

- **Bewertung von Mustererkennungsverfahren für die elektrische Teilentladungsmessung an Leistungstransformatoren**

Dipl.-Ing. Anne Strotmann

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. S. Tenbohlen

Mitberichter: Prof. em. Dr. techn. Dr. h.c. Hans Michael Muhr

TU Graz

Tag der mündlichen Prüfung:

15.02.2016

Die Zuverlässigkeit elektrischer Energienetze hängt von der Qualität und der Verfügbarkeit elektrischer Betriebsmittel ab, wie z. B. Transformatoren. Lokale Fehler innerhalb der Isolierung können zu elektrischen Durchschlägen führen, die hohe Ausfallkosten und Sanktion nach sich ziehen können. Um diese zerstörenden Ereignisse zu verhindern, werden Transformatoren vor der Inbetriebnahme und zur Wartung auf Teilentladungsaktivitäten getestet. Hierfür steht die Methode der elektrischen Messung nach der Norm DIN EN 60270 zur Verfügung. Bei der Diagnose stellt sich immer die Frage nach der Art der Teilentladung, und ob diese für den Transformator schädigend sein kann. Außerdem ist die Auswirkung der Fehlerart auf die Lebensdauer des Transformators von Wichtigkeit. Ein Problem der Teilentladungsdiagnostik bei Leistungstransformatoren sind mehrere Teilentladungsereignisse verschiedener Quellen und äußere Störer bei Vor-Ort Messungen durch z.B. Koronaentladungen der Sammelschienen. Eine Rauschfilterung Vor-Ort ist daher unerlässlich, um Teilentladungen im Inneren eines Transformators überhaupt erfassen zu können. In dieser Arbeit werden Mustererkennungsverfahren angewendet, um künstliche Fehlstellen zu differenzieren und anhand klassischer Kenngrößen die Teilentladungsquellen zu charakterisieren. Die Arbeit soll auch die Grenzen der unterschiedlichen Methoden aufzeigen. Was für ein Betriebsmittel Kabel oder Schaltanlage zielführend verwendet wurde, ist bei einem Leistungstransformator eventuell nicht einzusetzen.

Die bekannteste Methode zur Bestimmung der Art von Teilentladungen ist das PRPD Muster. Die Untersuchungen an den künstlichen Quellen im Labor brachten eindeutige Ergebnisse hervor, die mit bekannten PRPD Mustern übereinstimmen. Ein weiterer Einfluss für die Interpretation der PRPD Muster bei Vor-Ort Messungen an Leistungstransformatoren sind Überlagerungen mehrerer Teilentladungen. Um die Quellen zu separieren, kann die sogenannte Sterndiagramm-Methode verwendet werden. Hierfür muss eine mehrkanalige, synchrone Messung durchgeführt werden. Die sich dadurch bildenden Cluster können einzeln wieder in PRPD Muster rücktransformiert werden, was die Interpretation der Fehlstellen erst ermöglicht. In dieser Arbeit wurden vier unterschiedliche Darstellungen des Sterndiagramms genauer untersucht.

Ein weiteres Mustererkennungsverfahren ist die Puls-Sequenz Analyse. Die PSA-Muster werden in Form von Streudiagrammen visualisiert. Dazu werden als Para-

meter die Spannungsdifferenzen von drei aufeinander folgenden Teilentladungsimpulsen ausgewählt.

Für die Bewertung der Messmethode wurden zuerst die PSA-Muster künstlicher TE-Quellen verglichen. Die Messungen im Labor zeigen, dass das PSA-Muster für die Analyse der TE-Quelle verwendet werden kann. Jedoch gibt es auch für die Puls-Sequenz Analyse mehrere Einflussfaktoren, die sich auf das Muster auswirken. Hierzu zählen unter anderem externe Störer, die angelegte Prüfspannungsamplitude und die Überlagerung mehrere Teilentladungsquellen. Eine Transformator-Messung wurde durchgeführt, um die Puls-Sequenz Analyse auch für Vor-Ort Messungen zu betrachten. Bei dieser Messung wurden zwei innere Teilentladungsquellen detektiert. In diesem Fall wurde das Sterndiagramm verwendet, um die PSA-Muster jeweils einer TE-Quelle zu betrachten. Die Ergebnisse der PSA-Muster lassen auf zwei unterschiedliche Arten von TE-Quellen schließen. Jedoch wurden bei der Reparatur des Transformators Verfärbungen an zwei Unterspannungswicklungen festgestellt, d. h. beide Fehlstellen sind Oberflächenentladungen. Nur ein PSA-Muster stimmte mit dem Muster der Oberflächenentladung aus dem Labor überein. Diese Vor-Ort Messung zeigt, dass die Puls-Sequenz Analyse nur eingeschränkt zur Analyse der TE-Quelle geeignet ist.

Als eine weitere Methode zur Separierung unterschiedlicher Teilentladungsquellen wurde die Impulsformanalyse untersucht. Hierfür wurden unterschiedliche Auswerteverfahren verglichen. Zum einen wurden die Impulse der künstlichen TE-Quellen im Frequenzbereich mittels Fourier Transformation und zum anderen im Zeitbereich mittels Curve Fitting analysiert.

Die Spektren der Impulse wurden mittels FFT berechnet. Die Impulse konnten aufgrund ihres Frequenzspektrums jeweils einer Quelle zugeordnet werden. Auch wiesen mehrere Impulse einer Teilentladungsquelle das gleiche Spektrum auf. Die Impulse der künstlichen Quellen im Labor konnten somit anhand ihres Spektrums unterschieden werden.

Eine weitere Möglichkeit zur Impulsformanalyse ist die Curve Fitting Methode. Für diese Betrachtung wurden dieselben Impulsformen wie bei der Spektrumsanalyse verwendet. Nach dem Fitting wurden drei Parameter der Fitting-Funktion verwendet, um ein dreidimensionales Diagramm zur Darstellung der Ergebnisse zu erstellen. Für jede Teilentladungsquelle bildete sich ein Cluster im Diagramm. Somit können TE-Quellen mithilfe ihrer Impulsform differenziert werden.

Zusammenfassend ist das PRPD Muster die bekannteste Darstellung und stellte sich hier als bestes Verfahren heraus, um die Art der Teilentladung zu bestimmen. Bei TE-Messungen an gealterten Leistungstransformatoren überlagern sich oft mehrere Teilentladungsquellen, wodurch die Interpretation erschwert wird. Hierfür wird das Sterndiagramm verwendet, um die Teilentladungsquellen zu separieren. Die Puls-Sequenz Analyse zeigt bei Papier/Öl Isolierungen jedoch Schwächen, da viele Faktoren das Ergebnis der PSA beeinflussen. Bei der Impulsformanalyse wurden verschiedene Möglichkeiten zur Auswertung betrachtet, zum einen die FFT und ein Kur-

ven-Fitting einzelner Impulse. Mit Hilfe des Fittings konnten mehrere Teilentladungsquellen separiert werden.