

Monitoring und Diagnose

KOMPONENTENANALYSE DER ELEKTRISCHEN ENERGIEVERSORGUNG

Als Folge der Liberalisierung der elektrischen Energieversorgung sind in den letzten Jahren der Bedarf und das Interesse an Maßnahmen zur Lebensdauer-Verlängerung und Lastoptimierung der Komponenten der elektrischen Energieversorgung stark gestiegen. Zu diesem Zweck ist die Kenntnis des Zustandes der Komponenten sehr wichtig, wobei der Diagnose des Zustandes der Isolierung eine besondere Bedeutung zukommt. Zwei Wissenschaftler des Instituts für Energieversorgung und Hochspannungstechnik verdeutlichen die Methode von Monitoring und Diagnostik von Isoliertechniken in den Komponenten der elektrischen Energieversorgung.

Wenn Sie für einen Gegenstand zuviel bezahlen, dann verlieren Sie etwas Geld. Wenn Sie für einen Gegenstand zu wenig bezahlen, verlieren Sie möglicherweise alles, wenn der Gegenstand die ihm zugedachte Aufgabe nicht erfüllen kann.

JOHN RUSKIN
Wirtschaftswissenschaftler der Universität Pennsylvania, 1926

Aus der Altersstruktur der Komponenten der elektrischen Energieversorgung bei verschiedenen Energieversorgungsunternehmen ist zu erkennen, dass viele der Komponenten sehr lange in Betrieb sind. Das Auslegungsalter wird häufig überschritten, da die Deregulierung und die Liberalisierung die Energieversorgungsunternehmen zur Kostenreduktion zwingen. Diese Tatsache und das hohe Alter der Komponenten machen die Notwendigkeit des Einsatzes von Monitoring- und Diagnosesystemen deutlich, da die Qualität der Energieversorgung nicht verschlechtert werden soll. Investitionen im Bereich des Monitorings und der Diagnose ermöglichen die Zustandserfassung der Komponenten, die Verlängerung der Restlebensdauer, eine Verbesserung der Sicherheit und Zuverlässigkeit der Systeme, eine Reduktion der nicht planbaren Ausfälle und eine Optimierung der Wartung. Damit ist eine Optimierung der Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung

der Zuverlässigkeit und Qualität der elektrischen Energieversorgung zu erreichen.

Mit der rasanten Entwicklung der Rechnerleistung und der Sensorik wurden in den letzten Jahren viele neue Möglichkeiten für Monitoring und Diagnose geschaffen, die allerdings in vielen Fällen den sinnvollen Bedarf übertreffen können. Daher liegt die Aufgabe des Ingenieurs darin, geeignete Sensoren und mathematische Verfahren zu wählen.

Die folgenden Kriterien sind zu bewerten und miteinander zu verknüpfen:

- Besorgnisgrundsatz, Betreiberverantwortung,
- Instandhaltungsphilosophie des Unternehmens,
- Versorgungssicherheit und -priorität,
- technische Vorgaben des Herstellers,
- allgemeine technische Regeln.

Für eine wirtschaftliche Bewertung ist auch die Wichtigkeit des Betriebsmittels im Energieversorgungssystem zu beachten und zu bewerten.

Die Zustands- und Betriebsdaten können aus folgenden Informationen entnommen werden:

- On-line-Monitoring,
- Off-line-Analysen,
- visuelle Kontrollen,
- Störungsanalysen, Wartungsbefunde,

- betriebliche Vorgaben (Zeitfenster, geplante Schalttermine),
- technische Erkenntnisse, Vergleichsmodelle,
- Erkenntnisse aus Verschrotungen, Diagnosen.

In die ganzheitliche Betrachtung sind dann noch die politischen und strategischen Randbedingungen einzubinden.

Im Folgenden sollen am Beispiel von Monitoring und Diagnose an Leistungstransformatoren die wichtigsten Parameter eines wirtschaftlich sinnvollen Monitorings und der sich daraus ableitenden Diagnose dargestellt werden.

Fehlerstatistik

Alle Transformatoren sind grundsätzlich ähnlich aufgebaut und bestehen im Wesentlichen aus folgenden Hauptmaterialien: Eisen, Kupfer, Elektrolech, feste Isolierstoffe (Papier, Pressspan, Kunstharzpressholz) und Transformatoröl. Diese Materialien unterliegen im Normalbetrieb einer natürlichen Alterung. Da die metallischen Werkstoffe wesentlich langsamer altern, liegt das Hauptaugenmerk beim Monitoring und der Überwachung auf dem Isoliertechnik. Der größte Teil der Isolierstoffe im Transformator besteht aus organischen Werkstoffen, die einer von den Betriebs-

bedingungen abhängigen Alterung unterliegen.

Zusätzlich zu den normalen Betriebsbedingungen können weitere Beanspruchungen wie zum Beispiel Überspannungen, Überhitzung, dynamische Beanspruchungen oder eine Störung der Kühlung, auftreten, die dann zu einer Beschleunigung der Alterung der organischen Werkstoffe führen.

Aufgrund unterschiedlicher Beanspruchungsmöglichkeiten und der Bedeutung der im Netz eingesetzten Transformatoren wurden Fehlerstatistiken bei den verschiedenen Energieversorgungsunternehmen geführt. Die Fehlerstatistik zeigt, dass Schäden an der Wicklungsisolierung einen bedeutenden Anteil einnehmen (Bild 1).

Eine weitere Statistik zeigt die Schäden an Großtransformatoren, wobei wieder der hohe Anteil der Isolationsschäden an Wicklungen auffällt (Bild 2). Diese beiden Statistiken

zeigen deutlich die Rechtfertigung und Bedeutung einer gezielten Isolationsüberwachung und Diagnostik.

Zustandsüberwachung

Alterung und Schädigung der Isolierung können im Betrieb durch elektrische Entladungen (Teilentladungen, Lichtbögen), durch thermische Beanspruchungen (Übertemperatur, Hot-Spots), durch chemische Einflüsse (Oxydation, Hydrolyse, Elektrolyse, katalytische Reaktionen) und/oder durch mechanische Beanspruchungen (Kurzschlussstromkräfte, Lockerungen von Verspannungen) auftreten.

Die Zustandsüberwachung aufgrund dieser Beanspruchungen erfolgt daher in drei Stufen. Zu Beginn steht die regelmäßige Überprüfung von leicht zugänglichen Parametern wie Ermittlung der Durchschlagspannung des Öls und die Gas-in-Öl-Analyse. Temperaturkontrollen und eine grobe visuelle Prüfung

fallen in diese Kategorie. Werden bei diesen Prüfungen Abweichungen oder Überschreitungen der Kennwerte festgestellt, so erfolgt in der zweiten Stufe eine detailliertere Untersuchung mit folgenden Verfahren:

- thermische Infrarotmessung,
- Teilentladungsmessung,
- akustische Vibrationsanalyse,
- Routinemessungen (zum Beispiel Wicklungswiderstand, Isolationswiderstand, Magnetisierungsstrom).

Die dritte Stufe besteht aus einer routinemäßigen, erweiterten Prüfung, die etwa alle zehn Jahre stattfindet, indem Wicklungswiderstand, Isolationswiderstand, Verlustfaktor und weitere Sondermessungen durchgeführt werden.

Durch eine Änderung der Lastschwerpunkte und Lastspitzen im elektrischen Energieversorgungssystem können ältere Transformatoren, im Vergleich zu vorangegangenen Betriebszeiten, durchaus höher belastet werden. Der Off-line-Diagnostik und -Bewertung der vorhandenen Transformatoren kommt somit eine ebenso große Bedeutung zu wie dem On-line-Monitoring.

Mit den Ergebnissen des Monitorings über einen gewissen Zeitraum und der sich daraus ableitenden Bewertung und Diagnostik kann bei vorhandenen Transformatoren die Restnutzungsdauer von Transformatoren abgeschätzt werden.

Inwieweit ein Transformator im Netzbetrieb bei Erreichen seiner technischen Nutzungsdauer noch eingesetzt werden kann, hängt allerdings auch vom Einsatzort und der damit verbundenen Beanspruchung ab. Die zukünftige Netzentwicklung im Bezug auf die Änderung der Lastverhältnisse und Beanspruchungen ist daher zu beachten.

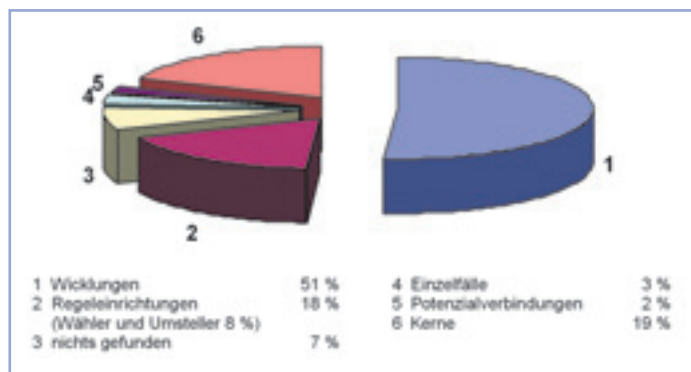
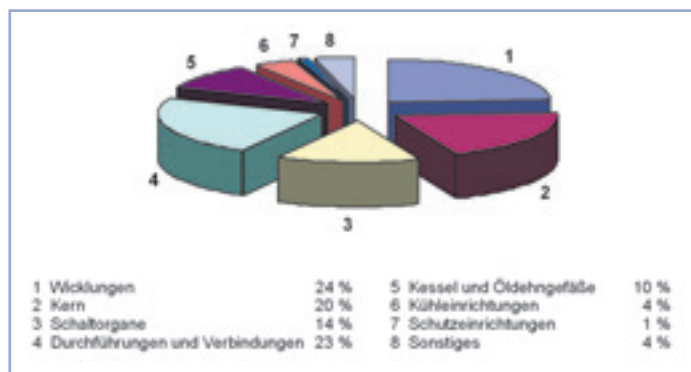


Bild 1 Fehlerverteilung bei Transformatoren
Quelle: Transformer Life Management Tagung 2008 des Schering-Instituts, Beitrag M. Muhr, TU Graz

Bild 2 Schadensverteilung an Großtransformatoren eines Energieversorgungsunternehmens
Quelle: Transformer Life Management Tagung 2008 des Schering-Instituts, Beitrag M. Muhr, TU Graz

Monitoring

Monitoring ist eine Kombination aus On-line-Messwerten, Off-line-Prüfungen und -auswertungen und fachkundigen visuellen Beurteilungen. Ziel ist hierbei, einen gesamten

transformator in einem Versorgungsgebiet wechseln kann, sollten On-line-Monitoring-Systeme nachrüstbar oder die Transformatoren entsprechend vorbereitet sein. Das On-line-Monitoring erfasst vollständig und kontinuierlich den Be-

- Verlustfaktor der Durchführungen (ggf. Wicklungs-isolation)
- Kapazität der Durchführung und des Transformators
- Überspannungen (Ableiter)
- Öldichtigkeit

Bild 3
Entwicklung von der vorbeugenden in die zustandsorientierte Instandhaltung
Quelle: Transformer Life Management Tagung 2008 des Schering-Instituts, Beitrag V. Seitz



Diese Daten werden kontinuierlich ausgewertet, damit die Betriebsweise und die betrieblichen Anforderung an den Transformator individuell in die Instandhaltungsplanung einbezogen werden können. Trends und Tendenzen bei bestimmten Bauteilen werden berücksichtigt und geben die Möglichkeit, die zustandsabhängige Instandhaltung im Hinblick auf Kosten und Aufwand zu optimieren.

Bei der Planung der Instandhaltung ist zu beachten, dass wiederkehrende Prüfungen mit Instandhaltungsmaßnahmen kombiniert werden, um die notwendigen Abschaltungen zu minimieren. Es ist auch die Kombination von Zustand, Wichtigkeit und Versorgungssicherheit zu bewerten, um einen wirtschaftlich optimierten Betrieb der Transformatoren zu erreichen.

Überblick über den Ist-Zustand der Isolierung des Transformators zu erhalten, um eine zustandsorientierte Wartung ableiten zu können.

Je nach Beanspruchung und Wichtigkeit eines Leistungstransformators kann mehr oder weniger Aufwand für die kontinuierliche Überwachung gerechtfertigt sein.

On-line-Monitoring ist an einem für eine hohe Versorgungsgarantie zuständigen Transformator wirtschaftlich sinnvoller als an einem für eine mittlere Versorgungsgarantie zuständigen, bei dem ein Ausfall nur geringe Folgen hat. Da diese Aufgabe jedoch je nach Auslegung der Trans-

triebszustand des Transformators sowie seiner Komponenten und liefert damit die Daten für die zustandsorientierte Instandhaltung.

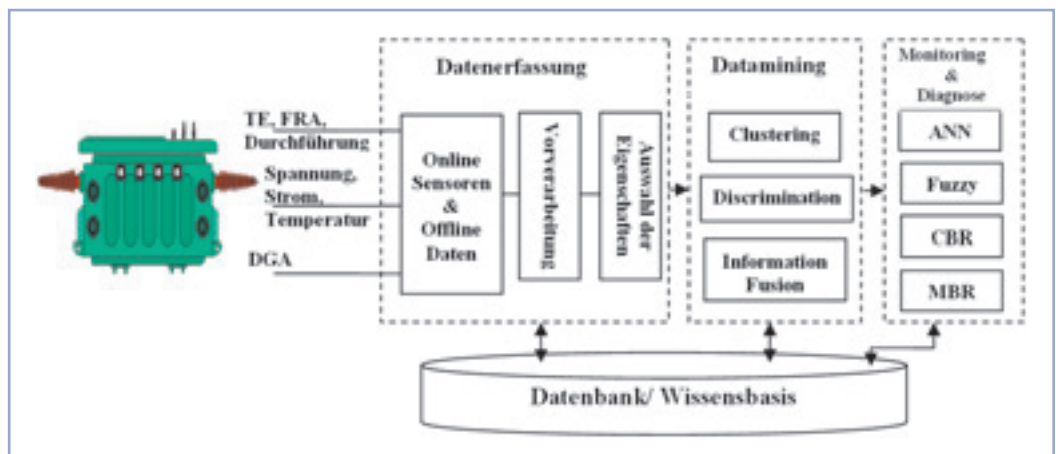
Kenndaten

An einem Transformator werden in der Regel die folgenden Parameter als wichtigste Kenngrößen erfasst:

- Gas-in-Öl-Analyse
- Gasentwicklung
- Spannung, Strom, Leistung
- Stufungen am Lastumschalter
- Abbrände an Schaltkontakten
- Temperatur

In Bild 3 ist die Entwicklung der Instandhaltungsstrategien von der früheren zyklischen Instandhaltung mit festen Intervallen zur zustandsorientierten Instandhaltung mit einer Ergänzung durch zyklische Instandhaltung dargestellt. Diese Änderung ist aber nur durch Monitoring und

Bild 4
Verschiedene Schritte eines Monitoring- und Diagnosesystems am Transformator
Legende: TE Teilentladungserfassung; FRA Frequenz Antwort Analyse; DGA Gas-in-Öl Analyse; ANN Künstliches Neuronales Netzwerk; CBR Fallbezogene Beurteilung; MBR Modell bezogene Beurteilung
Quelle: Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik, Leibniz Universität Hannover



Diagnose der Komponente der elektrischen Energieversorgung möglich.

Das Schering-Institut entwickelte ein modulares Monitoring- und Diagnosesystem (Bild 4). Es besteht aus den verschiedenen Erfassungseinheiten, die Strom, Spannung, Teilentladung, Frequenz Antwort Analyse, Temperatur, Gas-in-Öl sowie Kapazität und Verlustfaktor der Durchführung aufzeichnen. Diese Informationen werden in einem Modul verarbeitet und charak-

teristische Eigenschaften identifiziert. Im Anschluss sucht ein zusätzliches Modul nach weiteren Kenngrößen. Die Daten werden dann zusammengeführt und im letzten Modul findet eine Diagnose mit Hilfe verschiedener mathematischer Verfahren statt. Dabei werden aktuelle Daten verwendet unter Berücksichtigung von Informationen aus einer Datenbank, die Erkenntnisse der Vergangenheit und ähnlicher Komponenten enthält, um damit die Aussagekraft der Diagnostik zu erhöhen.

Das Schering-Institut der Leibniz Universität Hannover forscht und lehrt seit 1927 im Bereich der Hochspannungstechnik und der Isolierstoffe. Darüber hinaus führt das Institut Beratungen auf dem Gebiet der Hochspannungstechnik und der Isolierstoffe durch und erstellt entsprechende Gutachten. www.si.uni-hannover.de



**Prof. Dr.-Ing.
Ernst Gockenbach**

Jahrgang 1946, ist seit 1990 Professor für Hochspannungstechnik am Institut für Energieversorgung und Hochspannungstechnik und Leiter des Fachgebiets Hochspannungstechnik, Schering-Institut, an der Leibniz Universität Hannover. Kontakt: gockenbach@si.uni-hannover.de



**Prof. Dr.-Ing. habil.
Hossein Borsi**

Jahrgang 1946, ist seit 1987 als Akademischer Direktor am Schering-Institut der Leibniz Universität Hannover tätig. Kontakt: borsi@si.uni-hannover.de