



ALTANOVA

A DOBLE COMPANY

doble isa MS MORGENTHAU SCHAEFFER PHENIX TECHNOLOGY TECHIMP Vantage Informatica

Einführung in Teilentladungsdiagnose an rotierenden, elektrischen Maschinen

Reinhold Franz
Regional Sales Manager
rfranz@doble.com

ALTANOVA, ein Unternehmen von Doble Engineering, bietet Versorgungs- und Industrieunternehmen diagnostische Lösungen zur Verbesserung der Leistung ihrer elektrischen Anlagen durch portable Prüfgeräte, fortschrittliche Überwachungssysteme und professionelle Dienstleistungen.

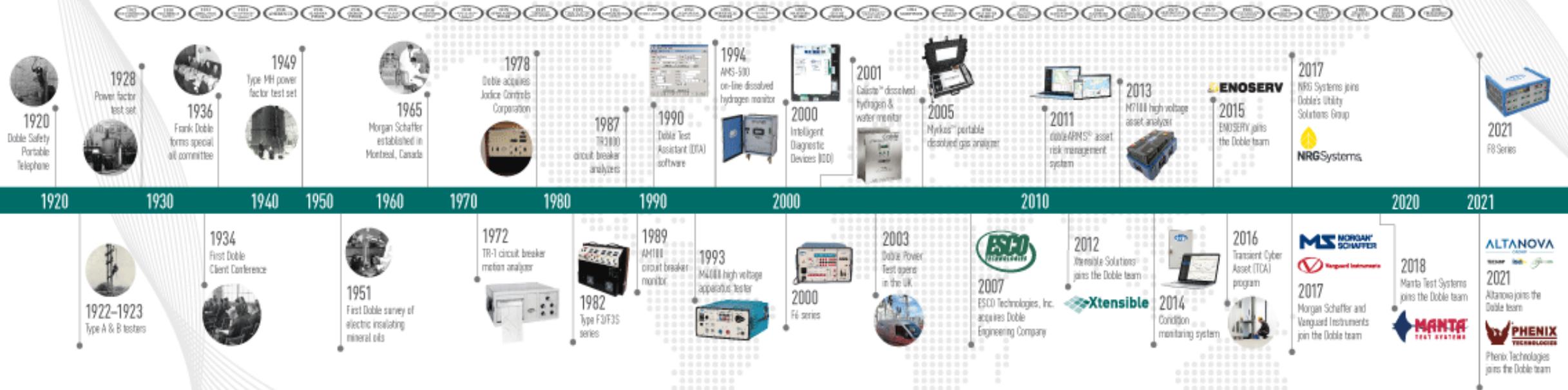
Altanova-Geschichte

- 1938 ISA Istrumentazioni Sistemi Automatici Srl in Taino (I) wird gegründet.
- 1999 TECHIMP Srl wird als Spin-off der Universität Bologna (I) gegründet.
- 2016 TECHIMP GERMANY nimmt den Geschäftsbetrieb auf
- 2017 ISA und TECHIMP fusionieren und gründen die ALTANOVA GROUP
- 2019 INTELLISAW wird von der ALTANOVA GROUP akquiriert.
- 2021 Die ALTANOVA GROUP wird Teil der ESCO Technology Group und tritt der Doble Engineering Company als Teil der USG-Division bei.



Doble-Geschichte

100 YEARS OF SERVICE TO THE ELECTRIC UTILITY INDUSTRY



Altova heute



100
LÄNDER



12

WELTWEITE
STANDORTE



150+
MITARBEITER



150+
VERTRIEBSPARTNER



5550+
KUNDEN WELTWEIT

Teil der Utility Solutions Group von ESCO
Technologies

PRODUKTMARKEN



Unsere Lösungen

Elektrische Mess- & Prüfgeräte

Unverzichtbar für die routinemäßige
Wartung elektrischer Anlagen.

Nützlich in allen Phasen des
Asset-Lebenszyklus:

- Beschaffung
- Betrieb
- Instandhaltung
- Außerbetriebnahme

Professionelle Services

Umfassende Services für den gesamten
Lebenszyklus elektrischer Betriebsmittel:

- Installation und Inbetriebnahme
- Zustandsbewertung
- Datenanalyse
- Beratung
- Training.



Monitoringsysteme

Permanente Zustandsüberwachung

Wechsel von turnusmäßiger zu
zustandsorientierter Instandhaltung.

Vermeidung von ungeplanten,
kostenintensiven Ausfällen.

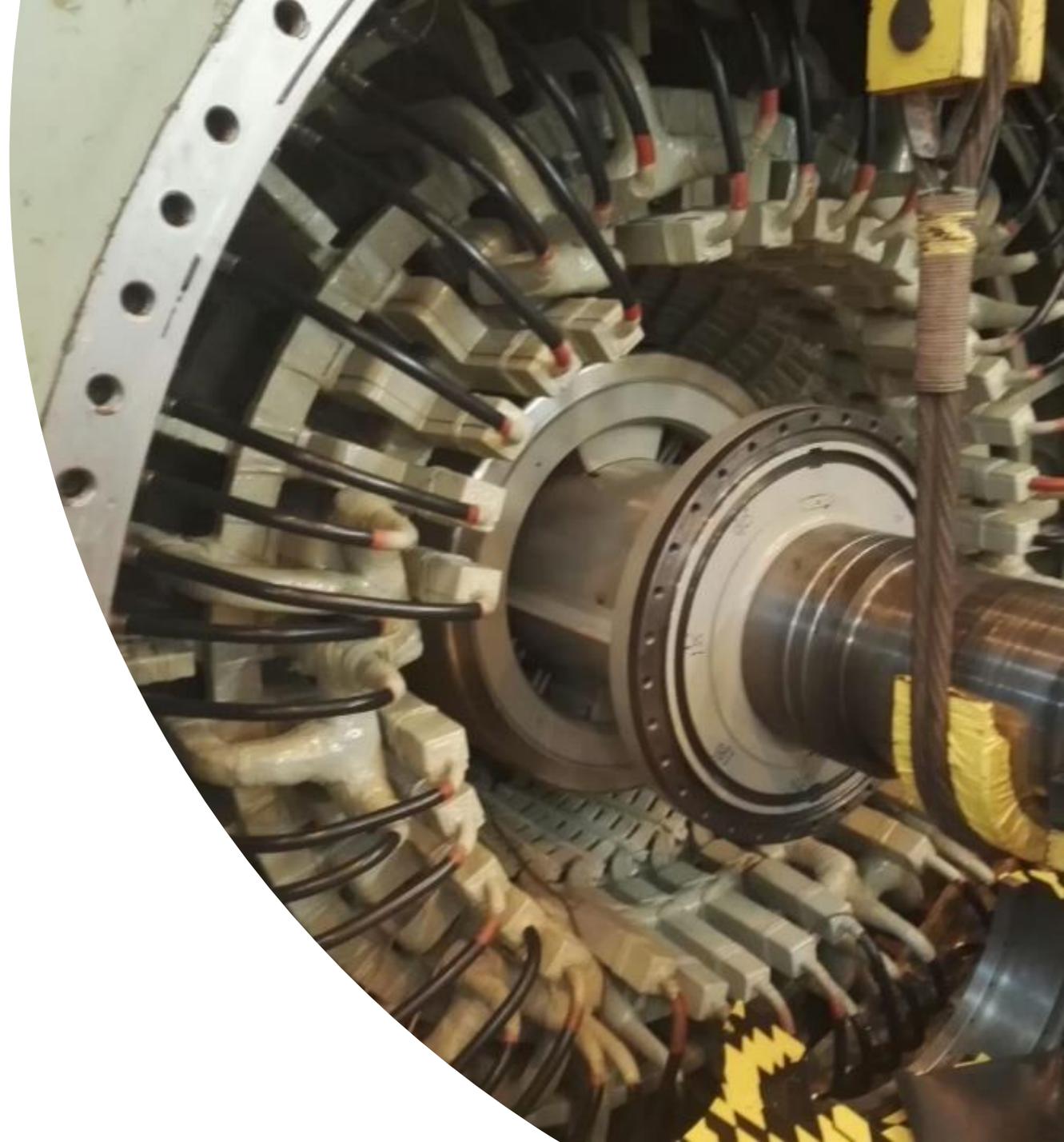
Test- und Monitoringlösungen für:

- Leistungstransformatoren
- Leistungsschalter
- Gasisolierte HV-Schaltanlagen
- MS-/HS-/EHV-Kabel
- MS/NS-Schaltanlagen
- Batterien
- Strom- und Spannungswandler
- Schutzrelais
- Messgeräte und Wandler
- Rotierende Maschinen
- Antriebe mit variabler Geschwindigkeit
- Freileitungen



Inhalt

- Diagnose rotierender Maschinen
- TE & rotierende Maschinen
- TE-Sensoren für rotierende Maschinen
- Online vs. Offline
- Typische TE-Phänomene
- Rauschunterdrückung und Übersprechen
- TE-Analyse
- Fallstudien





Diagnosen

- Widerstandsmessungen
- TanDelta-Messungen
- EMI-Messungen
- TE-Messungen

Diagnose

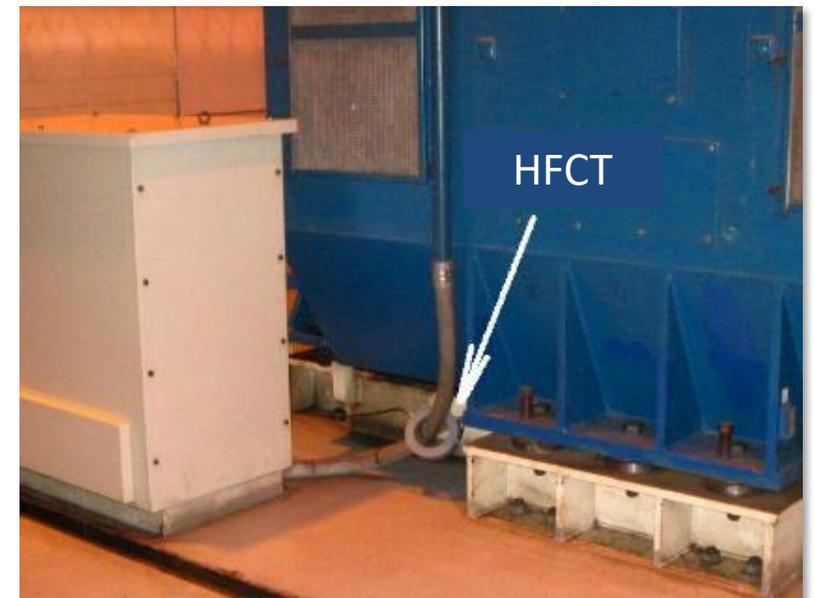
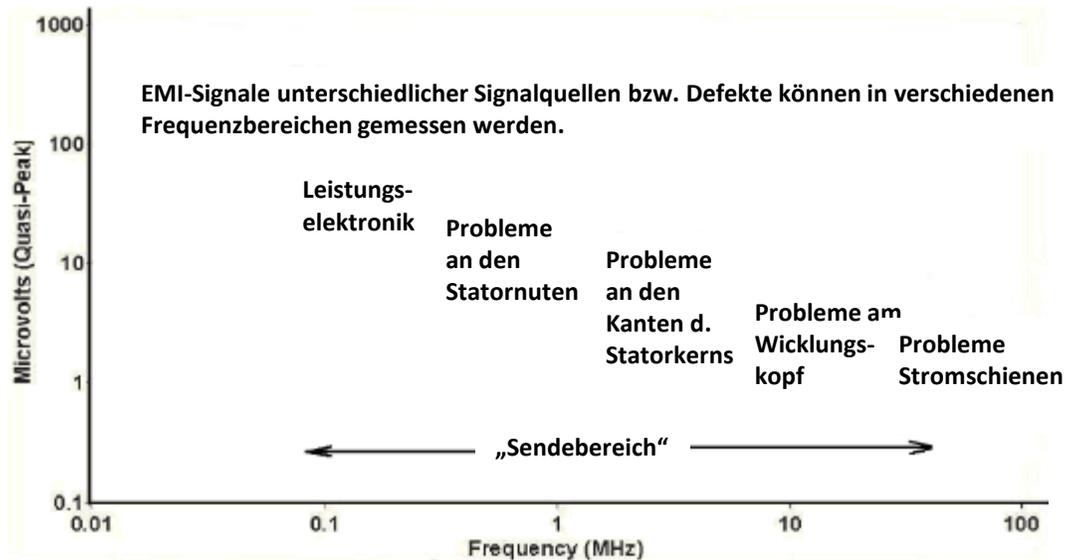
Klassische Messungen an rotierende Maschinen:

- Isolationswiderstand
- Polarisationsindex
- Wicklungswiderstand
- TanDelta
- Kapazitäten

Diagnose

Elektromagnetische Interferenzen

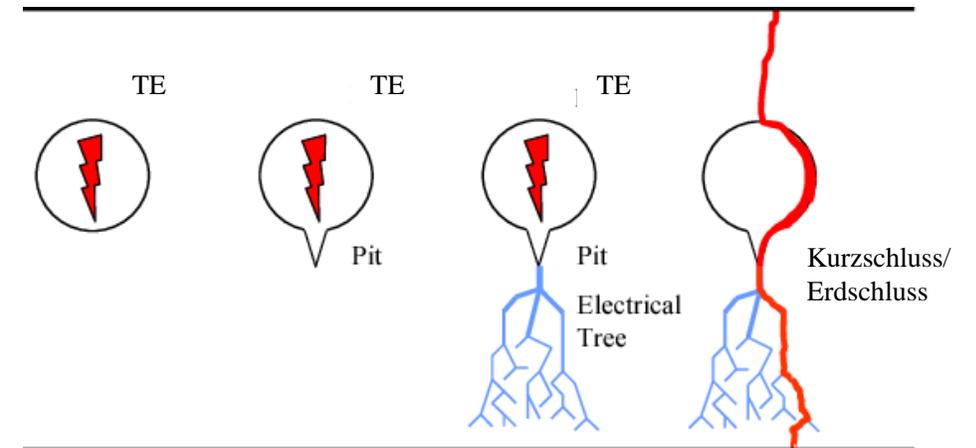
EMI-Messungen können, dank unterschiedlicher Signaturen, eine Vielzahl an Problemen identifizieren.



TE an rotierenden Maschinen

Teilentladungsdefinition:

„Örtlich beschränkte elektrische Entladung, welche die Isolierung zwischen Leitern nur teilweise überbrückt und welche angrenzend an einen Leiter auftreten kann, aber nicht muss“



Diagnose

TE an rotierenden Maschinen

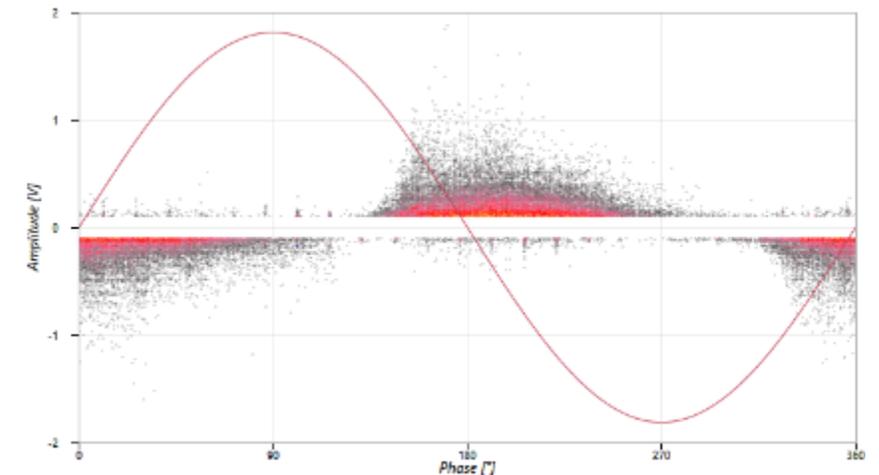
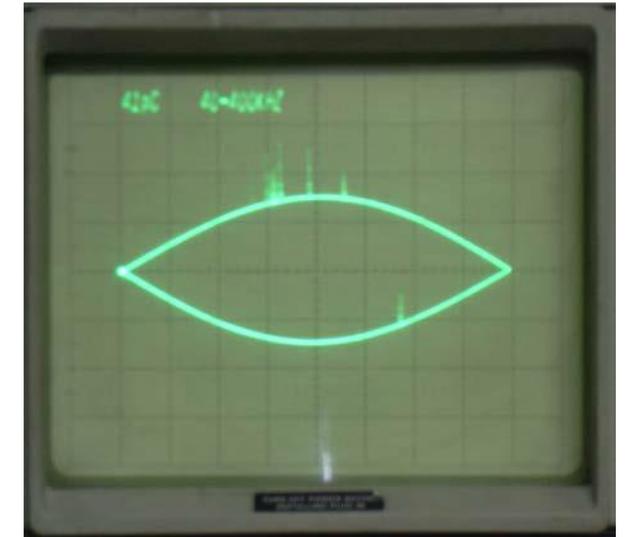
Phasenaufgelöstes Teilentladungsmuster:

Ein TE-Phänomen erzeugt jede Sekunde Tausende von TE-Impulsen.

Die übliche Art, sie zu visualisieren, besteht darin, die Amplitude der Impulse in Korrelation mit der angelegten Spannung darzustellen.

Die Korrelation basiert auf der TE-Physik, der elektrische Stress aufgrund der angelegten Spannung aktiviert TE.

Die korrekte Analyse phasenaufgelöster TE-Muster ist der Schlüssel für die TE-Diagnostik außerhalb des Labors.



Diagnose

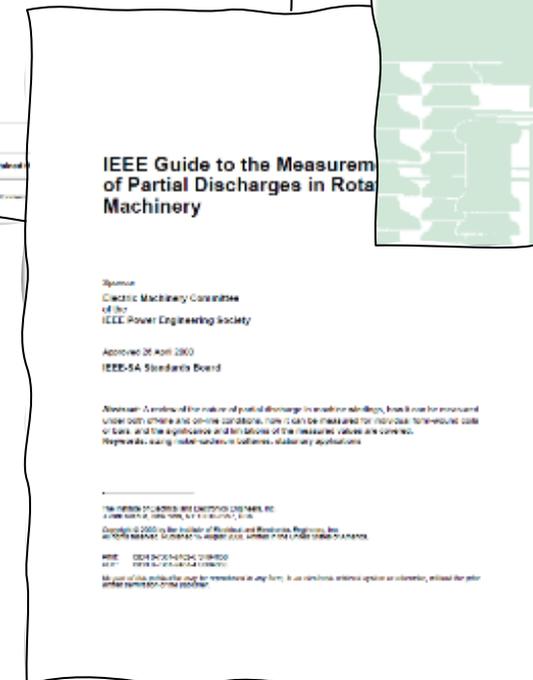
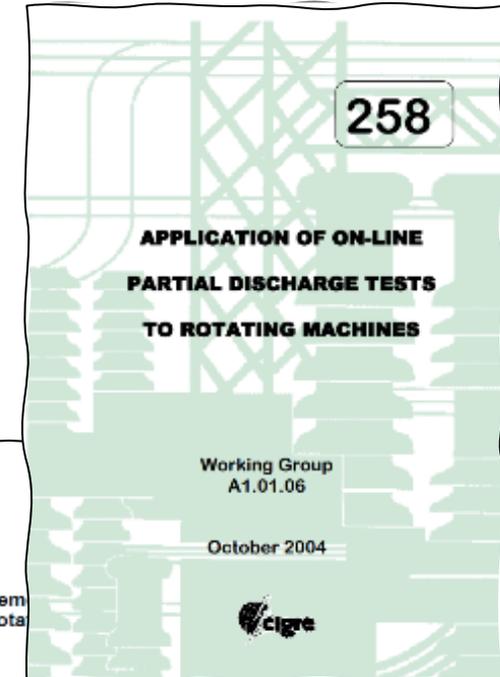
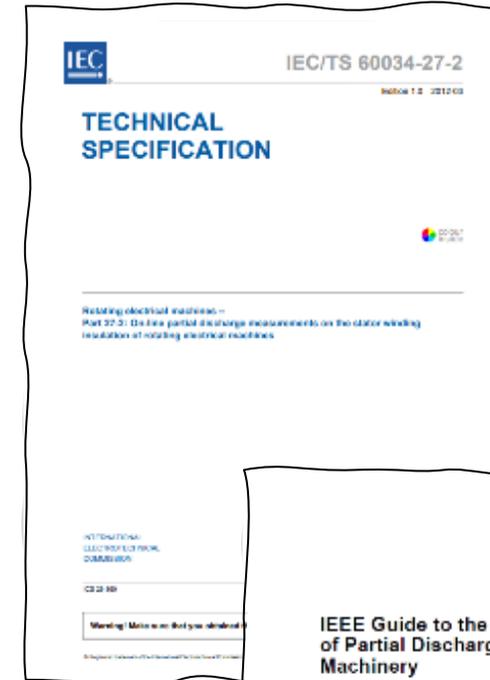
TE an rotierende Maschinen

Internationale Standards:

IEC 60034-27-2: *Online-Teilentladungsmessungen an der Statorwicklungsisolation rotierender elektrischer Maschinen*

IEEE 1434: *Leitfaden zur Messung von Teilentladungen in elektrischen Wechselstrommaschinen*

CIGRE 258: *Anwendung von Online-Teilentladungstests an rotierende Maschinen*





TE-Sensoren

- TE-Signale erfassen
- Sensortypologien
- Anforderungen an Sensoren
- Sensorpositionierung
- Signal & Sicherheit

TE-Signale erfassen

Lokale Isolationsfehler erzeugen TE-Signale, wenn sie elektrischem Stress ausgesetzt sind und sind somit Quelle hochfrequenter elektromagnetischer Signale.

Diese Signale können mittels unterschiedlicher Sensoren erfasst werden, wobei zu beachten ist, dass je nach Messaufbau

- unterschiedliche Empfindlichkeiten erreicht werden.
- verschiedene Methoden zur Synchronisation zur Verfügung stehen.
- die TE-Signale variieren.

TE-Sensoren

Sensortypologie

Die an Motoren und Generatoren am häufigsten eingesetzten TE-Sensoren sind kapazitive Koppler, die möglichst nah an den Statorwicklungen installiert und mit diesen verbunden werden.

Weitere TE-Sensoren sind

- HFCT – Hochfrequenz-Stromwandler
- SSC – Stator Slot Couplers (Installation in Luftspalten der Statorwicklungsnuten)



TE-Sensoren

Sensortypologie

	Koppelkondensator	HFCT	SSC
Empfindlichkeit	Hoch	Gering	Lokal hoch
Installation	Mittlerer Aufwand	Mittlerer Aufwand	Hoher Aufwand
Sicherheit	Mittel	Sehr hoch	Hoch
Sync. Signal	JA	NEIN	NEIN
Kupplung Prinzip	Kapazitiv	Induktiv	Antenne

TE-Sensoren

Anforderungen

TE-Sensoren, die permanent an einem Motor oder Generator installiert werden, dienen einer Aufgabe: Vermeidung eines unerwarteten Ausfalls

Dazu werden die Sensoren folgenden Prüfungen unterzogen:

- Stresstest: Impulsspannungs-, thermische u. Langzeit-AC-Prüfung
- Jeder Sensor muss der 3-fachen Nennspannung standhalten
- Jeder Sensor muss nach erfolgtem Stresstest TE-frei sein



TE-Sensoren

Koppelkondensator 7 kV /1 nF



Ideale Lösung für 6,6-kV-Motoren.
Geringer Platzbedarf für die Installation.
Geringes Gewicht.

Koppelkondensator 12, 17, 24 kV /1 nF



3 verschiedene Nennspannungen: 12 kV, 17,5 kV und 24kV.
Die Nennspannung und somit die Abmessungen werden von den jeweiligen Kriechstrecken beeinflusst.

TE-Sensoren

Sensorpositionierung

TE-Sensoren werden in Gefahrenzonen installiert und dürfen das Ausfallrisiko nicht erhöhen.

- Metallische Teile dürfen nicht magnetisch sein.
- Das TE-Sensorsystem darf die Isolationsfähigkeit des Stators nicht verringern.
- Temperatur- und Vibrationsbeanspruchung sind zu berücksichtigen.
- Korona- und Oberflächen-TE sind zu vermeiden.



TE-Sensoren

Signal & Sicherheit

Koaxialkabel werden verwendet, um Signale zu einer „Derivation Box“ zu übertragen.

Die „Derivation Box“ ist erforderlich, um TE- und Synchronisierungssignale von den Sensoren zu erhalten.





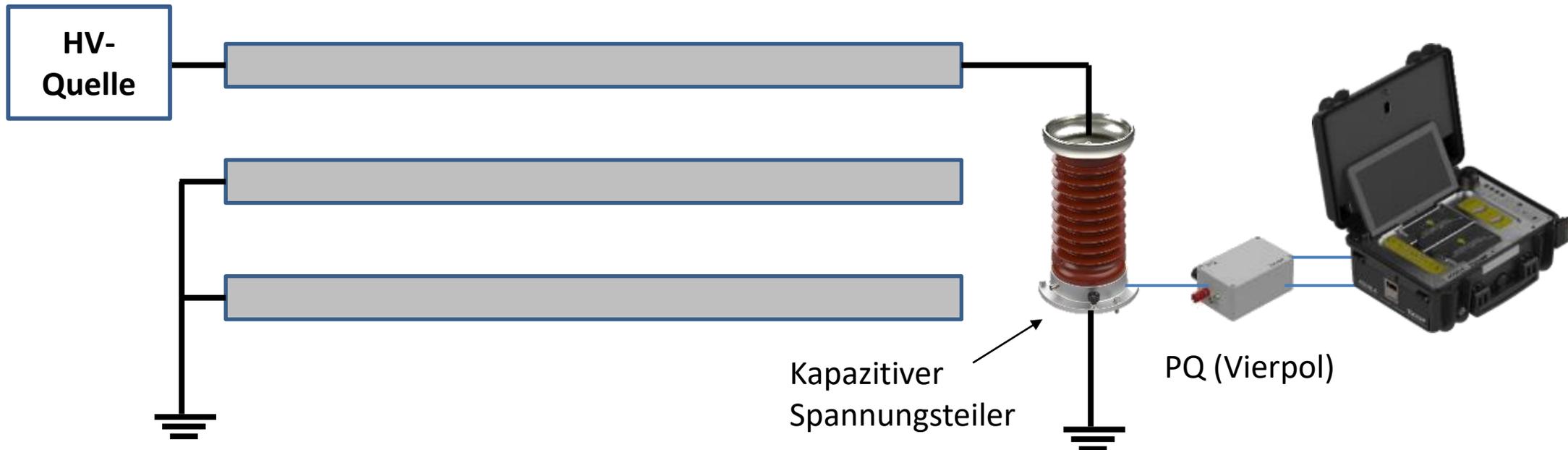
Online vs. Offline

- Offline-TE-Messung
- Online-TE-Messung
- Technischer Vergleich
- Praktischer Vergleich

Online vs. Offline

Offline-TE-Messung

Offline-TE-Messung bedeutet, dass die TE-Messung am abgeschalteten und vom Netz getrennten Betriebsmittel mittels externer Spannungsquelle durchgeführt wird. Die dazu erforderlichen TE-Sensoren werden nur vorübergehend installiert und nach dem Test wieder entfernt.



Online vs. Offline

Offline-TE-Messung

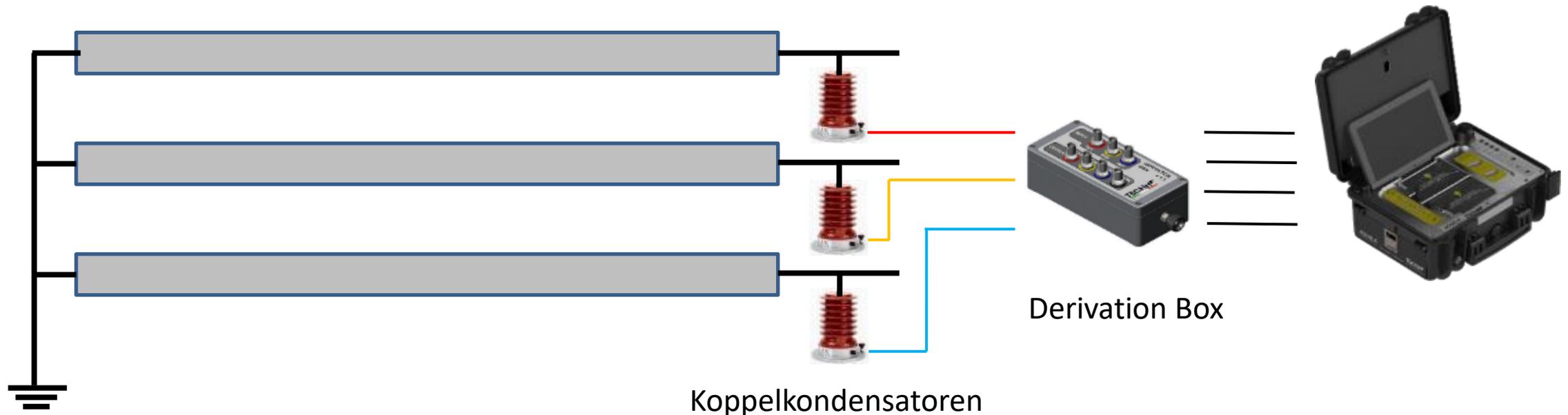
Merkmale der Offline-TE-Messung:

- Die Messung erfolgt Phase gegen Erde.
- Die Maschine steht, d.h. während des Tests tritt keine Temperaturänderung auf ...
- ... und unter Betriebsbedingungen entstehende mechanische Einflüsse werden offline nicht berücksichtigt.
- Phase gegen Phase Messung möglich.
- Die externe Spannungsquelle muss frei von TE-Signalen sein.
- TE-Einsetz- und Aussetzspannung können gemessen werden.
- Isolationsüberlastung möglich.

Online vs. Offline

Online-TE-Messung

Der Online-TE-Messung wird bei laufender Maschine unter Betriebs-/Lastbedingungen durchgeführt. Permanente Sensoren sind empfohlen, wobei jedoch auch eine temporäre Installation möglich ist.

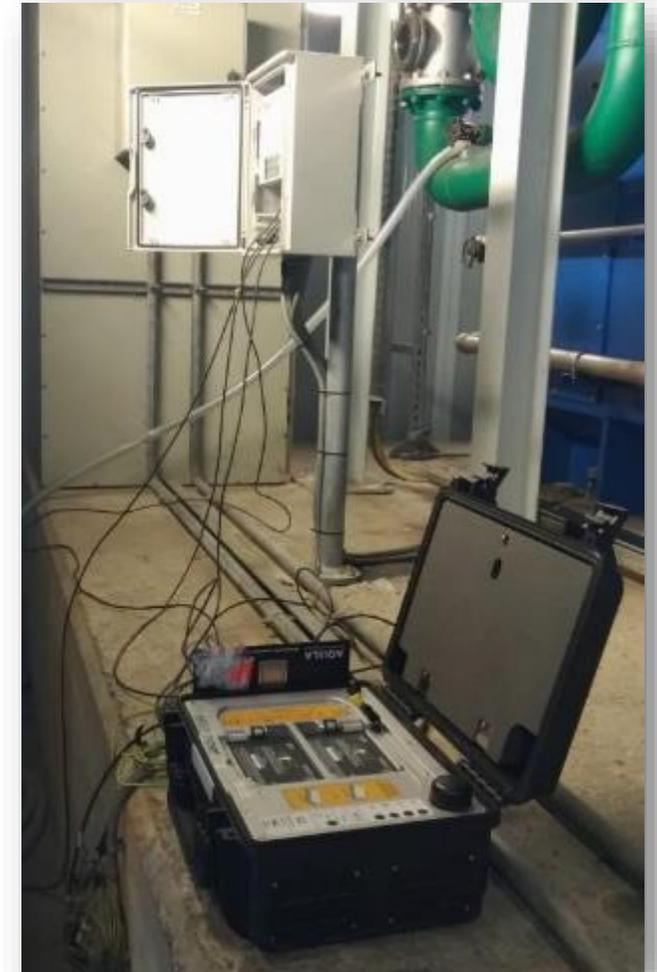


Online vs. Offline

Online-TE-Messung

Merkmale der Online-TE-Messung:

- Messung unter Betriebsbedingungen
- Messung bei unterschiedlicher Belastung und bei unterschiedlichen Temperaturen möglich
- Übersprecheffekte (Cross Talk) möglich
- Externe Störsignale möglich
- 3-phasige simultane Messung
- Permanente Sensoren
- Sichere, risikolose Messung



Online vs. Offline

Technischer Vergleich

	Offline	Online
Permanente Sensoren erforderlich	NEIN	JA
Übersprechen (Cross Talk)	NEIN	JA
Messung unter Betriebsbedingung	NEIN	JA
Korrelation historischer Daten, Trendanalyse	Nur, wenn Messungen immer mit demselben Equipment erfolgen	JA
TEAM-Stress (Thermal, Electrothermisch, Ambiente, Mechanical)	NEIN	JA

Online vs. Offline

Praktischer Vergleich

	Offline	Online (bei bestehender Installation der Sensoren)
Preis	Hoch	Gering
Kundenaufwand	Hoch	Gering
Abschaltung erforderlich?	JA	NEIN
PD-Sensor	Teil des Offline-Equipments	Vorhanden (bei Sensoren von Drittanbietern: Kompatibilität prüfen)
Sicherheit	Mögliche Gefahren durch HS	Sichere Messung
Belastungen	Höhere Mess-/Prüfspannungen möglich	Laständerungen möglich, TEAM-Einflüsse
Betriebsabteilung involviert?	JA	NEIN
Erforderliches Equipment	HS-Quelle, Sensoren, TE-Messgerät	TE-Messgerät



TE- Phänomene

- Phasenaufgelöstes TE-Muster und Polarität
- Mikroskopische Hohlräume in der Hauptisolierung
- Delamination „Gehäuseseite“
- Delamination „Leiterseite“
- Spaltentladungen
- Entladungen an Feldsteuerelementen
- Stab zu Stab/Stab zu Masse Entladungen

TE-Phänomene

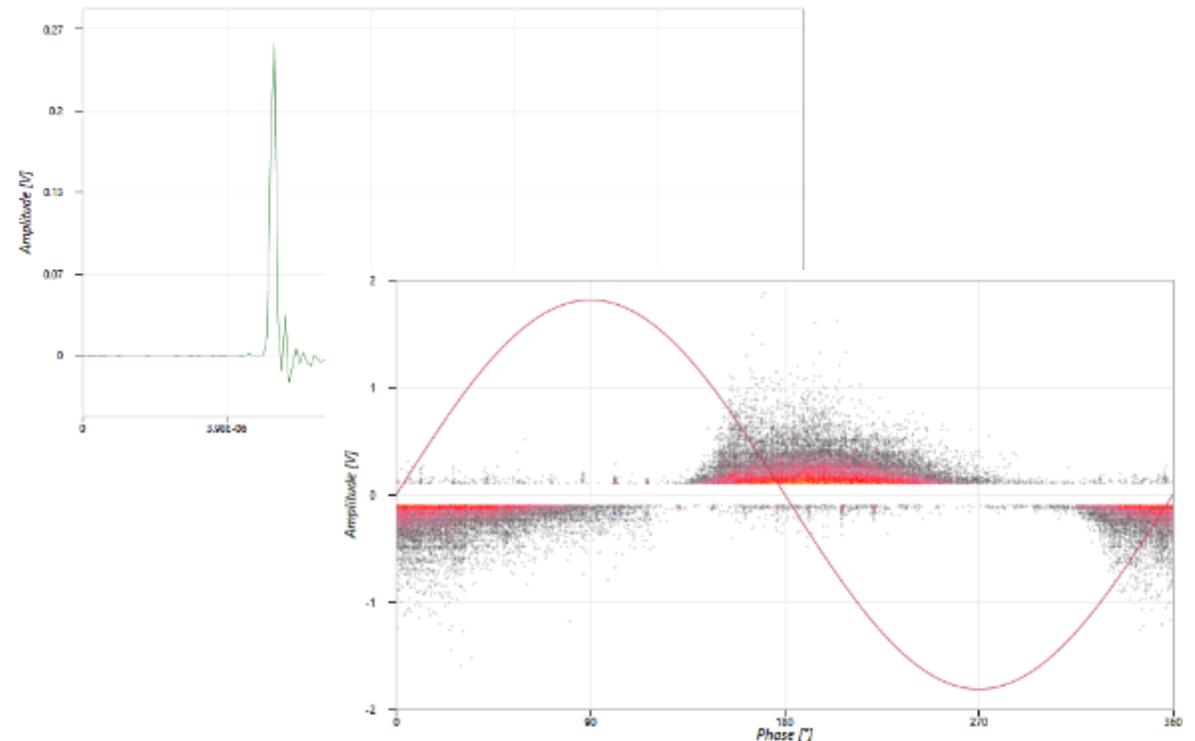
Phasenaufgelöstes TE-Muster und Polarität

Die korrekte Interpretation der TE-Muster ist der Schlüssel zu einer aussagekräftigen TE-Diagnostik.

Voraussetzung dafür sind fundiertes Teilentladungswissen sowie qualitativ hochwertige Messdaten.

Schlüsselkriterien bei der Bewertung sind

- Impulsamplitude
- Polspolarität
- Phasenwinkel
- Wiederholungsrate

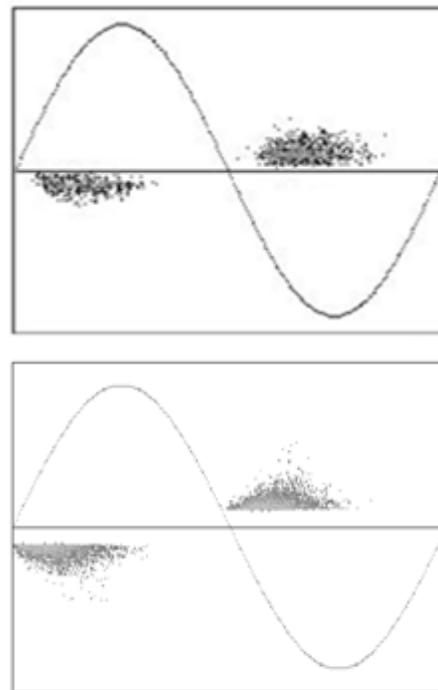
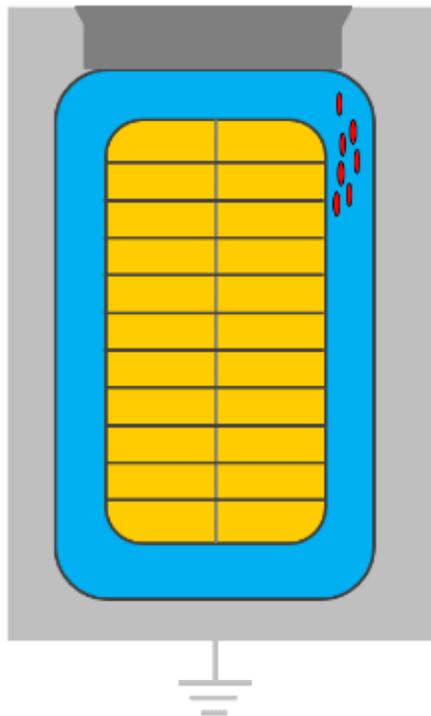


TE-Phänomene

Mikroskopische Hohlräume in der Isolierung

Mikroskopische Hohlräume in der Hauptisolierung aufgrund unvermeidbarer Ungleichmäßigkeiten beim Aufbringen der Isolationsmaterialien während der Produktion sind in jeder Maschine präsent.

Sie können über die gesamte Lebensdauer einer Maschine beobachtet werden und sind nicht zwangsläufig ein Zeichen für vorzeitige Alterung. Erst, wenn die Trendanalyse einen deutlichen Anstieg der Intensität ergibt, sind weitere Maßnahmen erforderlich.



Merkmale:

Symmetrie TE + & TE - *

Phasenwinkelintervalle regelmäßig

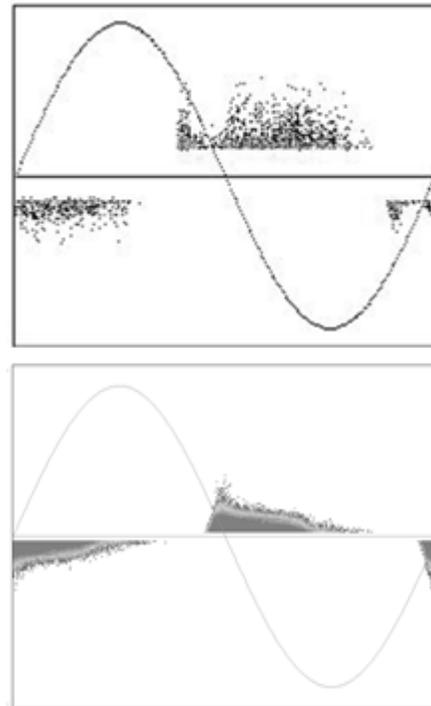
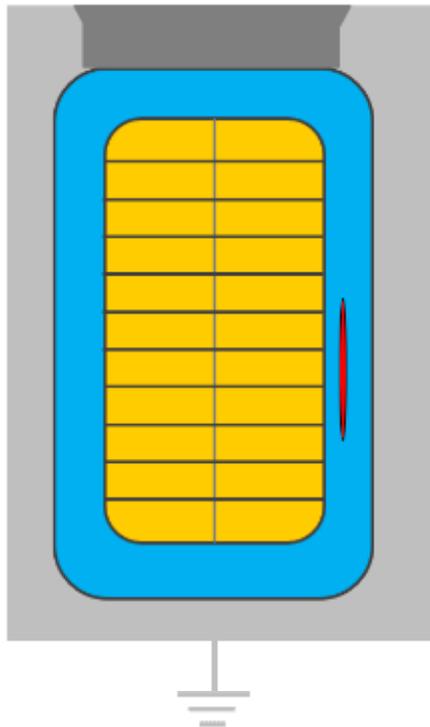
Amplitude gering

Dreieckige Form

*+/- bezieht sich auf die Impulsamplitude, nicht auf die angelegte Spannung

Eingebettete Delaminierung

Delamination zwischen Glimmerbandlagen verursacht flache Hohlräume in der Isolierung. Diese sind besonders gefährlich, da die Luft einschlüsse das Wärmeleitvermögen der Isolierung lokal verringern und somit zu punktueller Überhitzung (Hotspots) führen.



Merkmale:

Symmetrie TE + & TE - *

Große Phasenwinkelintervalle

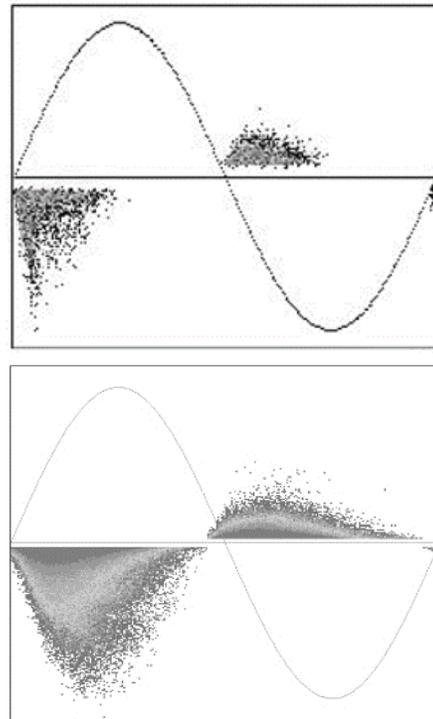
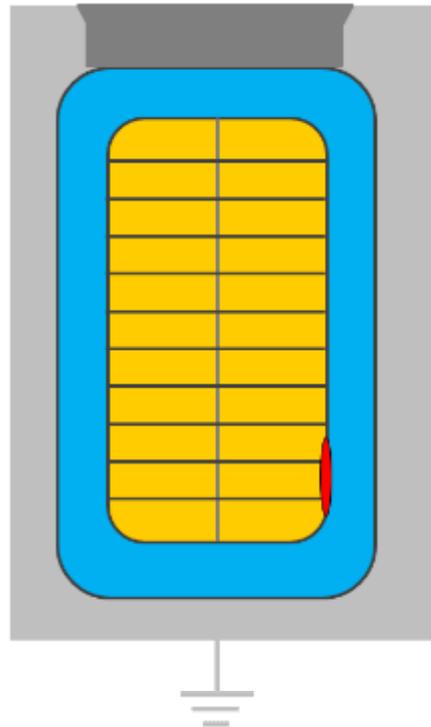
Form dreieckig

Start vor dem Nulldurchgang

*+/- bezieht sich auf die Impulsamplitude, nicht auf die angelegte Spannung

Delamination „Leiterseite“

Delamination zwischen Leiter und Hauptisolierung verursacht flache Hohlräume, die das Wärmeleitvermögen der Isolierung lokal verringern und somit ebenfalls zu punktueller Überhitzung (Hotspots) führen.



Merkmale:

PD - >> PD +*

Phasenwinkelintervalle regelmäßig

Ungleiche Form

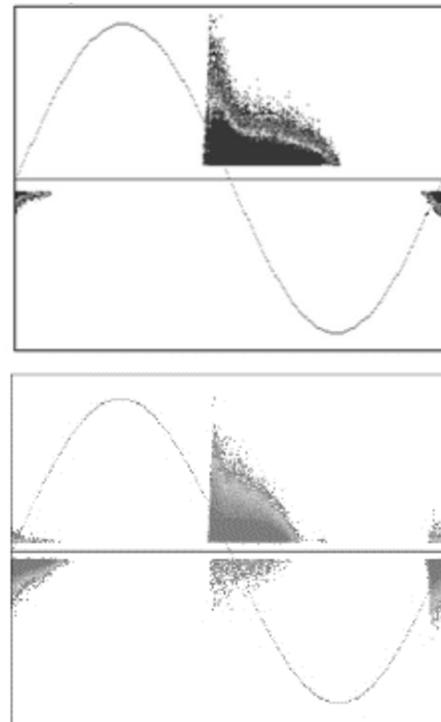
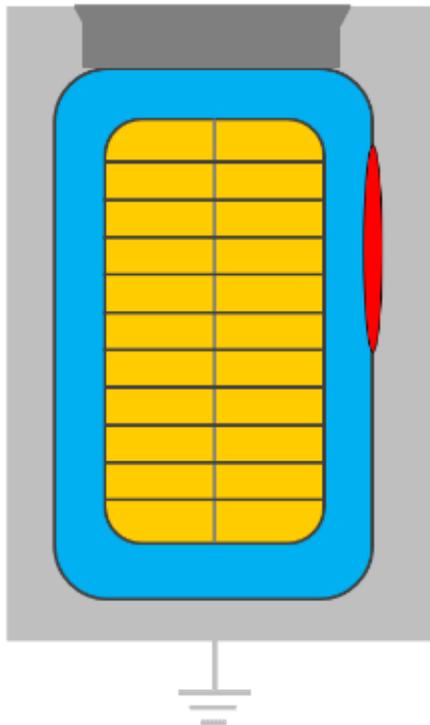
Beginnt vor dem Nulldurchgang

*+/- bezieht sich auf die Impulsamplitude, nicht auf die angelegte Spannung

TE-Phänomene

Nut-Entladungen

Entladungen zwischen der halbleitenden Nutbeschichtung und dem Eisenkern des Stators. Sie treten auf, wenn die Beschichtung durch Stab-/Spulenbewegungen in der Nut beschädigt wird, beispielsweise durch Erosion, Unterbrechungen oder chemische Kontamination der Beschichtung. Sie erodieren zuerst die halbleitende Beschichtung, dann die Isolierung.



Merkmale:

$TE + \gg TE - *$

Phasenwinkelintervalle regelmäßig

Ungleiche Form

Beginnt vor dem Nulldurchgang

TE+ max. Werte liegen ungefähr beim Nulldurchgang

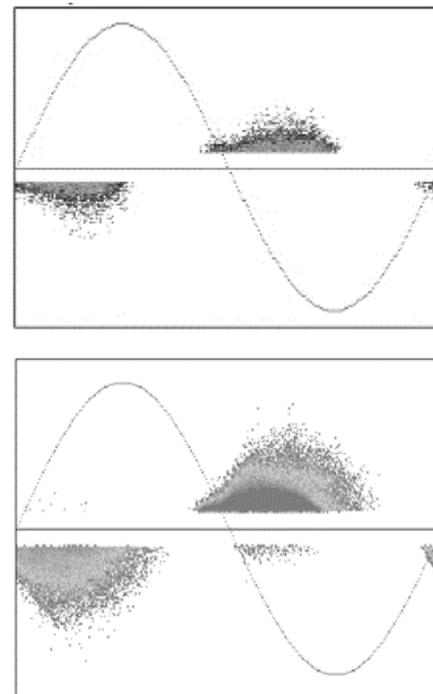
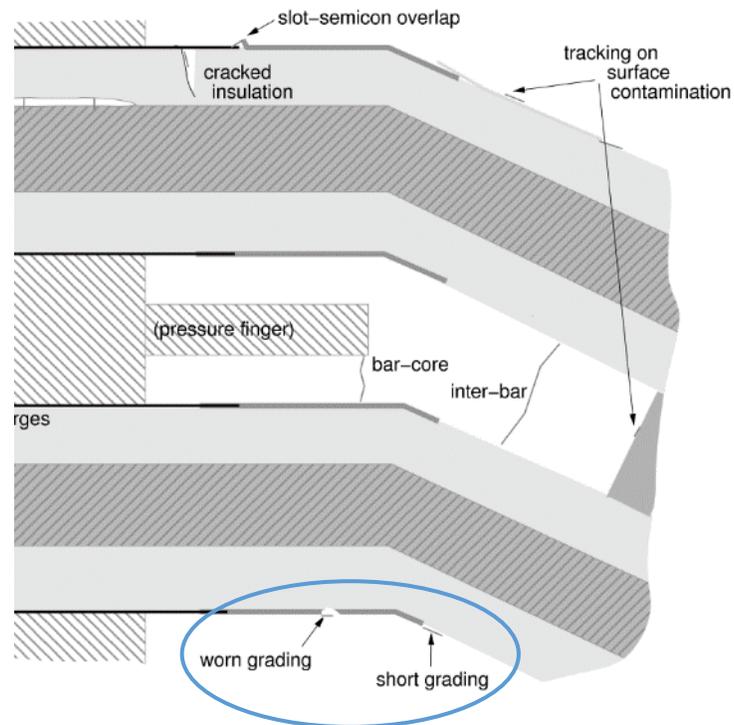
*+/- bezieht sich auf die Impulsamplitude, nicht auf die angelegte Spannung

TE-Phänomene

Entladungen an Feldsteuerelementen

Der Enden-Glimmschutz steuert den Potenzialverlauf an der Stelle, wo die Generatorstäbe aus der Nut austreten. Ist der Potenzialanstieg zwischen Nut-Glimmschutz und isoliertem Stabende aufgrund eines schadhaften Enden-Glimmschutzes zu steil, kommt es zu Gleitentladungen auf der Staboberfläche.

Dies ist normalerweise ein langsamer Ausfallmechanismus, selbst wenn sich das TE- Verhalten aufgrund von Oberflächeneffekten schnell ändern könnte.



Merkmale:

$$TE + > TE - *$$

Phasenwinkelintervalle regelmäßig

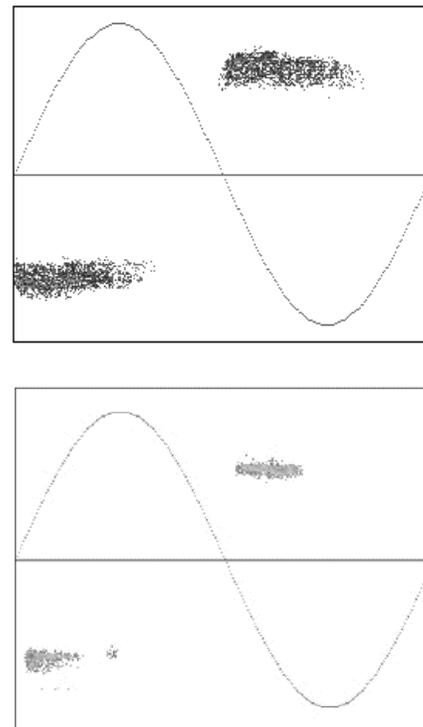
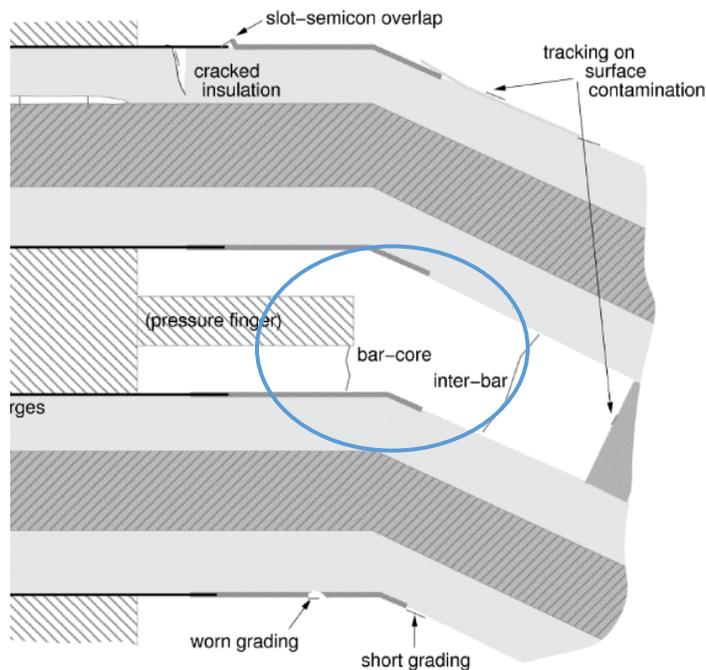
Abgerundete Form

*+/- bezieht sich auf die Impulsamplitude, nicht auf die angelegte Spannung

TE-Phänomene

Stab-zu-Stab/Stab-zu-Erde Entladungen

Entladungen zwischen Stäben unterschiedlicher Phasen und/oder Stab-Erde-Entladungen am Wickelkopf. Gründe dafür sind verringerte Abstände aufgrund mechanischer Beanspruchung oder Feuchtigkeit auf den Isolierstücken zwischen den Stäben.



Merkmale:

$$TE + = TE - *$$

Hohe Wiederholungsrate

Losgelöst vom Triggerpegel

„quadratische“ Muster

*+/- bezieht sich auf die Impulsamplitude, nicht auf die angelegte Spannung



Rauschunterdrückung und Übersprechen (Cross Talk)

- Probleme mit Rauschpegeln und Störsignalen
- Erregerpule & Leistungselektronik
- Hardware-Filterung
- TF-Map-Filterung

Rauschunterdrückung und Übersprechen

Probleme mit Rauschpegeln und Störsignalen

Beim Testen eines Motors/Generators können aufgrund des komplexen elektrischen Systems diverse Rausch- u. Störsignale auftreten. Einige der Signale können als „klassisch“ angesehen und leicht erkannt werden: Störsignale von der Erregerspule, externe Störsignale und Übersprechen.

Dabei unterscheidet man

- Unsynchronisierte Störsignale (Kranantriebe, Betrieb von Elektrowerkzeugen usw.)
- Synchronisierte Störsignale (TE aus externen Anlagen, schlechte elektrische Verbindungen, usw.)

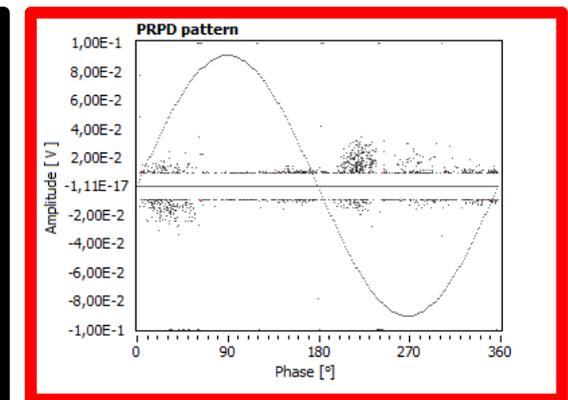
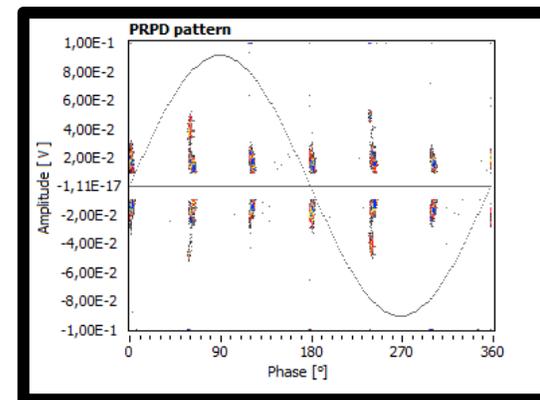
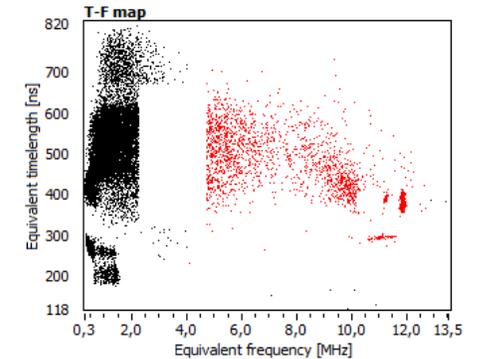
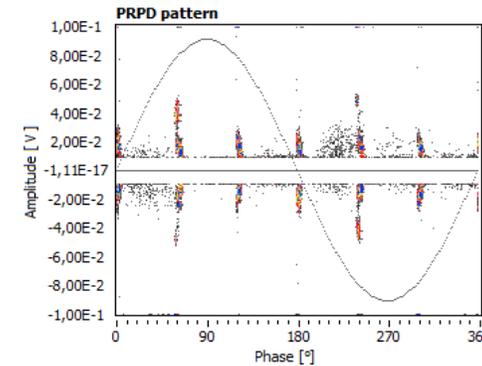
Das phasenaufgelöste TE-Muster ermöglicht:

- Spannungskorrelierte Signale erkennen
- Identifizierung der betroffenen Phasen
- Übersprechen (Cross Talk) erkennen

Erregerspule & Leistungselektronik

Signale der Erregerspule können sehr störend sein, da sie Amplitude und Wiederholungsrate des gesamten Signalmusters beeinflussen.

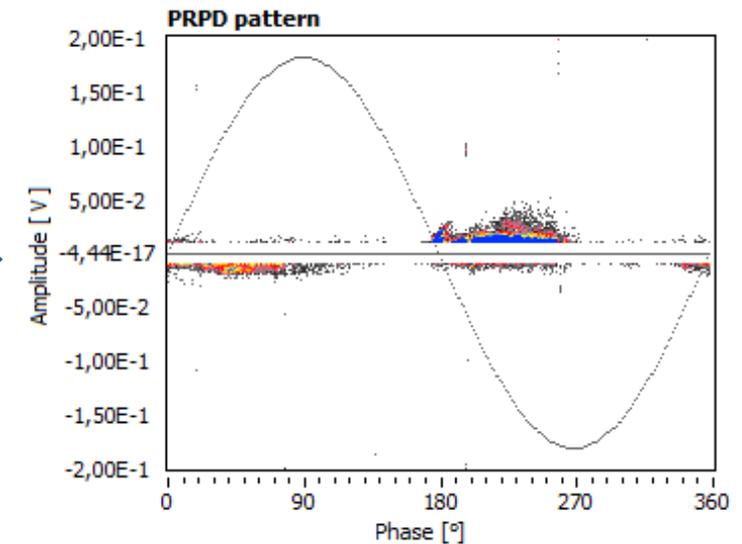
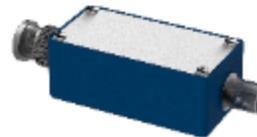
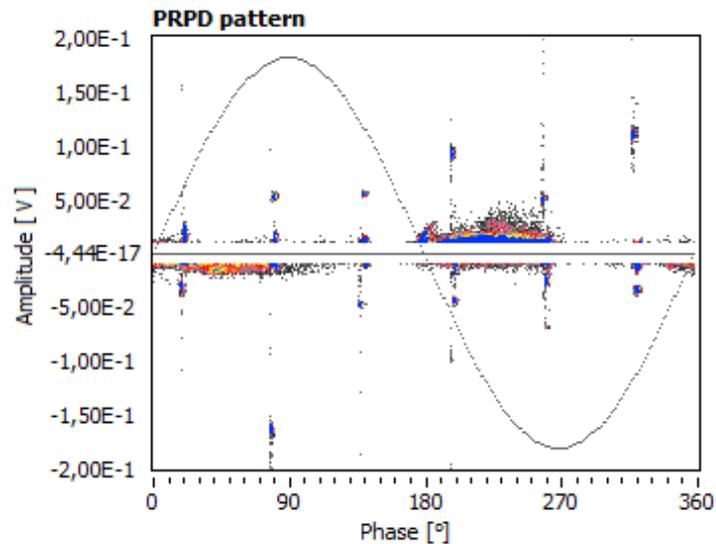
Diese Signale sind normalerweise durch eine niederfrequente Komponente gekennzeichnet und können mit Hilfe von Hardwarefiltern oder der TF-Map herausgefiltert werden.



Hardware-Filterung

Am Sensorausgang können verschiedene Signalfilter installiert werden, um

- niederfrequente Störungen zu entfernen,
- hochfrequente Störungen zu entfernen,
- oder um einen Bandpassfilter zu haben.

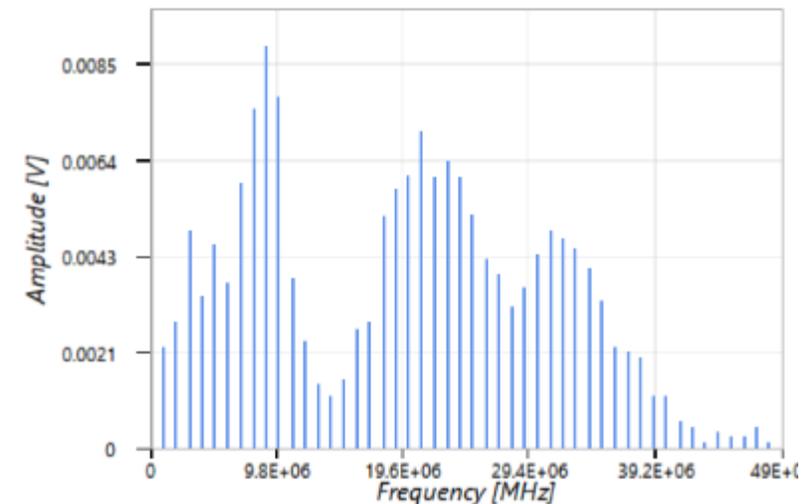


TF-Map



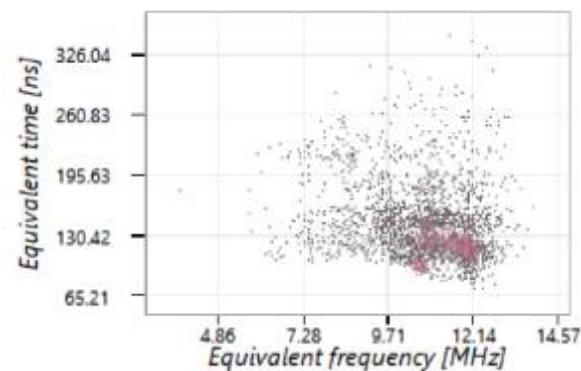
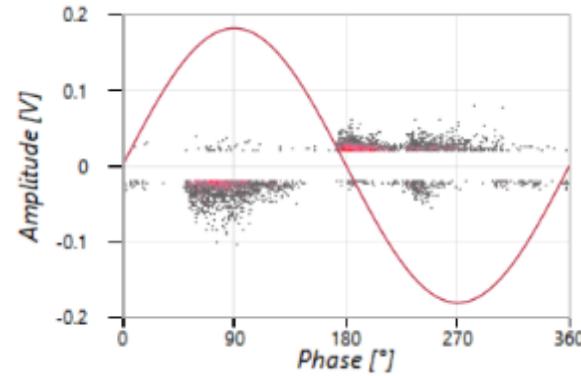
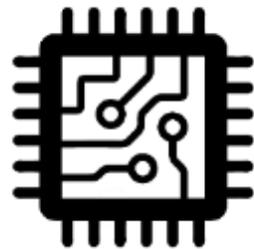
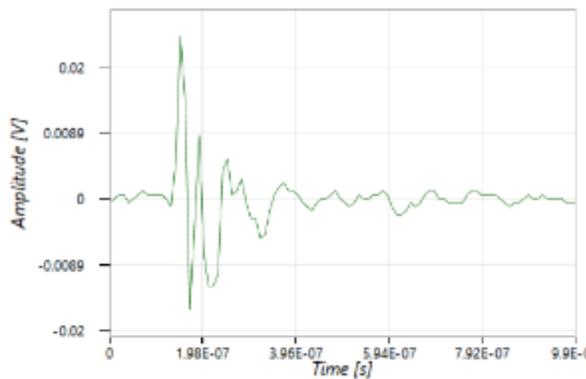
Jede Sekunde erfasst das TE-Messgerät Tausende von Impulsen. Da es unmöglich ist, diese alle zu visualisieren, werden jeweils nur Amplitude und Phasenwinkel gespeichert.

Es ist allgemein bekannt, dass Hochfrequenzsignale anhand des Frequenzinhalts untersucht werden können, jedes Signal kann mit seinem Pulsspektrum visualisiert werden und solche Informationen können als Signalfingerabdruck betrachtet werden.



Rauschunterdrückung und Übersprechen

TF-Map



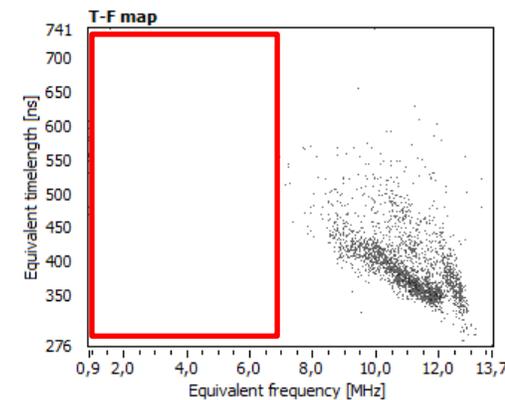
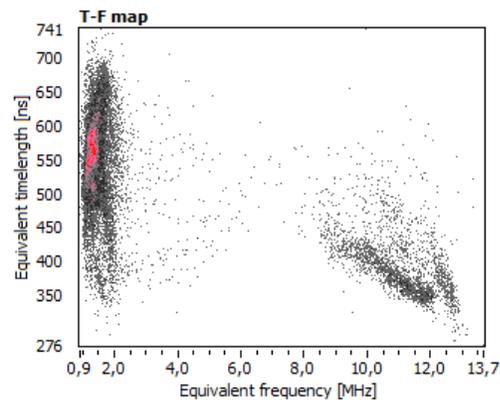
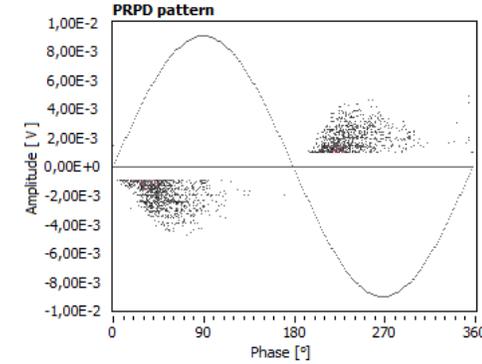
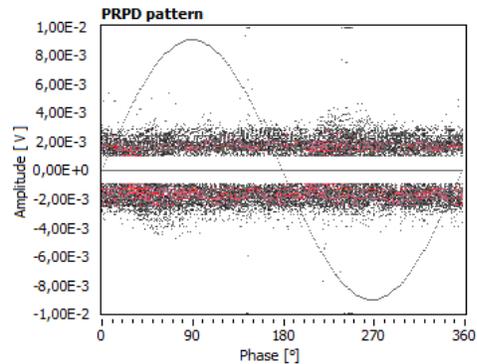
Impulsamplitude & Phasenwinkel
→ Phasenaufgelöstes TE-Muster

Equivalente Impulsdauer &
Frequenz
→ Phasenaufgelöstes TE-Muster

Rauschunterdrückung und Übersprechen

TF-Map

Mittels der Zeit-Frequenz-Signal-Signatur können Bereiche der TF-Map herausgefiltert werden.





TE-Analyse

- Parameter der Datenerfassung
- TF-Map-Filterung
- Datensätze
- TF-Map-Separation
- Identifizierung einzelner Phänomene
- Trendanalyse

TE-Analyse

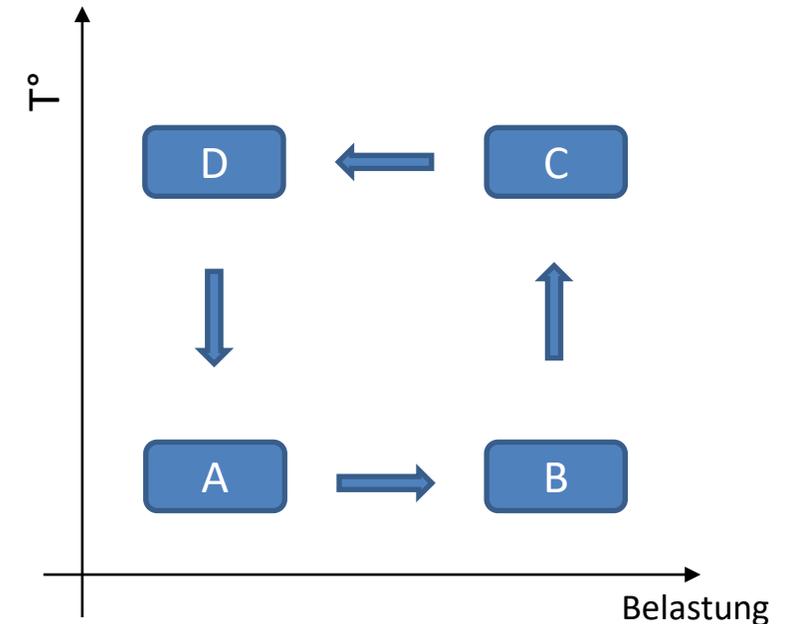
Parameter Datenerfassung

Die TE-Analyse beginnt bereits während des Datenerfassungsprozesses. Eine ordnungsgemäße Messung muss folgenden Daten und Informationen liefern, die für die Analyse von Bedeutung sind:

- TE-Signaldaten mit hoher Amplitude
- TE-Signaldaten mit niedriger Amplitude
- Betriebsparameter, wie z.B. Last & Temperatur

Weiterhin empfiehlt sich für die TE-Messung die Verwendung

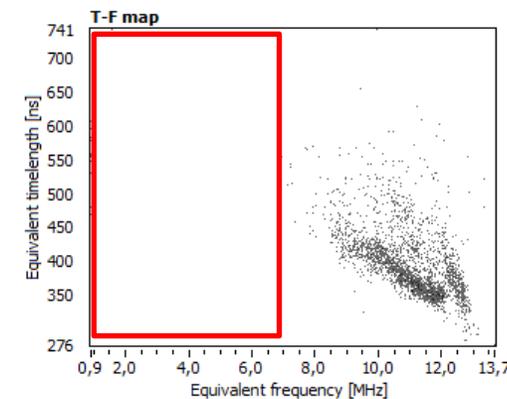
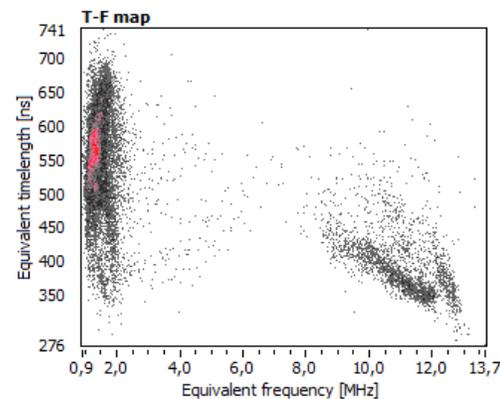
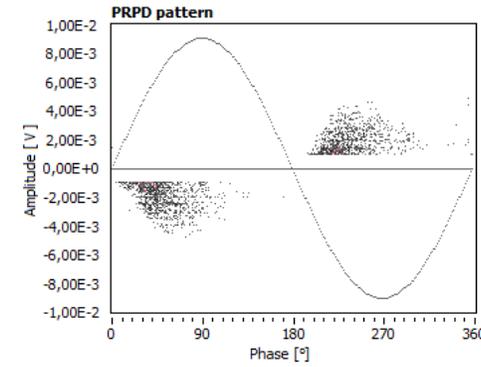
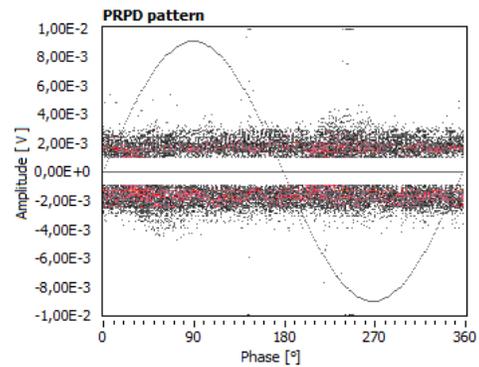
- unterschiedlicher Laufzeiten
- verschiedene Pre-Trigger
- Hardware-Filterung



TE-Analyse

TF-Map-Filterung

TE-Signale werden klassisch auf Amplitudenbasis angezeigt. Wenn keine weiteren Filterwerkzeuge verwendet werden, konzentriert sich die Ausgabe der TE-Messung nur auf die Signale mit der höchsten Amplitude.

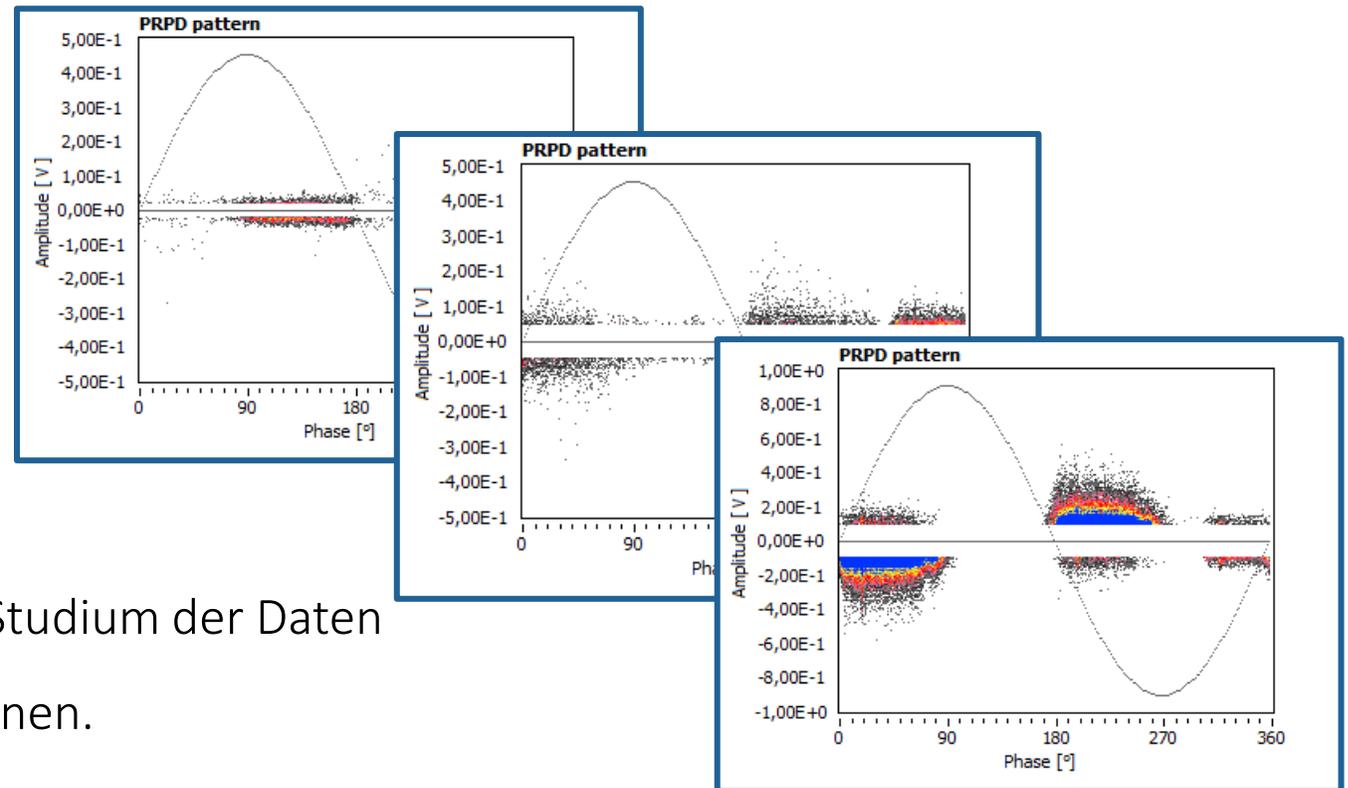


TE-Analyse

Datensätze

Es wird dringend empfohlen, für jeden Erkennungspunkt nicht nur 1 PRPD-Muster, sondern einen vollständigen Datensatz zu erfassen, einschließlich:

- Unterschiedlicher Skalierung
- Unterschiedlicher Triggerpegel
- Erfassung der kompletten Kurvenform
- Messung mit und ohne HW-Filter
- Messung mit und ohne SW-Filter

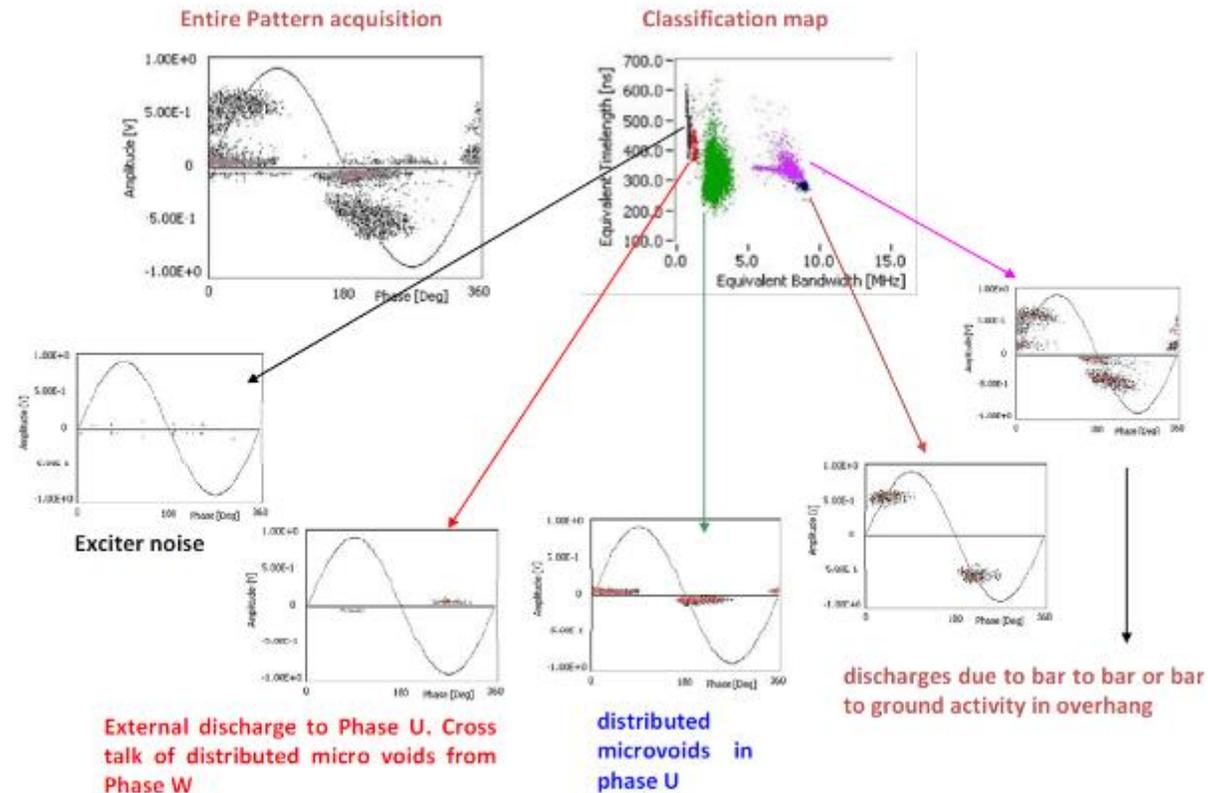


Idealerweise sollte der Datenanalyst beim Studium der Daten jeden durchgeführten Schritt erkennen können.

TE-Analyse

TF-Map-Separation

TF-Mapping kann während der Datenerfassung verwendet werden, um unerwünschte Signale auszublenden und kann während der Analyse verwendet werden, um die verschiedenen TE-Quellen voneinander zu trennen.

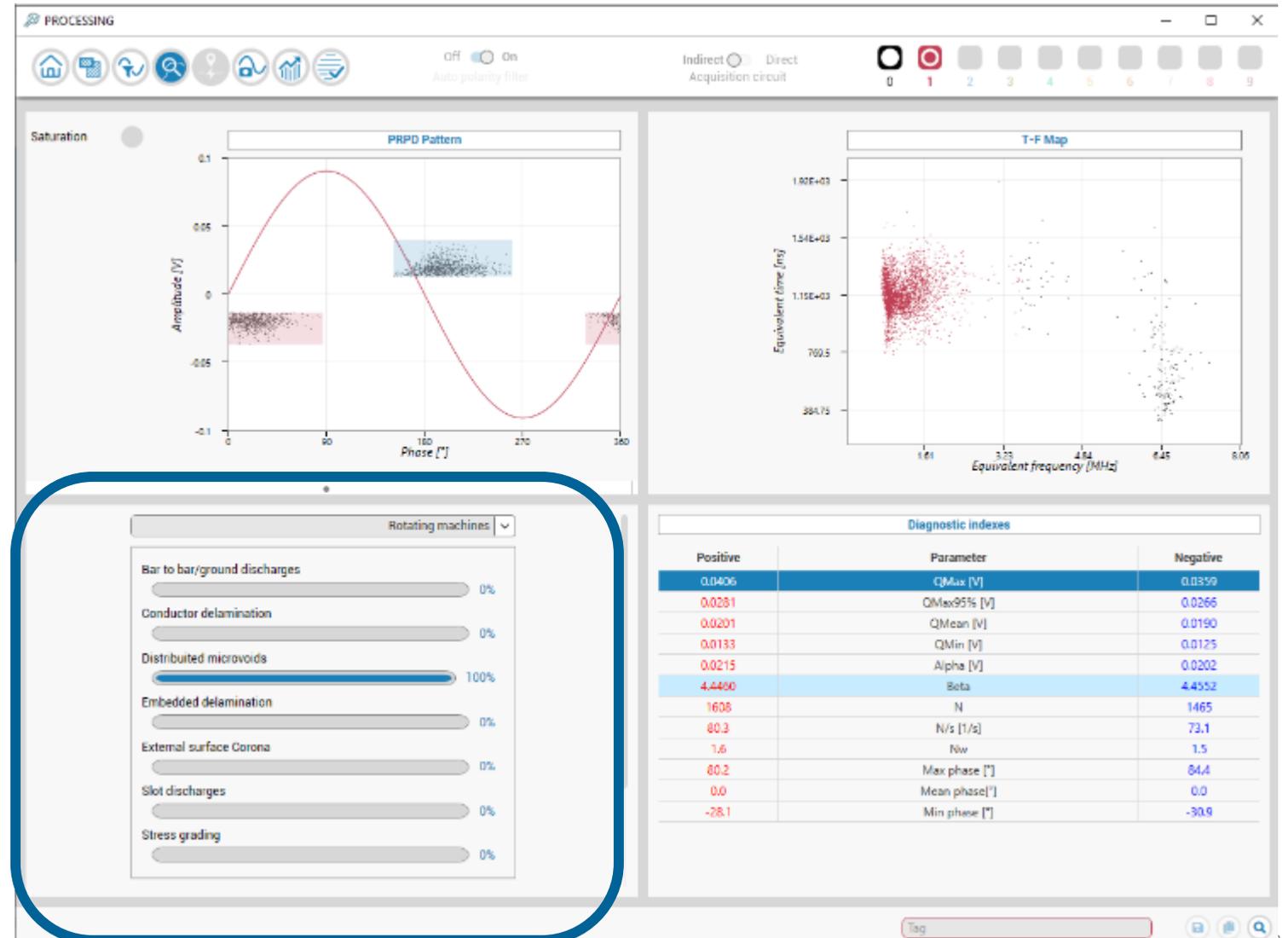


PD- Analyse

Identifizierung von Phänomenen

- Daten korrekt erfasst
- Rauschen/Störsignale entfernt
- Separation der TE-Phänomene

Die Identifizierung der TE kann nun erfolgen; entweder über „manuelle“ TE-Musteranalyse oder unterstützt durch das PDPro-Identifikationstool.



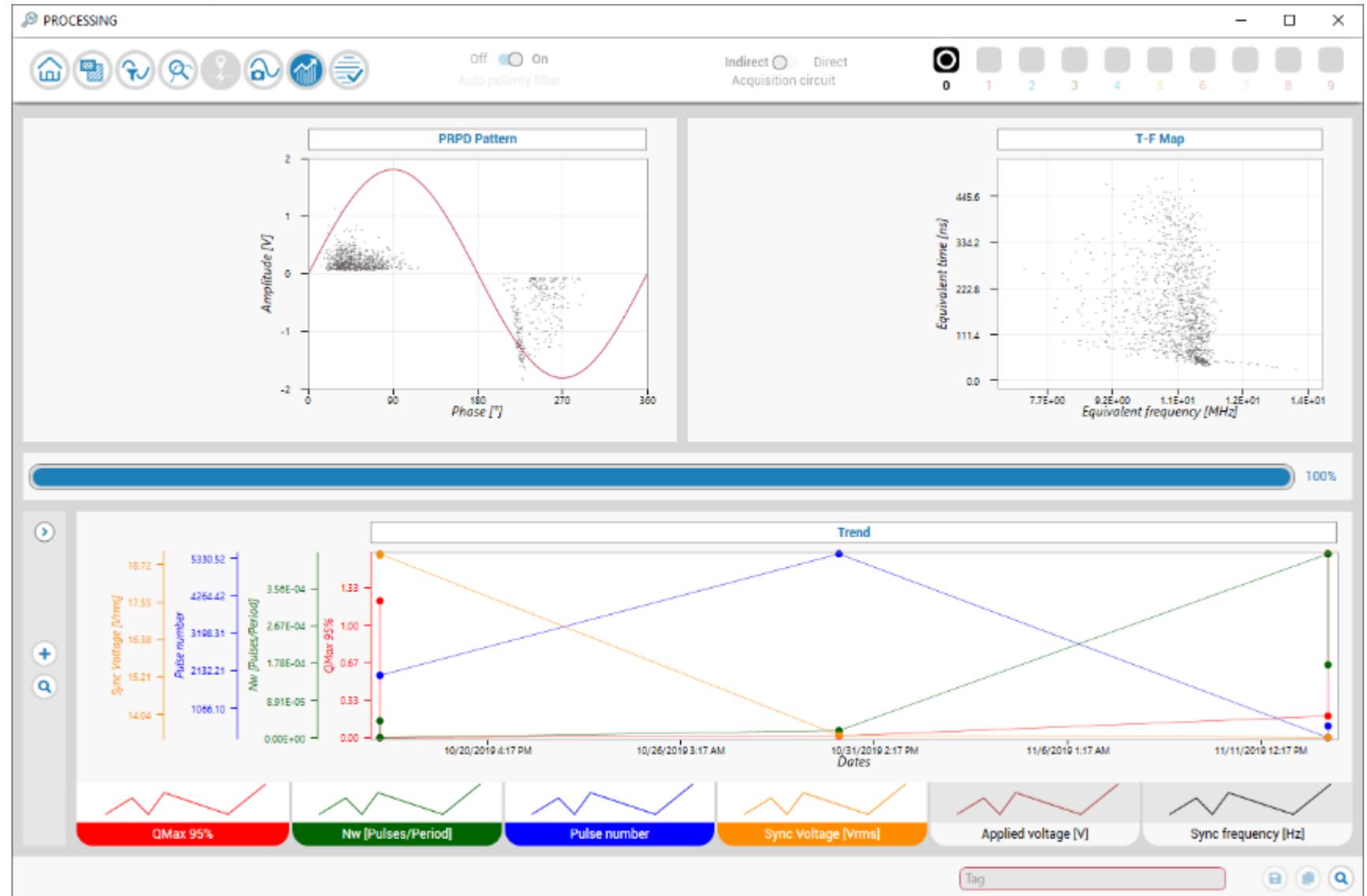
PD- Analyse

Trendanalyse

Amplitude und Wiederholungsrate sind Marker der TE-Entwicklung:

Es gibt TE, die sich jahrelang auf demselben Niveau halten, aber es gibt auch TE, deren Amplituden und Wiederholungsraten sich schnell erhöhen.

Aus diesem Grund ist für eine aussagekräftige Diagnose die Trendanalyse (der Vergleich aktueller Messdaten mit historischen) von großer Bedeutung.

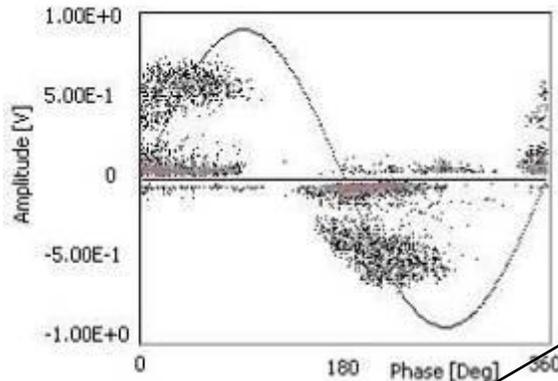




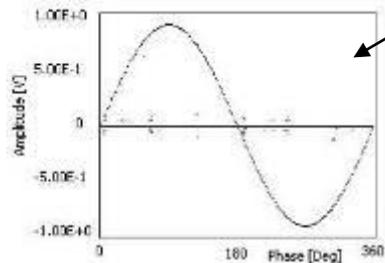
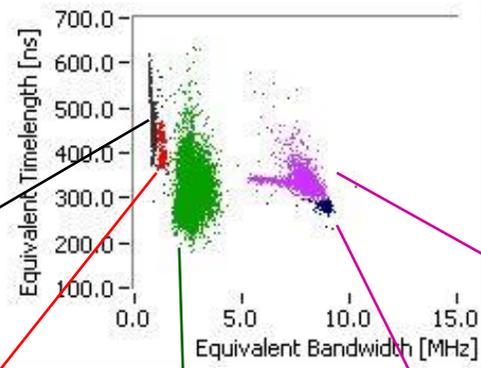
Fallstudie Generatormessung

Fallstudie Generatormessung

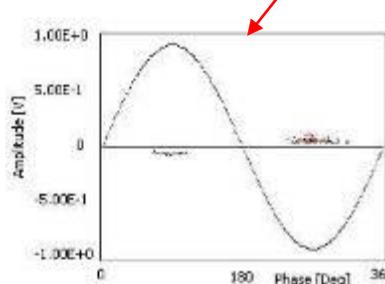
Gesamtes phasenaufgelöstes Signalmuster



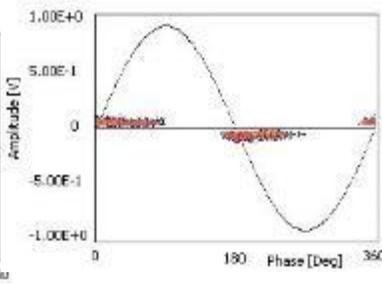
TF-Map



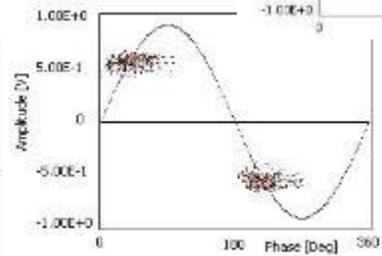
Signale der Erregerspule



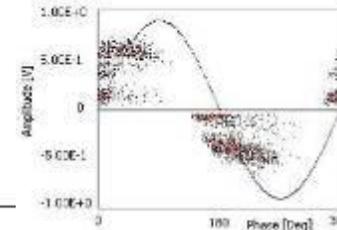
Phase W: Cross Talk von Phase U



Verteilte Mikrohoehlräume in Phase U

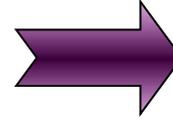
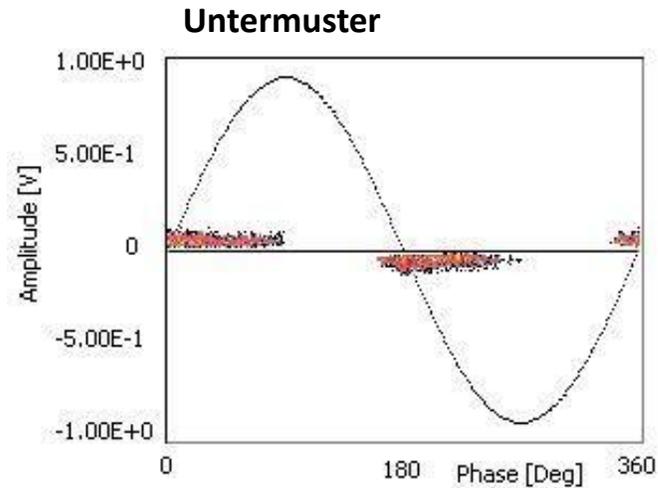


Entladungen aufgrund von Stab-zu-Stab- oder Stab-zu-Erde-Entladungen

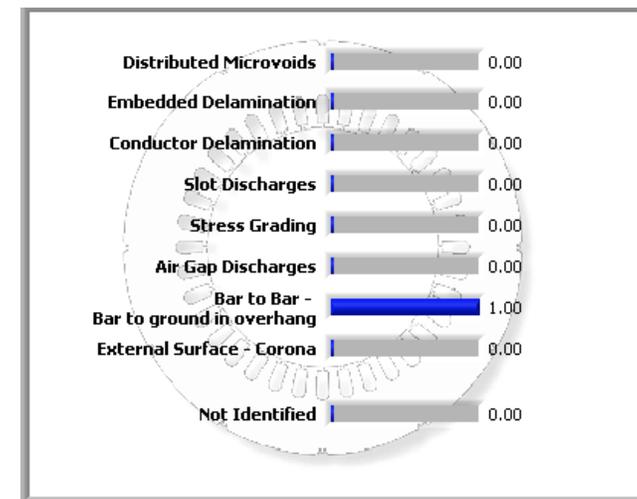
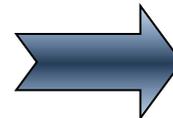
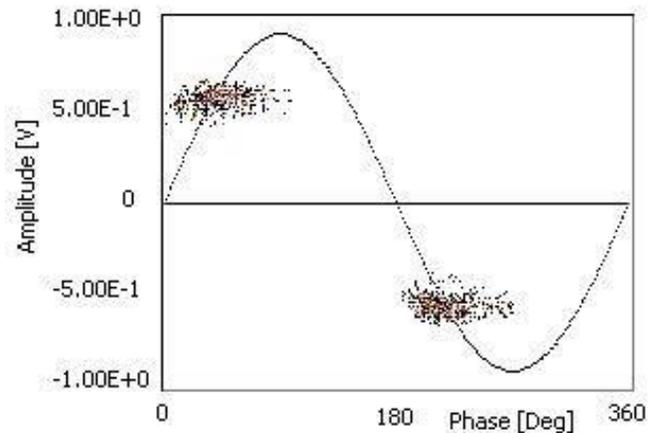
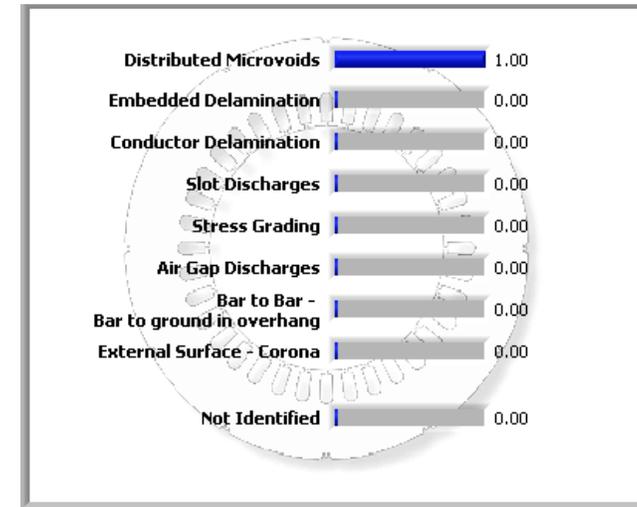


Fallstudie

Online-TE-Messung am Generator: Phase U

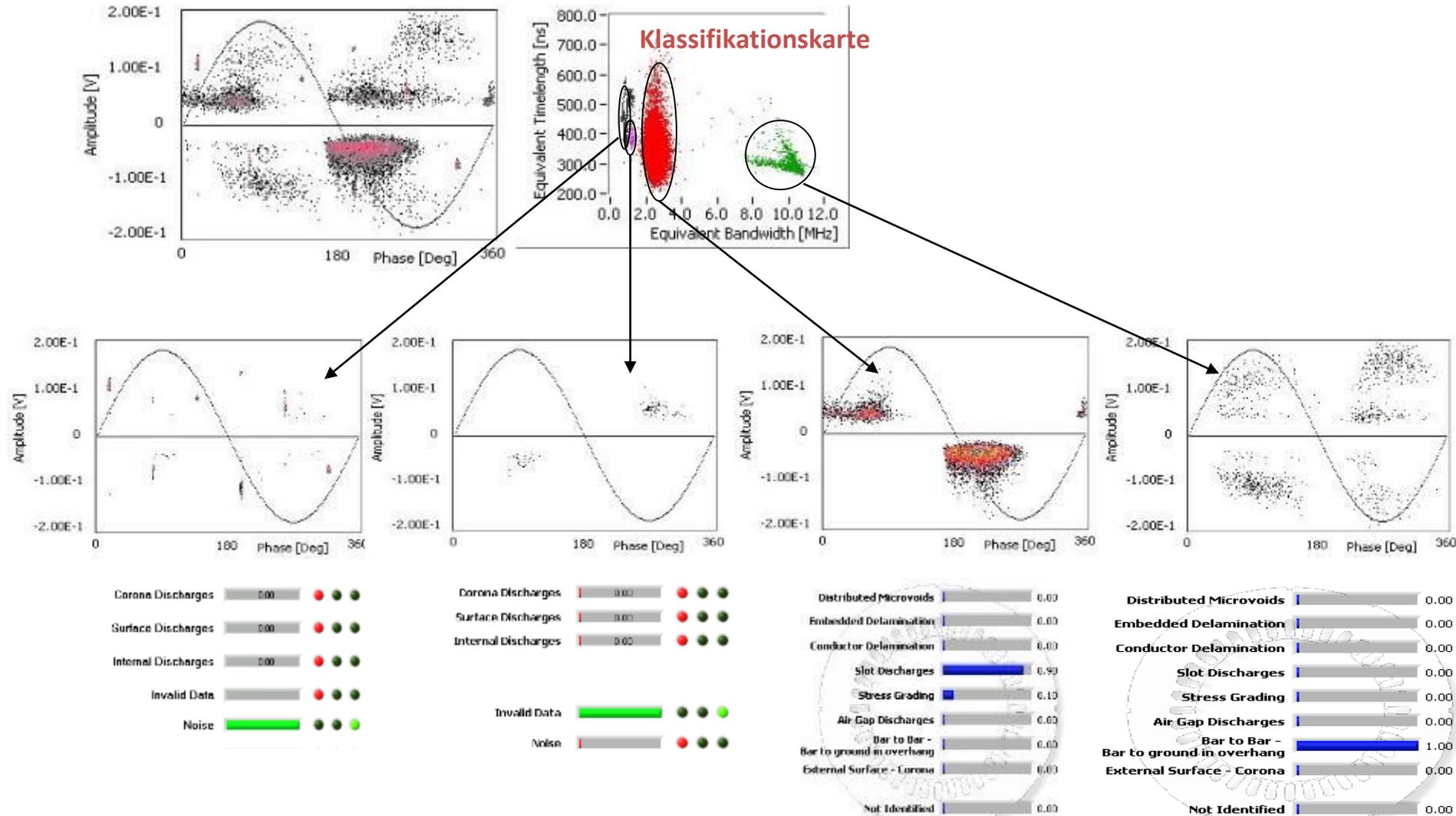


III-Level-Identifikation



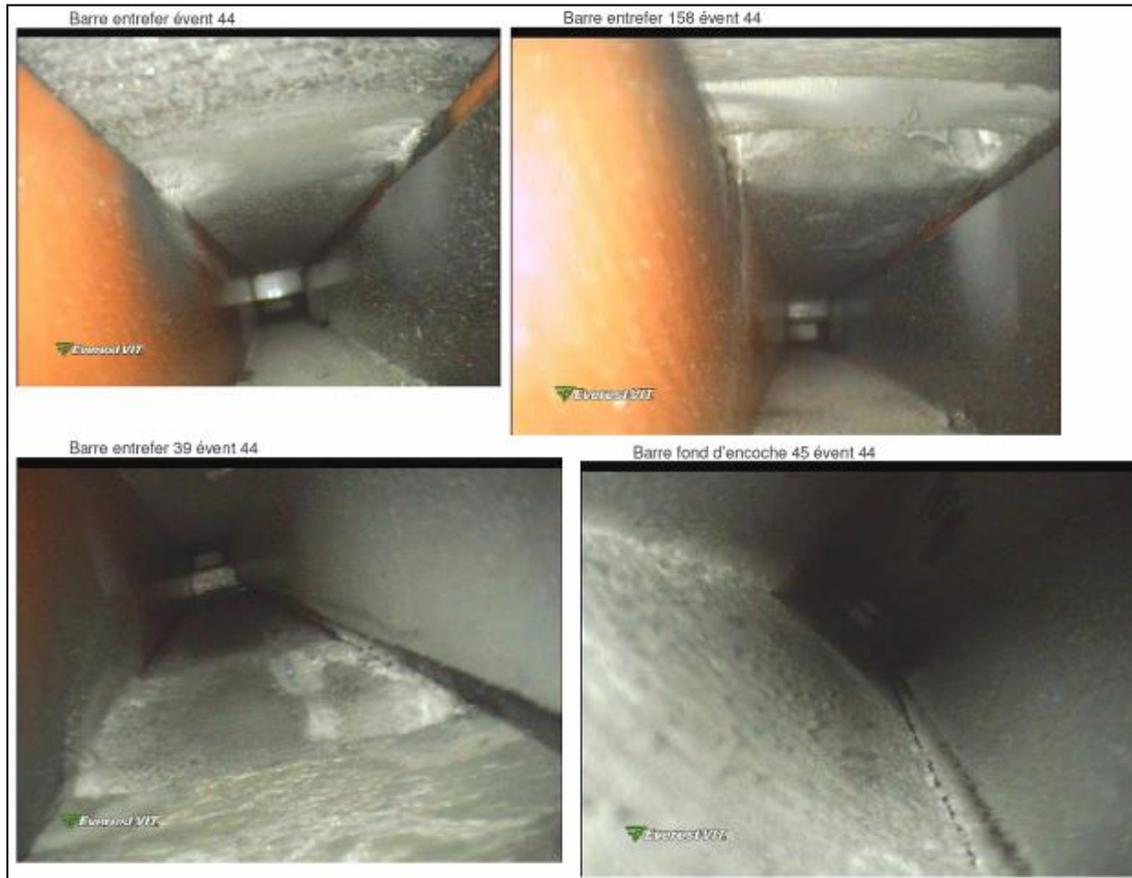
Fallstudie

Online-TE-Messung an Generator: Phase V



Fallstudie

Ergebnisse der endoskopischen Inspektion am Generator



Stab-Erde-Entladungen
(TE-Spuren in 12 von 60 Nuten gefunden)



ALTANOVA

A DOBLE COMPANY



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Klicken Sie, um Text
hinzuzufügen

Reinhold Franz
Regional Sales Manager
rfranz@doble.com