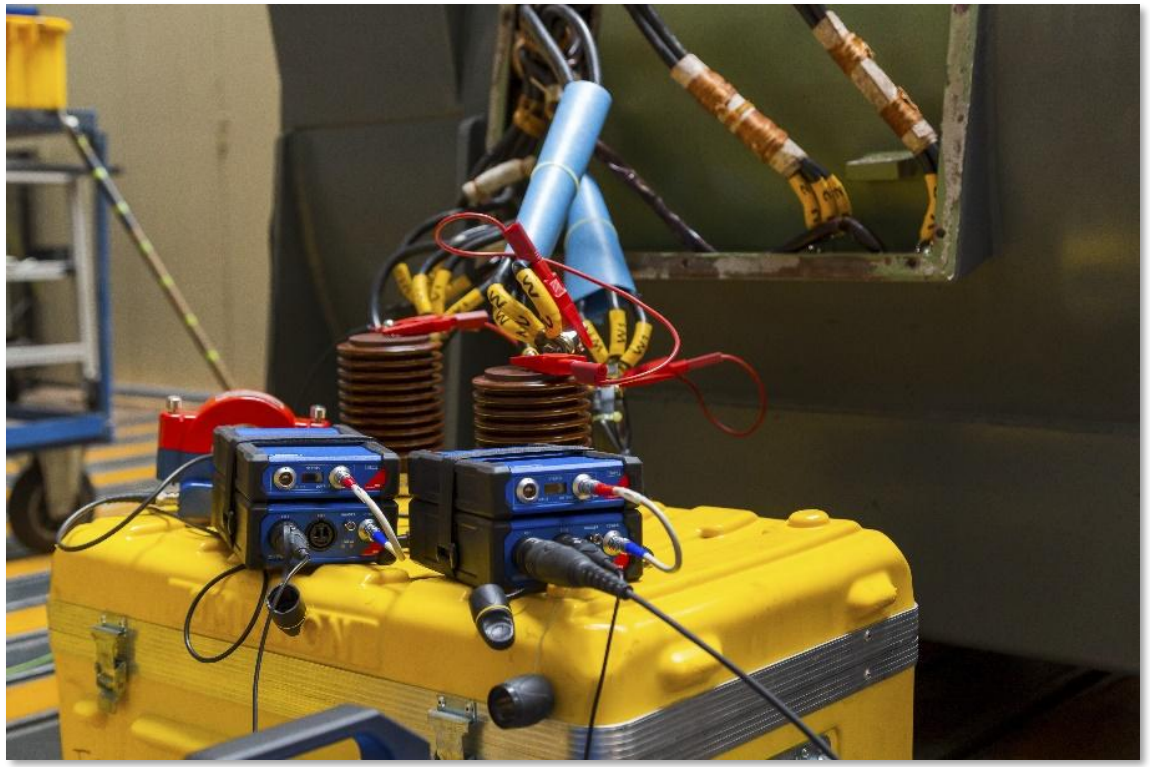


OMICRON

Generatoren

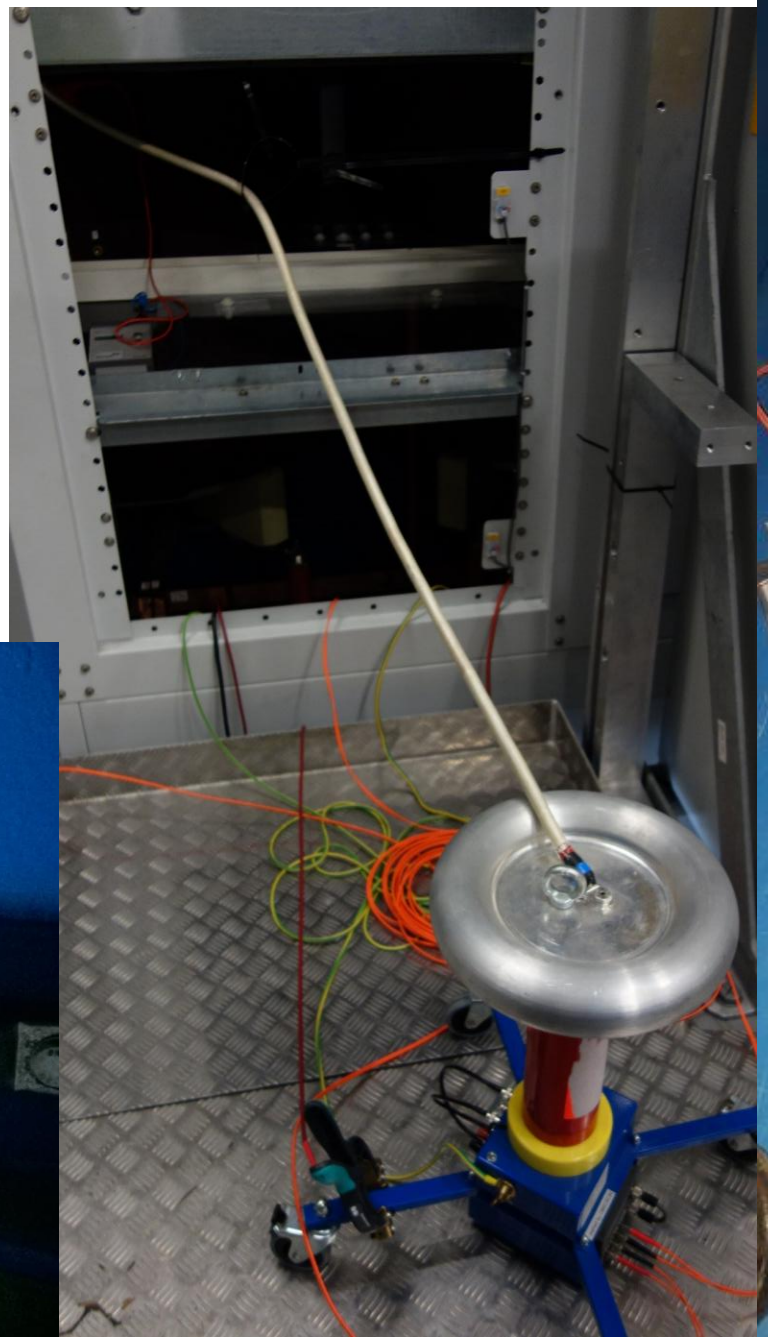
- Messung über Koppelkondensatoren die entweder permanent installiert sind oder temporär angeschlossen werden





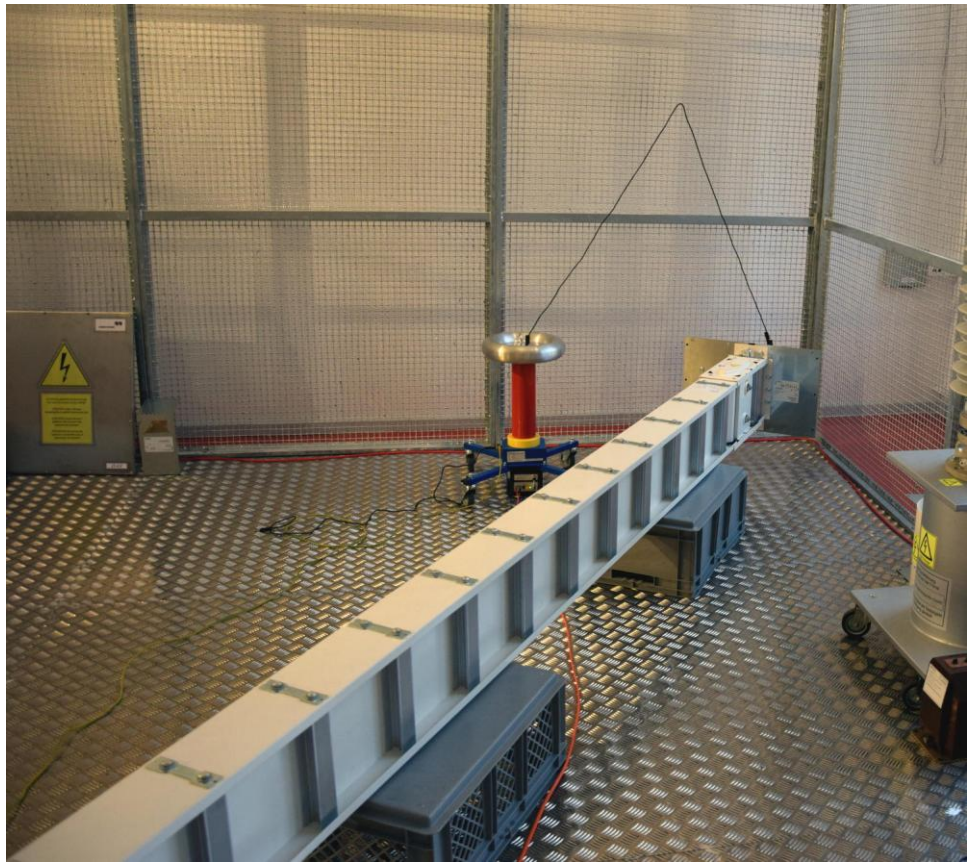
Transformatoren

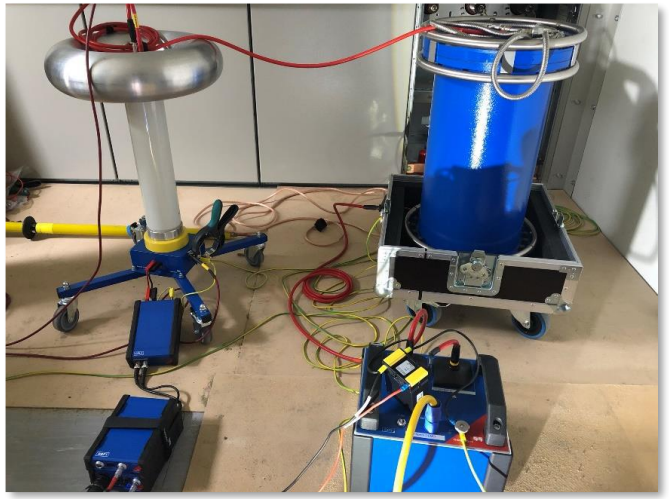
- Messung mittels
  - Koppelkondensator
  - HFCT
  - manchmal auch über den Kabelstecker

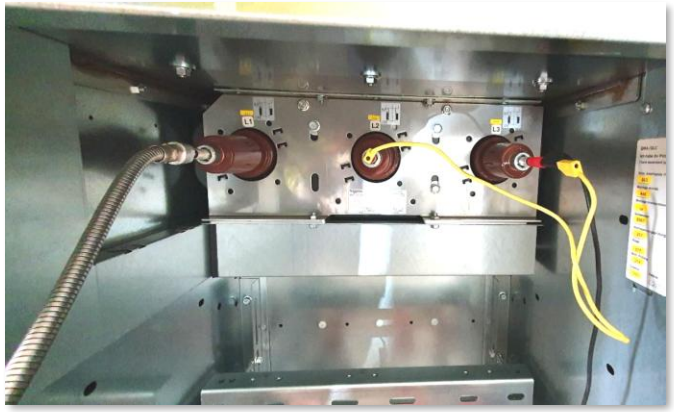


Schaltanlagen und Stromschiene

- Messung mittels Koppelkondensator, HFCT oder bei Mittelspannungs-schaltanlagen über das VDS oder die Kabelstecker



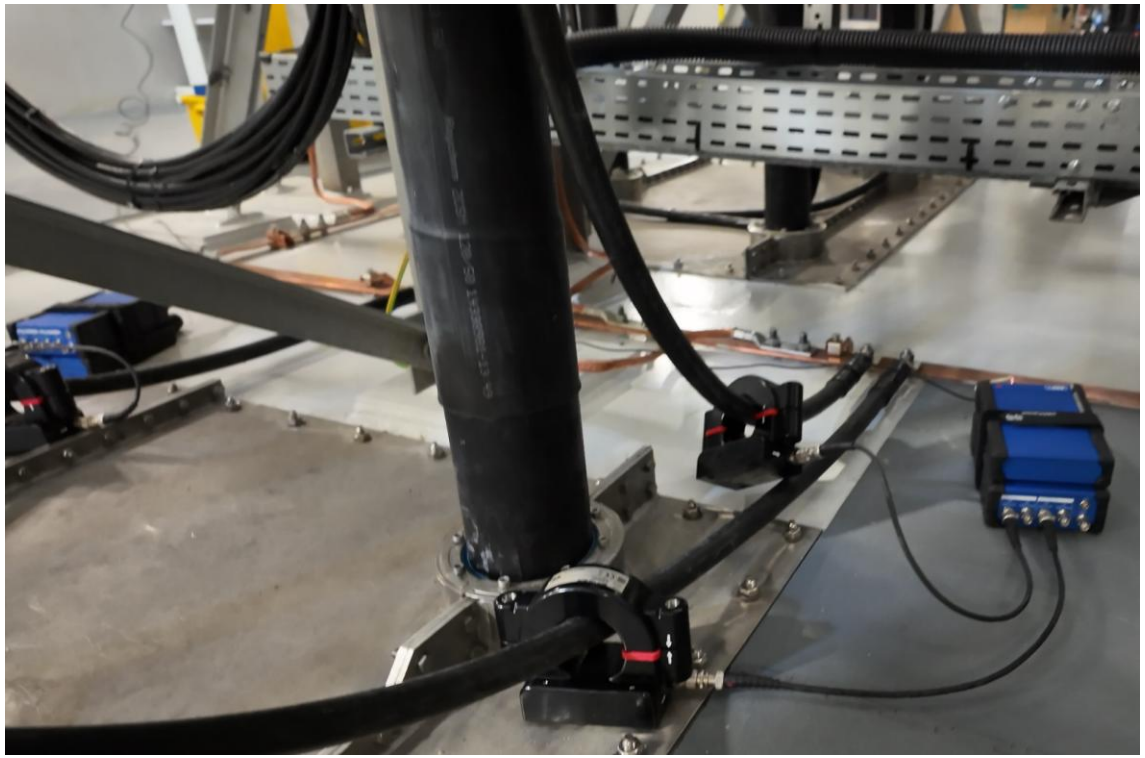


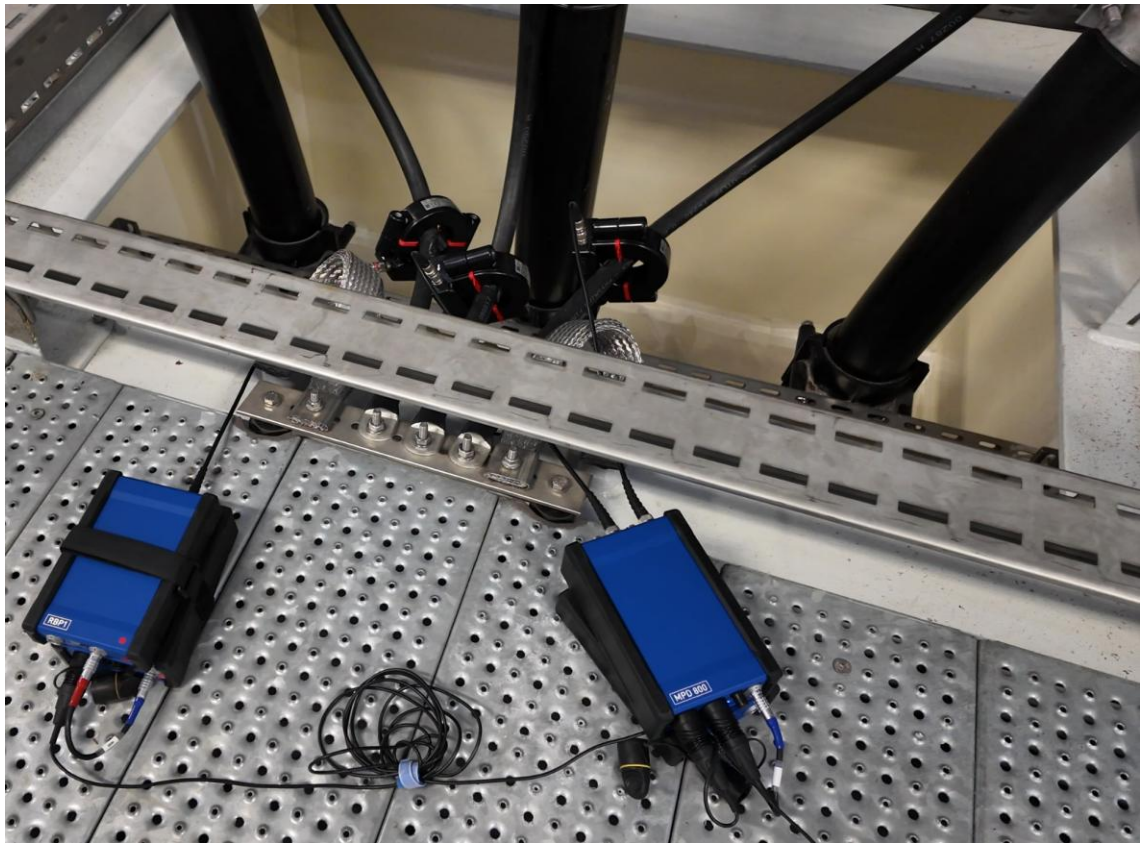


OMICRON

Mittel- und Hochspannungskabel

- Messung in der Regel über HFCTs

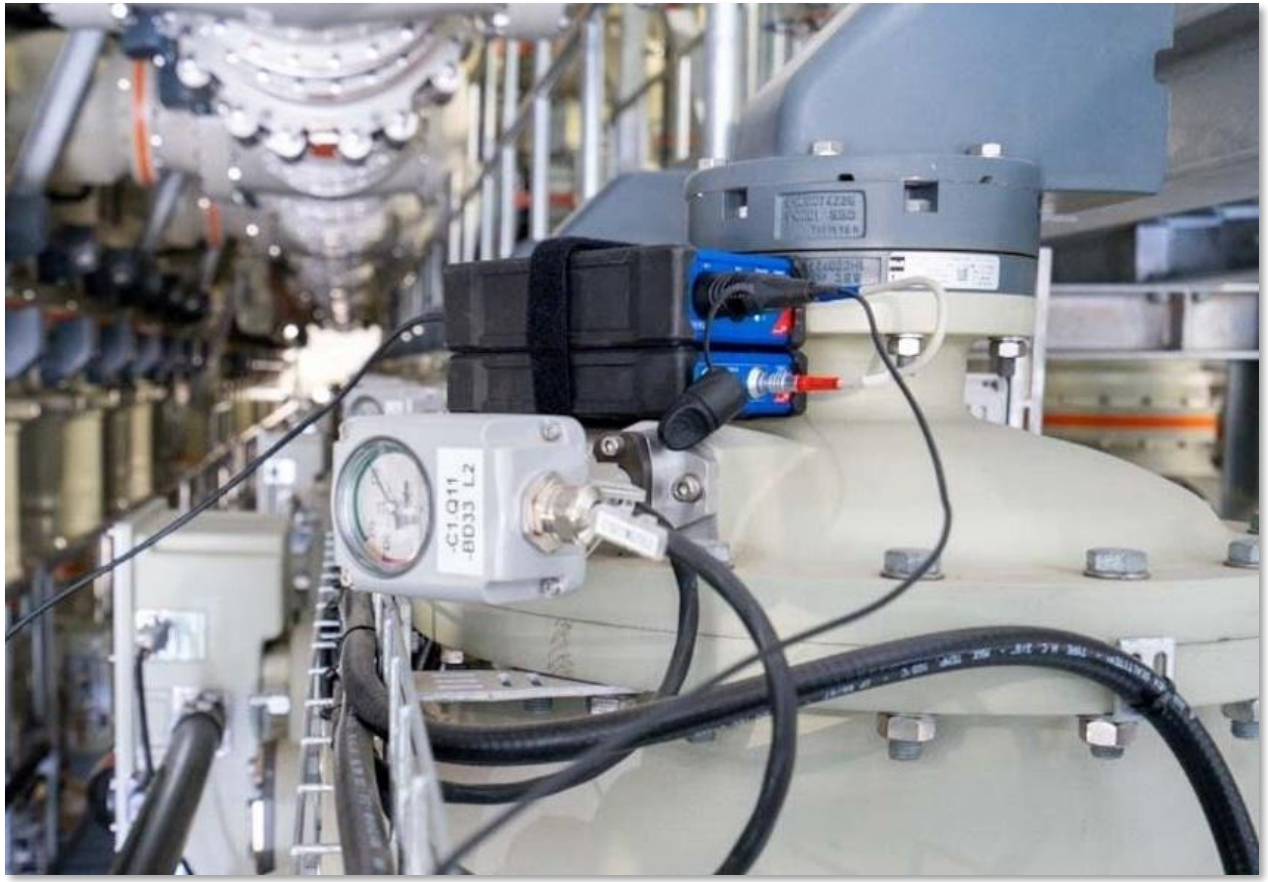




OMICRON

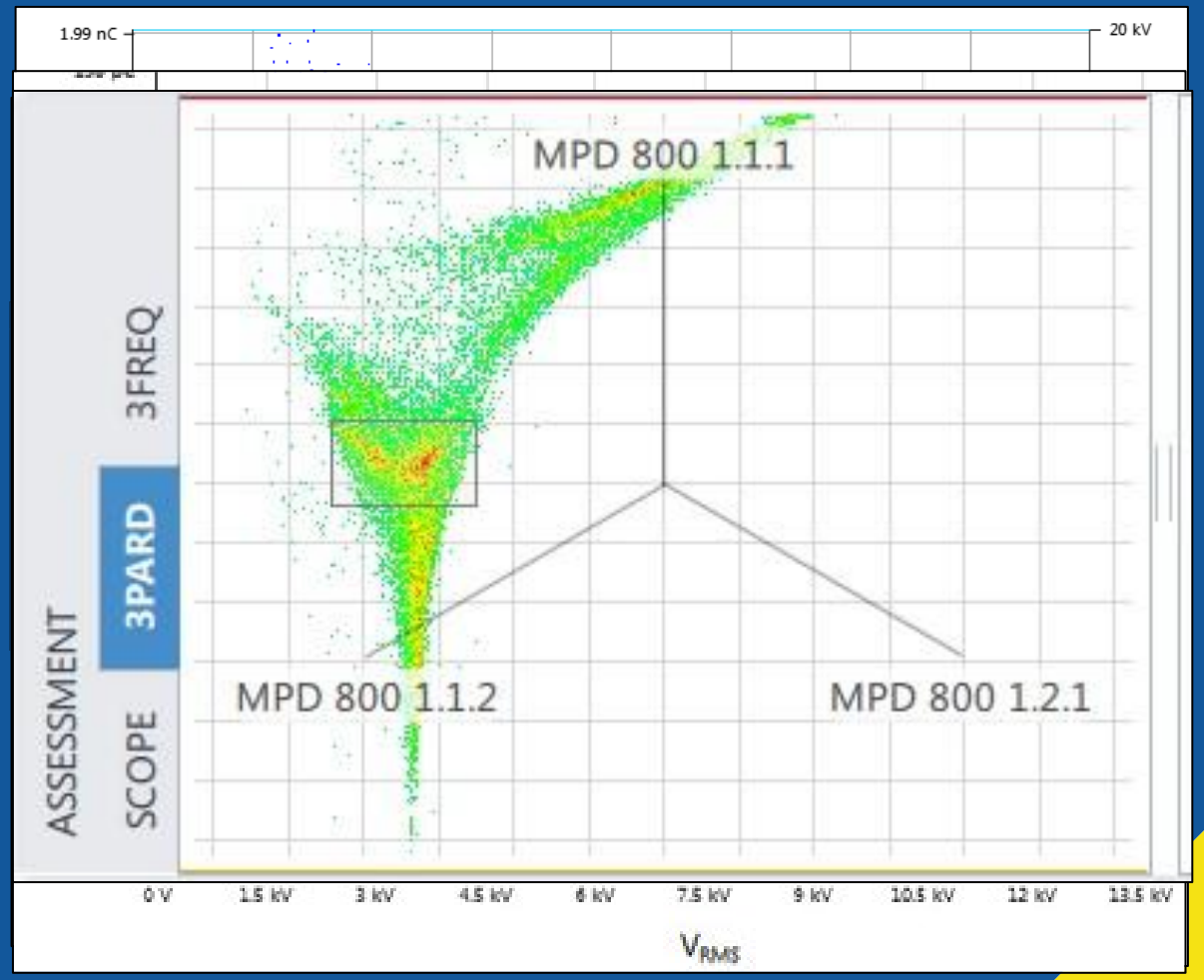
Gasisolierte Schaltanlagen (GIS)

- Messung in der Regel über vorinstallierte Sensoren



Output von TE-Messung

- Ganz viele Einzelimpulse
- Ladungswert: „größte wiederholt auftretende TE-Betrag“
- Phasenaufgelöste Diagramme (PRPD, Fingerprints, φQ-Diagramm, ...)
- Ein- und Aussetzspannung, Q-t- und Q-V-Diagramme
- Weitere Diagramme je nach Hersteller des Messsystems



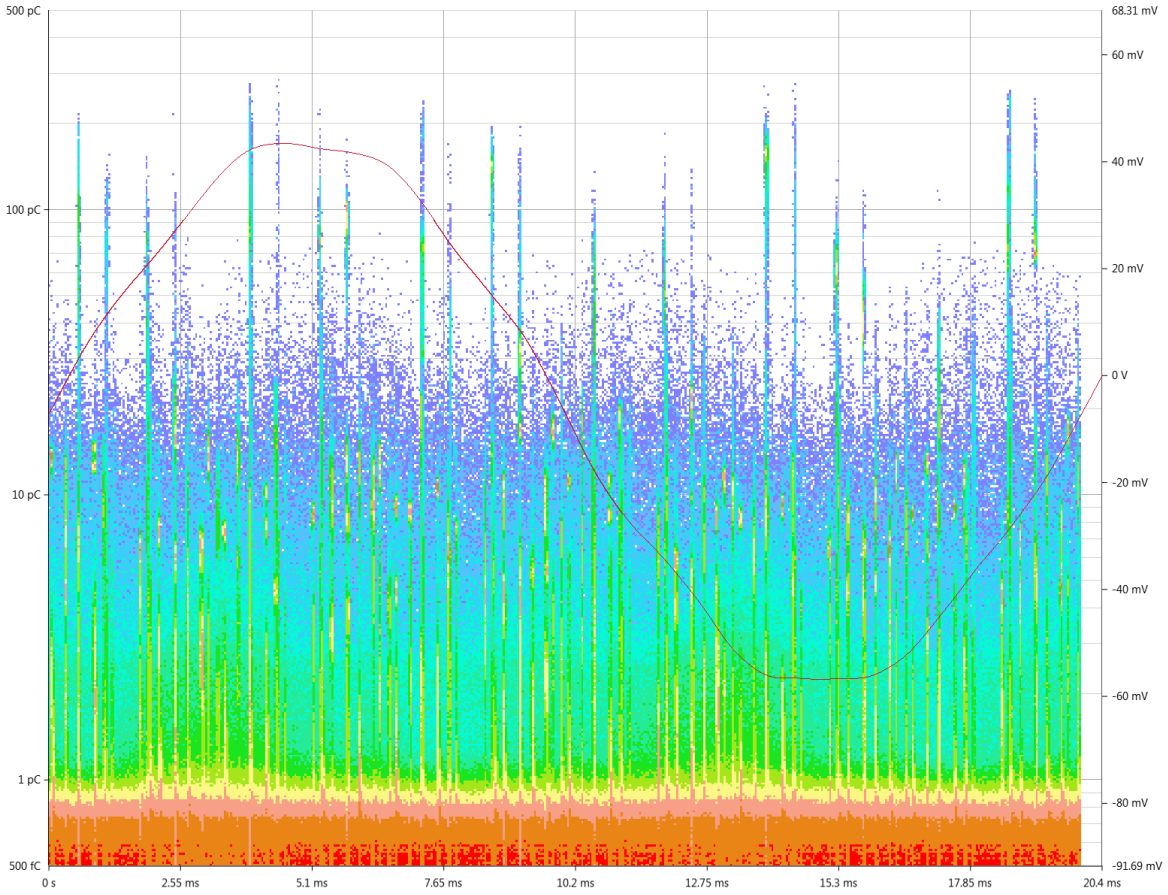
OMICRON

Okay, dann ist doch eigentlich alles easy, oder?

Herausforderungen der TE-Messung

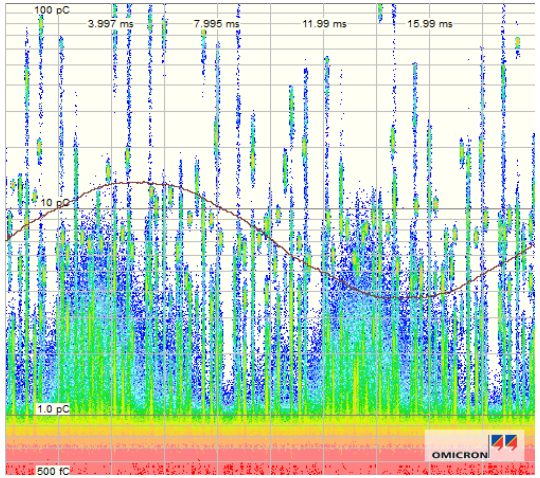
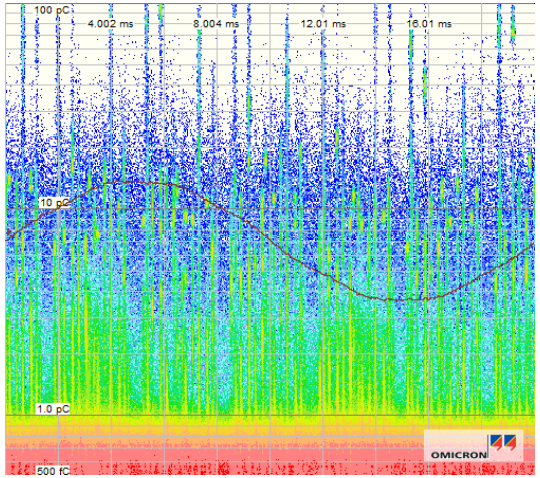
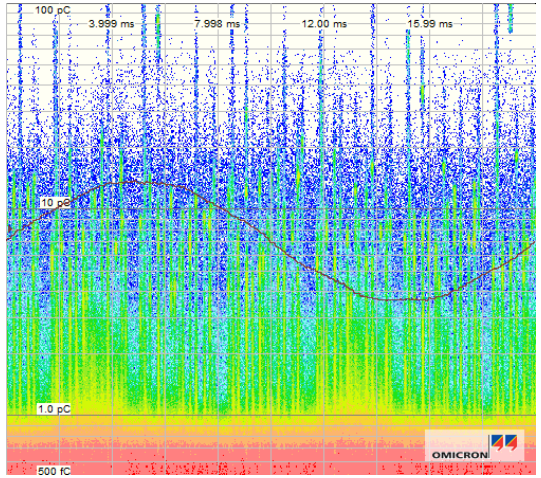
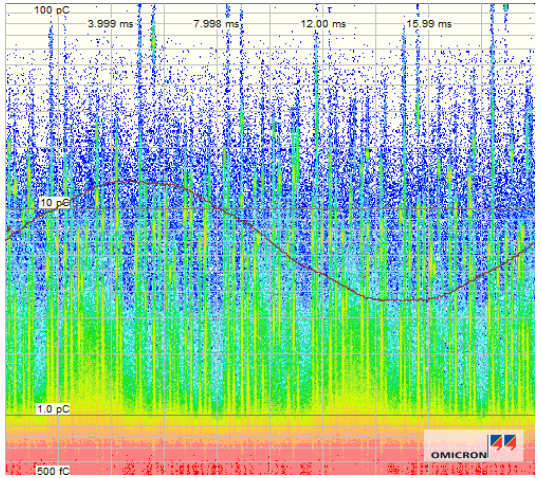
- TE-Signale sind impulsförmige hochfrequente Signale
- Betriebsparameter (Strom / Spannung) sind ca. 6 - 8 Größenordnungen größer als die TE-Signale
- Messtechnik muss sehr empfindlich impulsförmige Signale messen

- Auch empfindlich für (impulsförmige) Störsignale 😑



Stolperfallen

- Störer, Störer und Störer
- Bei Online-Messung vor allem die Umrichter

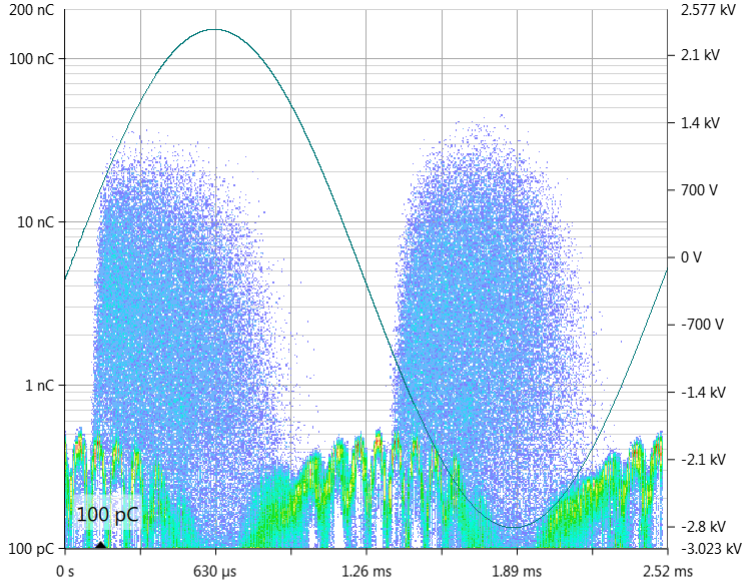
Leerlauf	1MW	2MW	3MW
			

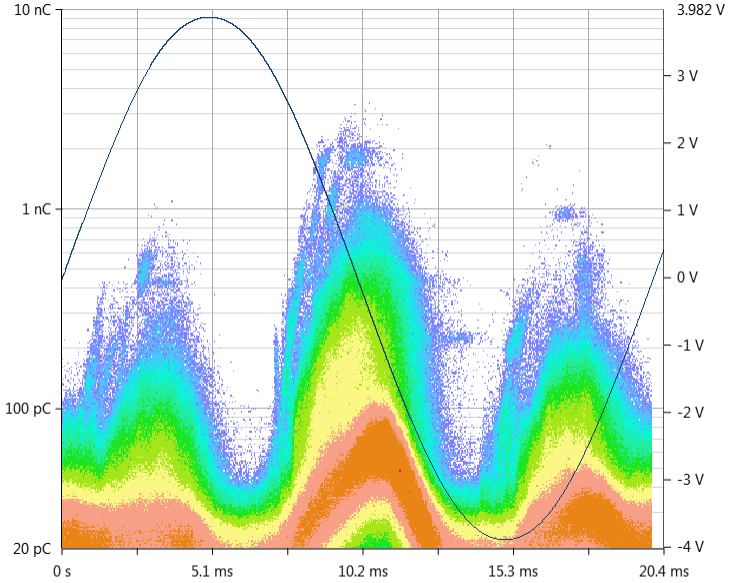
Ist TE-Messung nun Zustandsdiagnose oder Glaskugelleserei

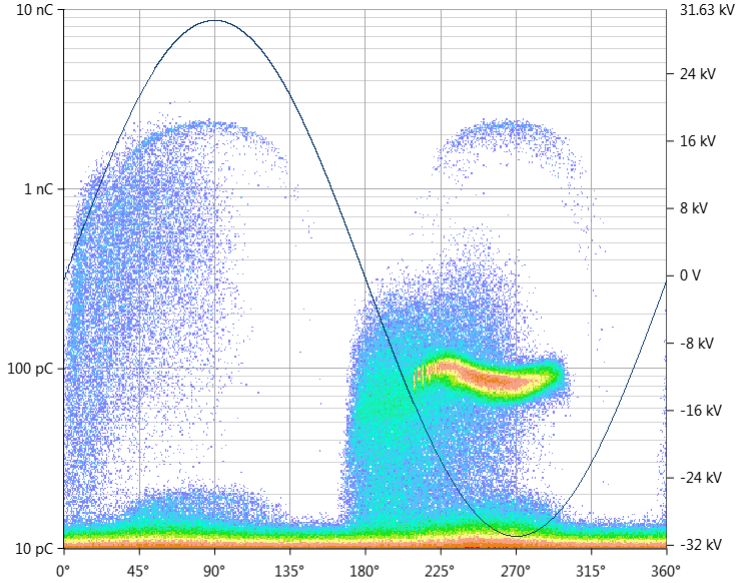
C1 - Internal

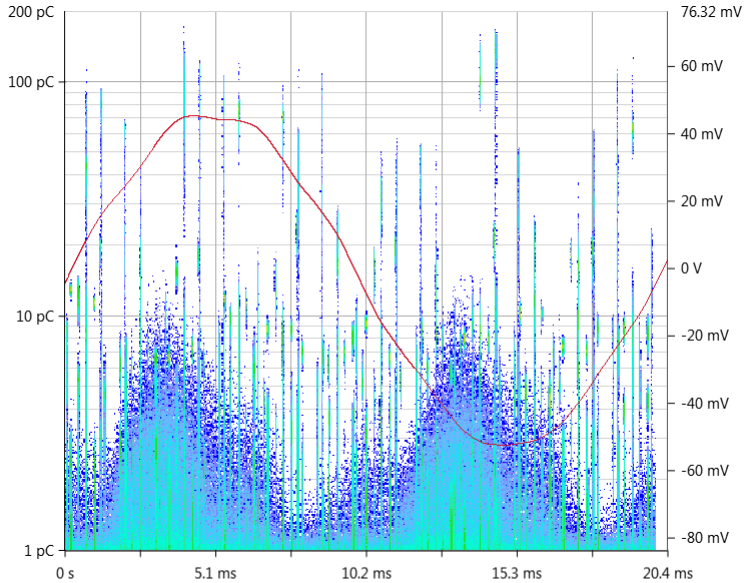
OMICRON

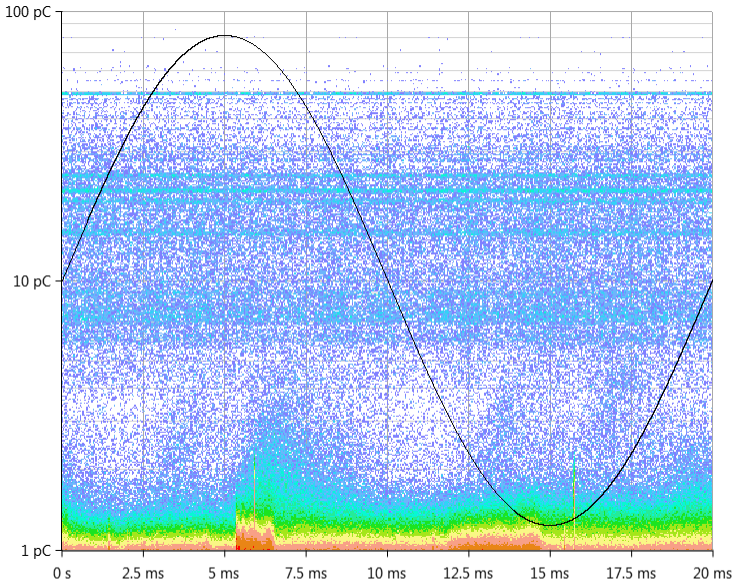
Interpretation

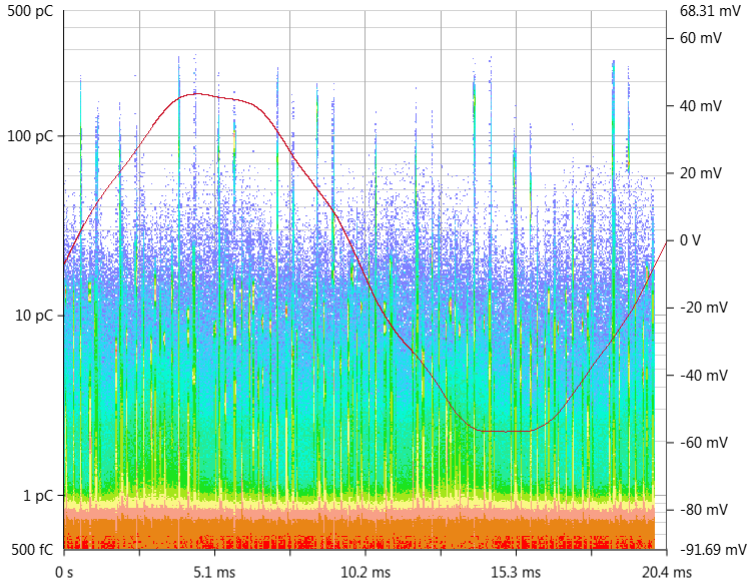






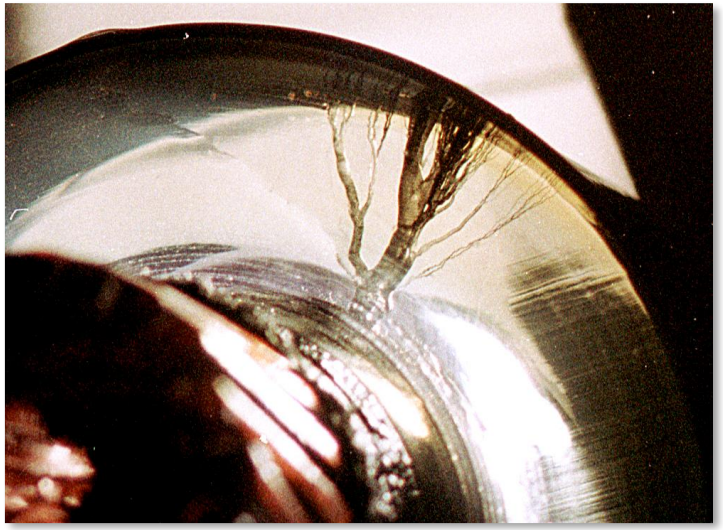


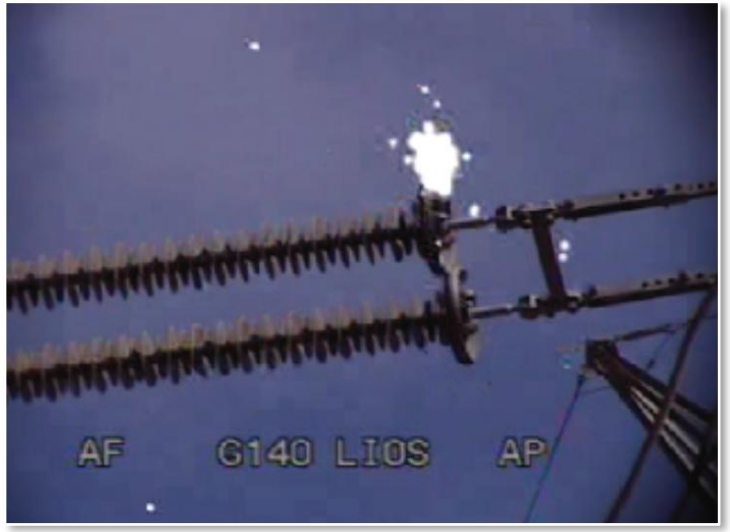




Welchen Output generiert TE-Messung

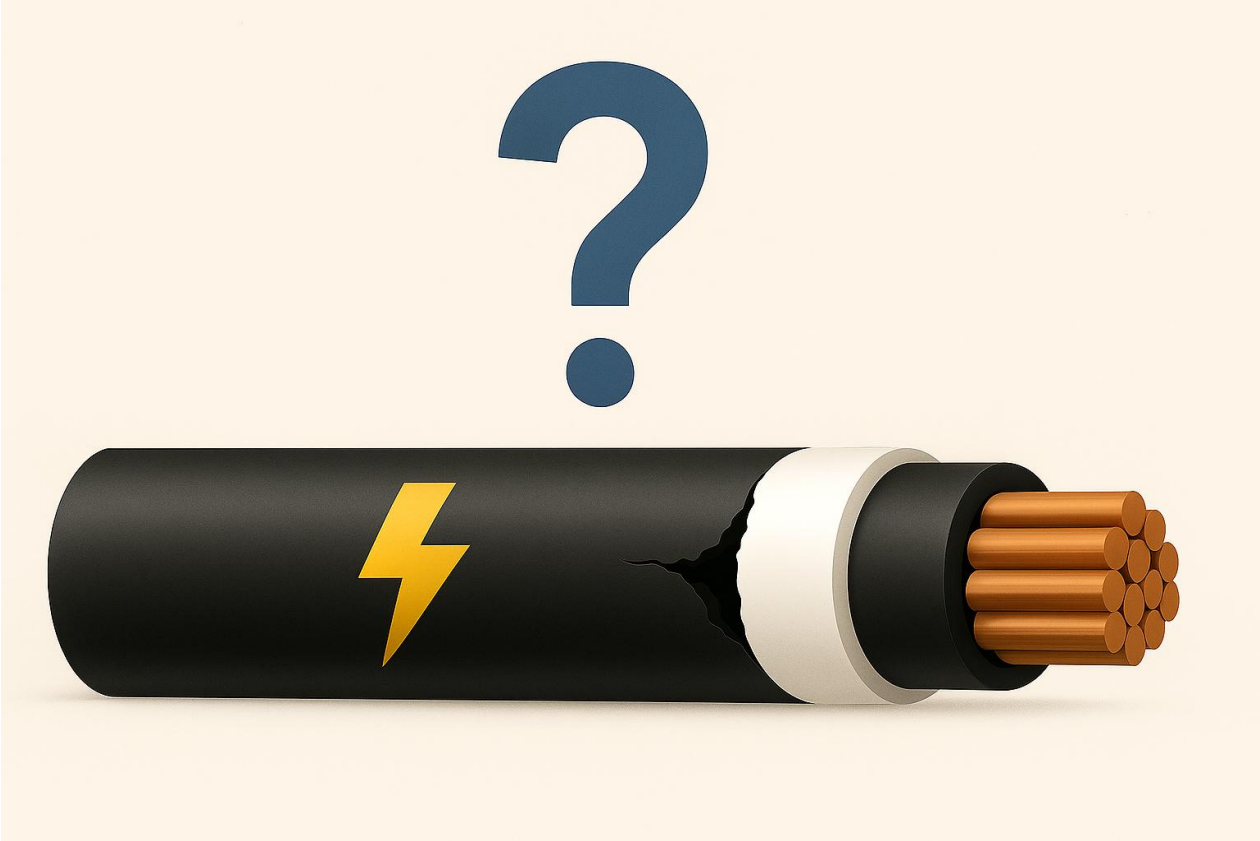
- Aussage über den Ist-Zustand der Isolation
- Art der TE-Ursache
- Anzahl der TE-Fehler
- evtl. Entstehungsort der TE-Fehler

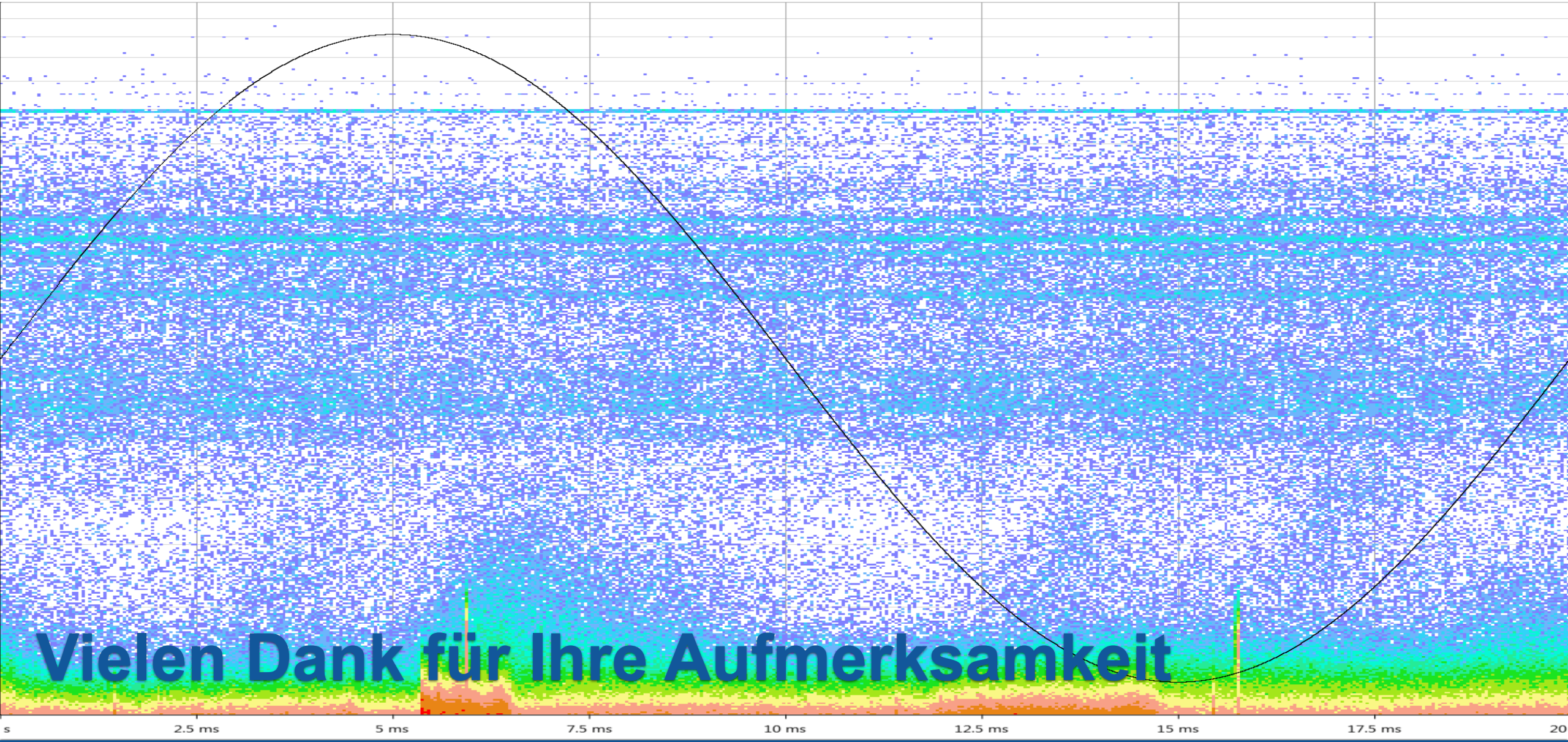




Welchen Output generiert TE-Messung

- Nicht-elektrische Schädigungen können in der Regel nicht erkannt werden
- Schädigungen an leitenden Elementen können in der Regel nicht
- Minutengenaue Restlebensdauer kann nicht ermittelt werden





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit