



... damit Ihr Trafo richtig brummt!

Überwachung und Instandhaltung fester und flüssiger Isolierungen in Transformatoren

..... damit Ihr Trafo richtig brummt!

Feste und flüssige Isoliermaterialien in elektrischen Betriebsmitteln nehmen aus der Umgebungsluft und das beim chemischen Alterungsprozess entstehende Wasser auf, wodurch sich die elektrische Festigkeit verringert.

Durch eine dem Transformator angepasste regelmäßige Überwachung wird eine Verringerung der Betriebssicherheit frühzeitig erkannt. Notwendige Revisionen oder Reparaturen können entsprechend der Betriebsmöglichkeiten angesetzt werden. Eine gezielte Einleitung von Maßnahmen zur Verbesserung der alterungsbedingten Kenndaten sichert den störungsfreien Betrieb über viele Jahrzehnte.

Zur Beurteilung des inneren Zustandes ölgefüllter Geräte ist die Entnahme einer charakteristischen Teilölmenge erforderlich, die vorzugsweise während des Betriebes, im warmen Zustand, durchgeführt werden sollte.

Betriebsöle müssen den Anforderungen der DIN 57 370 VDE 0370 Teil 2 genügen!

Die **Farbe** zeigt das Vorhandensein chromophorer Ölmoleküle bestimmter Struktur und Größe an. Verfärbungen von Betriebsölen sind auf die Bildung derartiger Moleküle zurückzuführen. Die Ölfarbe gibt Anhaltspunkte zur Beurteilung des Alterungszustandes.

Die **Azidität** (Neutralisationszahl) ist eine Maßzahl für die sauren Bestandteile und gibt jene Menge KOH in mg an, welche für die Neutralisation von 1 Gramm Öl erforderlich ist.

Die **Durchschlagsspannung** ist eine weitere Grundlage für die Qualitätsbeurteilung. Die Bestimmung stellt eine Untersuchungsmethode zur Prüfung physikalischer Verunreinigungen durch Wasser und andere Stoffe dar.

Wasser kommt in Ölen gelöst und in suspensierter Form vor. Aufgenommen wird Wasser aus der Luft und entsteht außerdem es bei der Alterung von Papier und Öl.

Der **dielektrische Verlustfaktor** ist eine Bewertungsgröße für die Güte des Öles als flüssiges Dielektrikum. Er ist vom Alterungszustand und vom Wassergehalt abhängig.

Die **Grenzflächenspannung** zwischen Öl und Wasser ist ein Maß für die Menge polarer Ölbestandteile (Oxydationsprodukte). Durch Bildung sauerstoffhaltiger, hydrophiler Alterungsprodukte wird die Grenzflächenspannung zwischen Mineralöl und Wasser verringert.

Die **Papierzersetzung** wird hauptsächlich

durch Temperatur, Sauerstoff und Wassergehalt bewirkt. Der Papierzustand lässt sich durch die Kenngröße des Polymerisationsgrades DP und durch die Reißlänge 1 in m bestimmen.

Der Polymerisationsgrad ist die durchschnittliche Kettenlänge der Zellulosemoleküle, ausgegedrückt durch die Anzahl der Glukosemoleküle im Makromolekül. Er beträgt im Anlieferungszustand ≥ 1000 .

Die Reißlänge ist jene Länge eines Papierstreifens gleichbleibender Breite und Dicke, bei der dieser durch sein eigenes Gewicht am Aufhängepunkt reißt. Die „Reißlänge längs“ von ölgetränktem Transformatorenpapier ist im Anlieferungszustand ≥ 8000 Meter, „quer“ ≥ 3000 Meter.

Die Analyse im Öl gelöster Gase (**Gas-in-Öl-Analyse**) gibt eine Kontrollmöglichkeit für den Transformator in elektrischer und thermischer Hinsicht, liefert aber keine ausreichende Aussage über den Zustand des Isoliersystems. Für diesen Nachweis müssen die chemisch, physikalischen Kennwerte herangezogen werden.

Unter elektrischer und thermischer Beanspruchung zersetzen sich im Transformator die organischen Isoliermaterialien Öl und Zellulose. An Zerfallsprodukten fallen unter anderem gasförmige Substanzen an, die zunächst bei geringer Menge im Öl gelöst bleiben. Erst bei Überschreitung der Sättigungsgrenze oder bei plötzlichem Gasanfall erfolgt die Freigabe der Gase, die im Buchholz-Relais gesammelt werden. Meist bedeutet die Buchholz-Relais-Auslösung eine Fehlerentwicklung, die mit dem Ausfall des Gerätes und mit größeren Reparaturen verbunden sein kann. Die quantitative Analyse der im Öl gelösten Gase gibt eine gute Möglichkeit der Betriebsüberwachung, da bereits beginnende Fehler oder Mängel erkennbar sind.

Die Alterung des Isolieröles im Betrieb wird im wesentlichen durch Sauerstoffeinwirkung bei erhöhter Temperatur verursacht. Bei der Oxidation der flüssigen Kohlenwasserstoffe des Isolieröles handelt es sich um Folgereaktionen, bei denen neben Alterungsprodukten auch Wasser gebildet wird.

Durch Polymerisation und Kondensation entstehen höher molekulare Oxidationsprodukte. Sie erhöhen die Viskosität und Dichte des Öles, bewirken eine Verfärbung und eine Verschlechterung anderer Kenngrößen.

Bank Commerzbank AG	Hamburger Sparkasse	Deutsche Bank AG	Geschäftsführer: Jürgen Scholz	Sportallee 66 • D-22335 Hamburg Telefon: +49 (0)40.500 910 8-0 Telefax: +49 (0)40.500 910 841 E-Mail: info@ees-hamburg.de Internet: www.ees-hamburg.de
Konto 2828663 00	1010211389	3838836	Amtsgericht Hamburg HRB 27810	
BLZ 200 400 00	200 505 50	200 700 00	USt-IdNr. DE118625526	
IBAN DE7720040000282866300	DE05200505501010211389	DE9820070000383883600		
BIC COBADEHHXXX	HASPDEHHXXX	DEUTDEHH201		



...damit Ihr Trafo richtig brummt!

Mit zunehmender Länge und Vernetzung der Ketten bilden sich ö unlösliche Makromoleküle, die als **Ölschlamm** mit schädigender Auswirkung in Erscheinung treten (Behinderung der Wärmeabfuhr durch Schlammbelag auf den Wicklungen).

Nicht nur das Isolieröl, sondern auch die Zellulosebaustoffe altern im Betrieb.

Die Alterung wird in erster Linie durch Feuchtigkeit, Sauerstoff und hohe Temperatur beschleunigt. Sie besteht chemisch in einer Verkürzung der Molekülketten und im Aufbrechen der Glukoseringe unter Abspaltung von Wasser. Letzter Effekt beschleunigt wiederum die thermische Alterung, da diese progressiv mit dem Wassergehalt des Papiers fortschreitet. Die Depolymerisation bewirkt eine Herabsetzung der Reißlänge und damit der mechanischen Festigkeit der gesamten Wicklung. Dies kann, bei mechanischer Beanspruchung infolge von Kurzschlüssen, einen Isolierungsfehler begünstigen. Bei der Alterung steigen die dielektrischen Verluste der ölprägnierten Zellulosebaustoffe an, weil sie von Wasser und Ölalterungsprodukten beeinflusst werden.

Durch die **periodische Isolierölüberwachung** soll der Feuchtigkeitsgehalt und der allgemeine Alterungszustand des Isoliersystems überwacht werden. Spezielle Mängel können mittels der Gas-in-Öl-Analyse erkannt werden.

Empfohlene Zeitabstände		
in Abhängigkeit von Alter und Zustand		
Art	Umfang VDE 0370 Teil 2	Zeit
Isolieröl	Reinheit, Farbe ASTM, Schlamm, Azidität, Durchschlagspannung UD Verlustfaktor tan δ Grenzflächenspannung	2 - 4 Jahre

Im Zuge der Zustandsüberwachung sind vor allem zwei Grenzbereiche von Interesse:

Der erste **Grenzbereich** wird durch Erreichen von Werten gekennzeichnet, bei denen nach technisch optimalen Gesichtspunkten eine Anhebung des Isolationsniveaus durch eine der gängigen Aufbereitungsmethoden angestrebt werden sollte (Überholungsbereich).

Der zweite, sogenannte **Gefahrenbereich** wird durch heute bekannte Werte umrissen, nach deren Erreichen Schadensfälle zu verzeichnen waren.

Zwischen dem Überholungsbereich und dem Gefahrenbereich tritt eine laufende Verschlechterung des Isolationsniveaus und damit eine Anhebung der Schadenswahrscheinlichkeit ein. Die Werte des Gefahrenbereiches

sollen dem Betreiber Anhaltspunkte für seine im Detail anzustellenden Überlegungen bieten. Im Einzelfall sind die Auslegung und die Betriebsbedingungen des betroffenen Transformators zu berücksichtigen.

Um einen langen einwandfreien Betrieb eines Transformators zu gewährleisten, ist die Behandlung der flüssigen und festen Isolierung von besonderer Bedeutung.

Zur Neu- und die Ersatzbefüllung elektrischer Betriebsmittel sind nur sorgfältig aufbereitete, filtrierte, getrocknete und entgaste Isolieröle zu verwenden.

Um die bei dem Befüllvorgang aufgenommene Luft und Luftfeuchtigkeit wieder aus dem Gerät und der Flüssigkeit zu entfernen (Gefahr späterer Teilentladungen), hat die Befüllung mit heißem Öl und nur unter dem Einsatz einer Vakuum-Öltrocknungs-/Entgasungsanlage zu erfolgen. Die abschließende Umlaufbehandlung ist mindestens so lange fortzusetzen bis am Anlageneintritt eine Durchschlagspannung > 50 kV/2,5 mm, ein Gasgehalt des Öles < 3 % Vol. % und eine Öltemperatur > 40 °C gemessen wird.

Ist das Isolieröl im Transformator feucht bzw. mechanisch verunreinigt, kann es im Kreislauf (Transformator – Ölaufbereitungsanlage – Transformator) getrocknet und filtriert werden. Der Kern (Papier, Holz, Pressspan) enthält bei einem feuchten Transformator etwa 2 bis 4% Feuchtigkeit. Das Isolieröl kann aber selbst bei 60 - 80 °C nur einen Wasseranteil von 150 – 300 mg/kg aufnehmen.

Aktivteiltrocknung und Reinigung im Kessel nicht vakuumfester Transformatoren.

Die Trocknung erfolgt über das Isolieröl, durch eine der Transformatorengröße angepassten Umlaufzeit, **vorzugsweise im Überholungsbereich.**

Aktivteiltrocknung und Reinigung im Kessel vakuumfester Transformatoren.

Nach dem Aufheizen des Transformators und dem Abpumpen des Isolieröles wird der Transformator bis zu einem Druck von etwa 40 mBar evakuiert. Bei diesem Druck (anfänglich Luftdruck, später reiner Wasserdampfdruck) findet bereits eine starke Verdampfung des Wassers statt, das spezifische Volumen des Wasserdampfes (m³ / kg) ist jedoch noch nicht allzu hoch, sodass die Vakuumpumpe eine ausreichend hohe Fördermenge absaugen kann. Nach dieser Vortrocknungsphase (Restfeuchte ca. 1%) findet die Feintrocknung, bei geringstem erreichbaren Druck 0,5 - 1 mbar, statt. Dabei kann eine Restfeuchte des Papiers von etwa 0,5% erreicht werden.

Bank Commerzbank AG	Hamburger Sparkasse	Deutsche Bank AG	Geschäftsführer: Jürgen Scholz	Sportallee 66 • D-22335 Hamburg Telefon: +49 (0)40.500 910 8-0 Telefax: +49 (0)40.500 910 841 E-Mail: info@ees-hamburg.de Internet: www.ees-hamburg.de
Konto 2828663 00	1010211389	3838836	Amtsgericht Hamburg HRB 27810	
BLZ 200 400 00	200 505 50	200 700 00	USt-IdNr. DE118625526	
IBAN DE7720040000282866300	DE05200505501010211389	DE9820070000383883600		
BIC COBADEHHXXX	HASPDEHHXXX	DEUTDEHH201		