



Warum Teilentladungsmessungen sinnvoll sind

Die Messung und Analyse von Teilentladungen haben sich als zuverlässige Verfahren bewährt, um frühzeitig Defekte im Isolationssystem von elektrischen Betriebsmitteln zu erkennen, bevor weitergehende Schäden am Betriebsmittel oder gar Ausfälle auftreten.

Einleitung

Die ständige Verfügbarkeit der Hoch- und Mittelspannungsbetriebsmittel, die in den Bereichen Erzeugung, Übertragung und Verteilung von elektrischer Energie eingesetzt werden, ist eine wichtige Voraussetzung für eine zuverlässige Stromversorgung durch Energieversorger und in Industrieanlagen. Zu diesen Betriebsmitteln zählen Generatoren, Motoren, Wandler und Leistungstransformatoren ebenso wie Schaltanlagen und Hochspannungskabel.

Ein Versagen der Isolation kann zu gefährlichen Situationen und schweren Beschädigungen führen und letztlich hohe Kosten verursachen. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, dass der Zustand der Isolation während der gesamten Lebensdauer eines Betriebsmittels kontrolliert wird.

Teilentladungen (TE) zählen zu den Hauptfaktoren für eine Verschlechterung in den Isolationssystemen elektrischer Betriebsmittel.

Dieses White Paper soll Ihnen die Grundlagen über Teilentladungen vermitteln und aufzeigen, welche Folgen diese haben, wie sie gemessen werden können und welche Kriterien für die Auswahl eines TE-Messgerätes entscheidend sind. Wenn Sie bereits TE-Messungen und TE-Analysen an Ihren elektrischen Betriebsmitteln durchführen, wissen Sie, wie wichtig sie sind, um die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit der Betriebsmittel sicherstellen zu können.

Die Wahl des richtigen TE-Messsystems ist der Schlüssel zu einer präzisen Erkennung von TE in sämtlichen Prüfungsumgebungen. Dieses White Paper liefert acht Gründe dafür, warum weltweit Hunderte von Betriebsmittelherstellern, Prüfsingenieuren in Versorgungsbetrieben und Industrieanlagen sowie Dienstleistungsunternehmen ihre TE-Messungen mit dem MPD 600 durchführen.

Was sind Teilentladungen?

Nach der Norm IEC 60270 sind Teilentladungen „lokale elektrische Entladungen, die die Isolierung zwischen Leitern nur teilweise überbrücken und in der Nähe eines Leiters auftreten können oder nicht“. Teilentladungen können beispielsweise die Folge von lokalen elektrischen Feldstärkeüberhöhungen innerhalb der Isolation oder auf der Oberfläche der Isolation sein.

TE können in gasförmigen, flüssigen und festen Isolationsmedien von Betriebsmitteln auftreten, wenn diese hohen elektrischen Feldstärken ausgesetzt sind. Verursacht werden können Teilentladungen durch Hohlräume, Risse oder Einschlüsse in festen Dielektrika, an Grenzflächen von festen oder flüssigen Dielektrika, in Blasen von flüssigen Dielektrika oder entlang der Grenzflächen von unterschiedlichen Isolationsmaterialien.



TE-Aktivität steigert sich mit der Zeit und kann zu fortschreitenden und irreversiblen Schädigungen an festen und flüssigen Isolationssystemen führen. Abbauprozesse können sich so lange entwickeln, bis die Isolation der elektrischen Beanspruchung nicht mehr standhalten kann und es zu einem Überschlag kommt.

Warum sollten Teilentladungen gemessen werden?

Die Teilentladungsmessung ist ein zuverlässiges und nichtinvasives Verfahren, mit dem jederzeit eine Diagnose des Isolationszustands von elektrischen Betriebsmitteln möglich ist. Im Vergleich zu anderen dielektrischen Diagnoseverfahren ist die TE-Messung sehr empfindlich und ermöglicht so eine sehr effektive Erkennung von lokalen Schwachpunkten im Isolationssystem.

Da TE-Aktivitäten häufig lange vor einem Defekt der Isolation auftreten, können Betriebsmittelverantwortliche diese über einen längeren Zeitraum beurteilen und gut informiert strategische Entscheidungen bezüglich einer rechtzeitigen Reparatur oder eines Austauschs treffen, bevor es zu einem unerwarteten Ausfall eines Betriebsmittels kommt.

Das Erkennen von Teilentladungen ist daher von großer Bedeutung, wenn Sie einen zuverlässigen und langen Betrieb Ihrer elektrischen Betriebsmittel sicherstellen wollen.

Wann sollten TE-Messungen durchgeführt werden?

TE-Messungen und TE-Analysen sollten zur Bestätigung des einwandfreien Zustands der Isolation und der Betriebssicherheit eines Betriebsmittels an Hoch- und Mittelspannungseinrichtungen bei der Entwicklung, der Herstellung und der Inbetriebnahme und, je nach

„Für uns ist es wichtig, Teilentladungen frühzeitig zu erkennen, sodass wir die erforderlichen Maßnahmen einleiten können.“

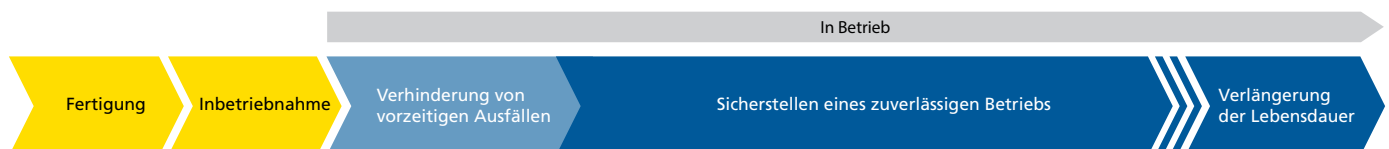
James Hill, Leitender Prüfsingenieur,
Kraftwerk Seabank, England

Art des Betriebsmittels, auch während der gesamten Betriebsdauer vorgenommen werden.

Ein hoher Anteil an manueller Arbeit bei der Herstellung solcher Betriebsmittel kann das Risiko von Fertigungsfehlern erhöhen, die zu einem vorzeitigen Ausfall führen können. Als Folge hiervon treten Isolationsdefekte innerhalb der ersten Betriebsjahre überproportional häufig im Vergleich zur restlichen Lebensdauer des Betriebsmittels auf. Eine TE-Prüfung wird daher nach der Fertigung als Typ- und Abnahmeprüfung beim Hersteller zur Aufdeckung von Qualitätsproblemen während der Produktion durchgeführt.

Hat das Betriebsmittel das Herstellerwerk verlassen, so kann ein falscher Umgang beim Transport und bei der Installation zu mechanischen Beschädigungen im Inneren des Betriebsmittels führen und auch die elektrische Festigkeit beeinflussen. Zur finalen Qualitätskontrolle vor der ersten Inbetriebnahme des Betriebsmittels wird dann häufig eine Offline-TE-Messung vor Ort durchgeführt.

Ist das Betriebsmittel dann in Betrieb, müssen entsprechende Wartungsstrategien festgelegt werden, um eine maximale Verfügbarkeit des Betriebsmittels zu gewährleisten. Eine regelmäßige TE-Messung und TE-Analyse liefern Ihnen die erforderlichen Daten für die



Der einwandfreie Zustand der Isolation sollte während der gesamten Lebensdauer des Betriebsmittels durch Messung und Analyse der TE-Aktivität kontrolliert werden.



Festlegung eines Gesamt-Prüfplans, der sich auf die richtigen Betriebsmittel konzentriert und somit unnötige Abschaltungen und Kosten für Wartungen minimiert. Wie häufig TE-Prüfungen für in Betrieb befindliche Betriebsmittel durchgeführt werden müssen, ist abhängig von der Art bzw. Wichtigkeit des Betriebsmittels und den bisherigen Erfahrungen aus dem Betrieb.

Wie werden TE gemessen?

Die jeweiligen Prüfungen und Prüfaufbauten sind abhängig von der Art des zu messenden Betriebsmittels und der Norm, gemäß der die TE-Messung vorgenommen werden soll. So spezifiziert beispielsweise die IEC 60270 die Durchführung von Offline-TE-Messungen an elektrischen Betriebsmitteln unter Verwendung einer separaten Spannungsquelle, eines TE-Messgerätes, eines Koppelkondensators und von Messimpedanzen.

Für dreiphasige Betriebsmittel können TE-Messungen entweder offline und im Stillstand für jede einzelne Phase nacheinander vorgenommen werden oder als Online-Prüfung während des normalen Betriebs und unter Last. Sie können Messungen einphasig durchführen, wobei die anderen Phasen geerdet sind, oder dreiphasig, um TE-Aktivitäten zwischen den Phasen erkennen zu können.

TE-Impulse sind sehr kurz und haben Anstiegszeiten im Bereich von Nanosekunden. Die wichtigsten Kriterien für die Beurteilung von Teilentladungen sind:

- > Ladungspegel dargestellt in Picocoulombs (pC) bzw. Nanocoulombs (nC) oder Millivolt (mV) bei der RIV-Messung
- > Teilentladungseinsetz- und Teilentladungsaussetzspannung
- > TE-Impulswiederholrate
- > Phasenaufgelöste Teilentladungsdiagramme, sogenannte PRPD-Diagramme

Erhöht sich eines dieser Kriterien, so erhöht sich auch das Risiko eines Durchschlags der Isolation. Entsprechende Grenzwerte für die verschiedenen elektrischen Betriebsmittel sind in diversen internationalen Normen definiert.

TE-Messungen an elektrischen Betriebsmitteln haben folgenden Zweck:

- > Überprüfung des Isolationszustands
- > Erkennung von kleinsten Fehlstellen bis hin zu kritischen Defekten
- > Aufzeigen der Notwendigkeit einer rechtzeitigen Wartung und Reparatur
- > Risikobewertung und Bedarfsermittlung für eine kontinuierliche TE-Überwachung

Häufig wird die TE-Intensität in sogenannten PRPD (Phase-Resolved Partial Discharge)-Diagrammen in Abhängigkeit der Phasenlage der angelegten Prüfspannung dargestellt. In Umgebungen mit starken Störeinflüssen können ggf. auch moderne Techniken zur Störungsunterdrückung verwendet werden, um Teilentladungen von Störsignalen zu separieren.

Was sind die Herausforderungen bei der TE-Messung?

Da die Signale aus TE-Aktivitäten sehr schwach sein können, müssen die verwendeten TE-Messgeräte sehr empfindlich sein. Dies erhöht jedoch die Anfälligkeit gegenüber Störsignalen aus elektrischem Rauschen. Solche Störungen können die Erkennung und Lokalisierung von TE-Signalen sehr schwierig oder sogar unmöglich machen. Daher ist eine möglichst umfangreiche Beseitigung solcher Störsignale ein entscheidendes Kriterium für eine erfolgreiche TE-Erkennung.

Erschwerend kommt hinzu, dass Isolationssysteme unterschiedlich stark durch Teilentladungen gefährdet sind. So sind beispielsweise in den Isolationssystemen der Ständerwicklungen von rotierenden Maschinen (Generatoren und Motoren) gleichzeitig mehrere verschiedene TE-Quellen vorhanden und aktiv.

Eine Aufgabe von modernen, digitalen Teilentladungsmesssystemen besteht darin, überlappende TE-Signalquellen voneinander zu separieren sowie Störsignale zu filtern. Diese Fähigkeit ist für eine erfolgreiche TE-Diagnoseprüfung notwendig, um ohne den Einfluss von

Störsignalen schädliche bzw. erhöhte TE-Pegel von normaler TE-Aktivität mehrerer TE-Quellen unterscheiden zu können.

Welche Art von TE-Messgerät benötigen Sie?

Das für die TE-Messung verwendete Messsystem muss auch unter schwierigsten Bedingungen in der Lage sein, zuverlässige Messergebnisse zu liefern.

Die im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Herausforderungen können gemeistert werden, wenn das verwendete TE-Messgerät in der Lage ist, Teilentladungen mit einer hohen Empfindlichkeit zu messen und externe Störquellen zu erkennen und möglichst gut auszufiltern oder zu separieren.

Da jede Art von Betriebsmittel spezifische Anforderungen an die TE-Messung, genauer Signalauskopplung, stellt, sollte Ihnen das gewählte TE-Messsystem nicht zuletzt auch die modulare Flexibilität bieten, Ihr Messsystem ggf. zu erweitern. In einigen Fällen kann es hilfreich oder notwendig sein, das System um einen Sensor oder Messkanal zu erweitern.

Acht gute Gründe, warum das MPD 600 die TE-Messung weiterentwickelt und verbessert

Durch die vollständig digitale Verarbeitung der Daten und die fortschrittlichen Werkzeuge zur Messung und Analyse ist unser MPD 600 in der Lage, selbst kleinste TE-Impulse von Störungen zu unterscheiden und bietet dadurch höchste Messgenauigkeit. Es gewährleistet zuverlässige und reproduzierbare TE-Messungen gemäß IEC 60270 sowohl im Prüflabor als auch im Feld. Weltweit sind bereits Hunderte MPD-600-Systeme für die Messung und Analyse von Teilentladungen im Einsatz:

- > Bei namhaften Herstellern von Kabeln, Transformatoren, Generatoren und Motoren, Wandlern, Schaltanlagen und elektrischen Komponenten im Rahmen der Typprüfung und der Qualitätskontrolle



MPD 600 – Modulares „Plug-and-Play“-System

- > In Versorgungsbetrieben und Industrieanlagen für die regelmäßige Wartung von Betriebsmitteln
- > Im Bereich Forschung in Laboratorien und Universitäten

Hier sind acht gute Gründe, warum dies so ist:

1 Modulares System für einen einfachen Messaufbau

Das modulare „Plug-and-Play“-System des MPD 600 ermöglicht für viele TE-Messanwendungen einen schnellen und flexiblen Messaufbau. Das System besteht aus einem TE-Erfassungsgerät, einem USB-Controller, sowie einer Mess- und Analysesoftware. Sie können auch ganz einfach unser TE-Messsystem um einen Erweiterungskanal oder diverse TE-Sensoren erweitern, die für verschiedene HV-Betriebsmittel geeignet sind. Dazu zählen u. a. anwendungsspezifische Ladungskalibratoren, Messimpedanzen und hochfrequente TE-Sensoren (HFCTs).

Ein MPD-600-Erfassungsgerät kann auch problemlos mit mehreren anderen MPD-600-Erfassungsgeräten



kombiniert werden, um eine synchrone mehrkanalige TE-Messung zu ermöglichen. Es ist derzeit weltweit das einzige System, das die Signale aller durch Glasfaser angeschlossenen Erfassungsgeräte gleichzeitig erfasst und analysiert.

2 Lange Betriebszeit des Akkus für unterbrechungsfreie Prüfung

Jedes MPD-600-Erfassungsgerät wird durch einen Akku versorgt. Aufgrund des geringen Stromverbrauchs des Erfassungsgerätes ist ein durchgehender Akkubetrieb von mehr als 20 Stunden möglich. Dadurch können Sie einen ganzen Tag prüfen, ohne den Akku aufladen zu müssen.

3 Glasfaseroptik für erhöhte Sicherheit

Die Kommunikation zwischen jedem MPD-Erfassungsgerät und dem PC bzw. Laptop erfolgt über Glasfaserverbindungen und gewährleistet Ihnen so eine vollständige galvanische Trennung. Das schützt nicht nur vor Überspannungen und Transienten im Durch- oder Überschlagsfall, sondern minimiert auch Erdungsschleifen und mögliche Störungen. Zudem verbessert es den Signal-Rausch-Abstand und sorgt so für eine höhere Empfindlichkeit des Messsystems.

4 Unterdrückung von elektrischen Störungen

Das TE-Mess- und Analysesystem MPD 600 bietet mehrere Möglichkeiten zur Unterdrückung von elektrischen Störungen bei schwierigen Bedingungen vor Ort. Die digitalen Filter ermöglichen Ihnen eine freie Einstellung der Mittenfrequenz und der Bandbreite. So lassen sich ein hoher Signal-Rausch-Abstand und ein niedriges Hintergrundrauschen im System erreichen, was eine zuverlässige TE-Messung und TE-Analyse ermöglicht.

Für eine wirkungsvolle Beseitigung von Störungen aus Komponenten der Leistungselektronik stehen diverse Gating-Verfahren zur Verfügung:

- > **Amplituden-Phasen-Gating:** Unterdrückung von Signalen mit einer bestimmten Amplitude und einer festen Phasenlage

„Das MPD 600 ist die dritte Generation unserer am Markt bestens bewährten TE-Messtechnologie und basiert auf jahrelangen Erfahrungen mit Kunden in unterschiedlichsten Bereichen.“

Ole Kessler, Produktmanager MPD
OMICRON, Deutschland

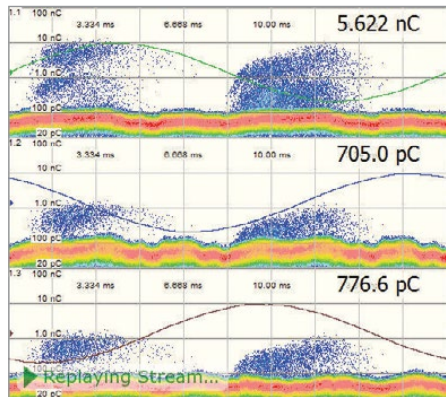
- > **Antennen-Gating:** Beseitigung von Störeffekten durch Vergleich der gemessenen Ereignisse eines externen Gating-Gerätes (zusätzliches MPD 600) und des eigentlichen Messgerätes

5 Synchrone mehrkanalige Messung für exakte Trennung der TE-Quellen

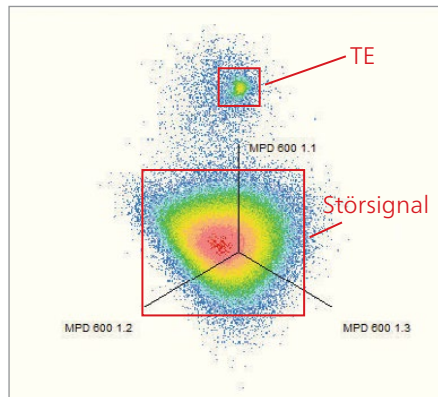
Bei der Verwendung von drei oder mehreren TE-Erfassungseinheiten ermöglicht das MPD-600-System die vollständige, digitale und synchrone Mehrkanal-TE-Messung. Dies ermöglicht die Nutzung unserer einzigartigen 3PARD-Separations-Funktion (3-Phase Amplitude Relation Diagram), welche die Unterscheidung zwischen TE-Quellen und Störungen ermöglicht.

Stammen die gemessenen TE-Signale aus unterschiedlichen Arten von Quellen und/oder von unterschiedlichen Orten im Betriebsmittel, so werden diese an unterschiedlichen Stellen des 3PARD angezeigt und können separat in Echtzeit analysiert werden. Dies ermöglicht sowohl eine wirkungsvolle Störungsreduzierung als auch eine einfache Trennung von sich überlappenden TE-Signalen im entsprechenden PRPD (Phase Resolved Partial Discharge)-Diagramm.

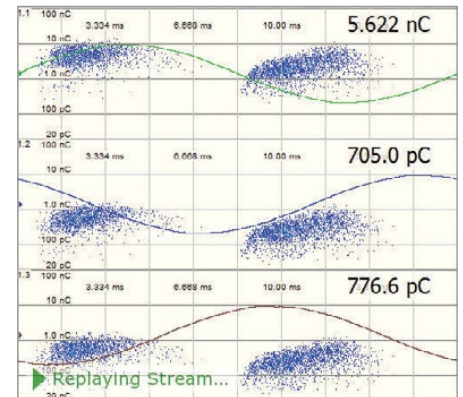
Wird nur ein Messkanal, zum Beispiel bei einer einphasigen TE-Prüfung, verwendet, so kann die Trennung von TE-Quellen auch mit Hilfe der multispektralen TE-Messung (3-Center Frequency Relation Diagram, 3CFRD) erfolgen.



Dreiphasiges PRPD-Diagramm mit Störsignalen und TE (nicht separiert)



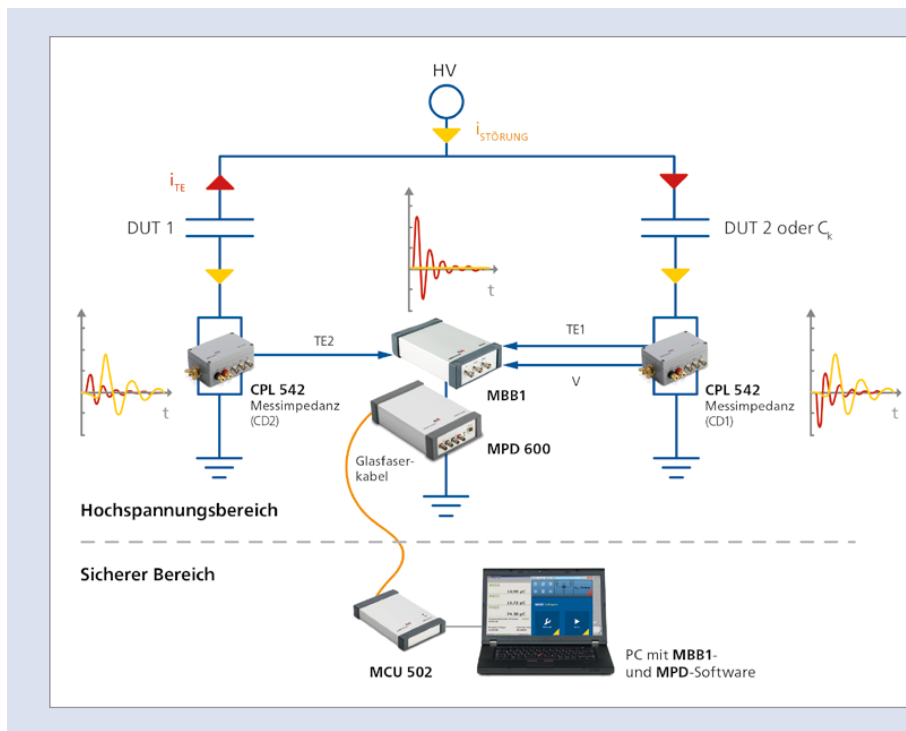
3-Phasen Amplitudendiagramm (3PAR)



Separierte TE-Quelle

„Die synchrone mehrkanalige TE-Messung des MPD 600 trennt zuverlässig innere TE-Quellen von den in Industrieumgebungen üblichen externen Störsignalen.“

Zsolt Gaal, Geschäftsführer
Gaal Umwelttechnik, Deutschland



Die Messbrücke MBB1

Für eine zusätzliche Störsignalunterdrückung in Umgebungen mit starken Störsignalen kann das MPD 600 zusammen mit unserer abgleichenden Messbrücke MBB1 verwendet werden. Mit diesem Zubehör können einphasige AC- und DC-TE-Messungen als TE-Differenzmessung durchgeführt werden. Dieses Verfahren kann zu einem besseren Signal-Rausch-Abstand führen und so eine erhebliche Reduzierung von Störsignalen bewirken.

Einphasige TE-Prüfanordnung mit Messimpedanzen (CPL 542), MBB1 und TE-Messgerät MPD 600



6 TE-Messung bis in den UHF-Bereich

Der Messbereich des MPD 600 kann auf einfache Weise bis in den UHF-Bereich erweitert werden. Hierfür stehen diverse UHF-Sensoren und ein spezieller Bandbreitenkonverter zur Verfügung. Dieses unkonventionelle UHF-Messverfahren gewährleistet eine empfindlichere Erkennung von TE in Umgebungen mit hohen Störpegeln. Es kann sowohl für Inbetriebnahmeprüfungen als auch für Offline- und Online-Diagnoseprüfungen an Leistungstransformatoren, gasisolierten Schaltanlagen (GIS) und Hochspannungskabeln verwendet werden.

7 Aufzeichnung und flexible nachträgliche Analyse von Messdaten

Das MPD 600 kann während der Prüfung TE-Ereignisse mit einer sehr hohen TE-Erfassungsrate als Datenstrom erfassen und speichern. Außerdem werden die Prüfspannungen und alle anderen relevanten Systemeinstellungen mitgespeichert, sodass diese später als Referenz für die Interpretation zukünftiger Messergebnisse verwendet werden können. Die Speicherung der Messdaten erfolgt in Form von unverarbeiteten Rohdaten, sodass diese während der Analyse nachbearbeitet werden können. Für diese Daten können sämtliche Analysefunktionen, wie beispielsweise 3PARD, angewendet werden, ohne dass die Messung wiederholt werden muss.

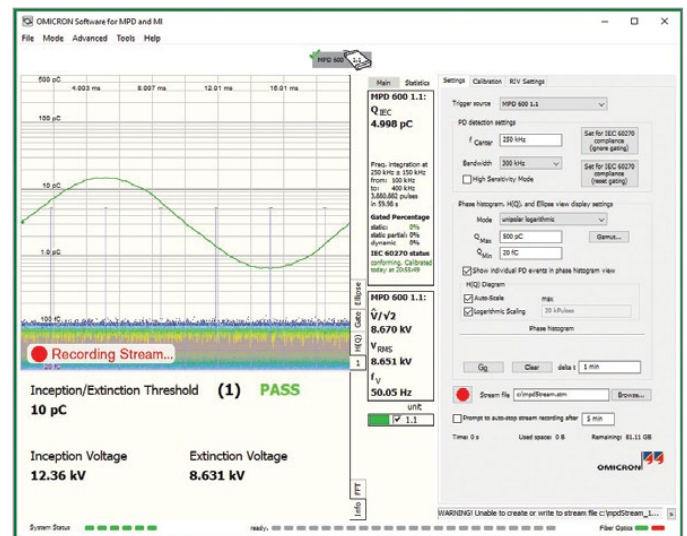
Die aufgezeichneten Datenströme können individuell geschnitten werden, um auf relevante TE-Ereignisse zu fokussieren. Die Geschwindigkeit der Wiedergabe kann frei eingestellt werden, sodass einzelne Abschnitte langsamer wiedergegeben und detaillierter analysiert werden können. Sollten bei der Analyse Fragen aufkommen, können die aufgezeichneten Datenströme zur Interpretation und Beratung an TE-Experten geschickt werden.

8 Integrierte Berichterstellung

Mit der integrierten Reportfunktion der MPD 600-Software können Berichte mit Messdaten und Screenshots im .xml-Format erstellt und als PDF-Datei gespeichert werden. Mit der optionalen .COM-Schnittstelle können TE-Daten für die Prüfung und Berichterstattung auch in andere Anwendungen integriert werden.

„Der größte Vorteil des MPD 600 dürfte sein, dass Entladungen aufgezeichnet werden können und dieser Datenstrom später bei der Wiedergabe analysiert werden kann.“

Michael Jay, Prüffeldleiter für Leistungstransformatoren, GE Grid Solutions, England



Einphasiges PRPD-Diagramm mit angezeigtem Prüfspannungs- und Ladungswert sowie TE-Einsetz- und TE-Aussetzspannung (MPD 600 Basic Modus)

Praxisnahe TE-Trainings sind auch bei OMICRON Academy buchbar, in denen Sie lernen können, wie man das MPD 600 TE-Mess- und Analysesystem bei einer Vielzahl von elektrischen Anlagen einsetzt.

TE-Messungen und -Analysen vor Ort bieten wir auch als Dienstleistung an, wenn Sie unsere Expertise und Unterstützung bei der TE-Diagnose benötigen.

Weitere Informationen hierzu erhalten Sie unter www.omicronenergy.com/mpd600

OMICRON ist ein weltweit tätiges Unternehmen, das innovative Prüf- und Diagnoselösungen für die elektrische Energieversorgung entwickelt und vertreibt. Der Einsatz von OMICRON-Produkten bietet höchste Zuverlässigkeit bei der Zustandsbeurteilung von primär- und sekundärtechnischen Betriebsmitteln. Umfassende Dienstleistungen in den Bereichen Beratung, Inbetriebnahme, Prüfung, Diagnose und Schulung runden das Leistungsangebot ab.

Kunden in mehr als 140 Ländern profitieren von der Fähigkeit des Unternehmens, neueste Technologien in Produkte mit überragender Qualität umzusetzen. Servicezentren auf allen Kontinenten bieten zudem ein breites Anwendungswissen und erstklassigen Kundensupport. All dies, zusammen mit einem starken Netz von Vertriebspartnern, hat OMICRON zu einem Marktführer der elektrischen Energiewirtschaft werden lassen.