



L & Z GmbH • Rheinhorststr. 37 • D-67071 Ludwigshafen

## Isolieröluntersuchungen der L & Z GmbH Stand 11.2011

**L & Z Transformatoren  
und Industrieservice GmbH**

Rheinhorststraße 37  
D-67071 Ludwigshafen am Rhein  
Telefon: 06 21 / 57 93 - 0  
Telefax: 06 21 / 57 93 - 111  
e-Mail: [info@luz-trafo.de](mailto:info@luz-trafo.de)  
Internet: <http://www.luz-trafo.de>

Finanzamt Ludwigshafen / Rhein  
Umsatzst.-Identnr.: DE811136983

Fachbetrieb nach WHG § 19 I  
Entsorgungsfachbetrieb  
nach § 52 KrW-/AbfG und EfbV

Ihre Zeichen

Ihr Schreiben vom

Ansprechpartner / - Durchwahl / e-Mail

Datum

# Isolieröluntersuchungen Angebot

## Baader-Alterung, DIN 51554-1, -2

Die Alterungsprüfung nach Baader erlaubt Voraussagen über das wahrscheinliche Betriebsverhalten der Ölfüllung. Ölproben werden 140 h bei 110 °C mit Luft beaufschlagt, bevor Verseifungszahl, Schlammgehalt und Dielektrischer Verlustfaktor  $\tan \delta$  90 °C des auf diese Weise künstlich gealterten Öls bestimmt werden.

---

## Brechzahl, DIN 51423-1

Die Brechzahl ist das Verhältnis der Geschwindigkeiten von Licht definierter Wellenlänge (Natrium D-Linie) im Vakuum und dem zu untersuchenden Stoff bei 20 °C. Sie ist eine vom Alterungszustand unabhängige Messgröße und kann bei der Identifizierung einer Ölprobe hilfreich sein.

---

## Buchholzgas-Analyse, DIN EN 60567

Die Buchholzgas-Analyse gibt in Verbindung mit der Gas-in-Öl-Analyse wertvolle Hinweise auf die Natur des Ereignisses, das zum Ansprechen des Buchholzrelais geführt hat.

---

## **Dielektrischer Verlustfaktor, DIN EN 60247**

Der Dielektrische Verlustfaktor  $\tan \delta$  90 °C wird als Quotient aus Wirkstrom und Blindstrom bei einer Beanspruchung des Öles mit einer sinusförmigen Wechselspannung definiert. Der  $\tan \delta$  90 °C gibt Hinweise über die Höhe der im Betrieb auftretenden dielektrischen Verluste der Ölfüllung und wird durch Feuchtigkeit, Partikel oder polare Oxidationsprodukte beeinflusst.

Der Dielektrische Verlustfaktor gibt einen Hinweis auf die Höhe der im Betrieb auftretenden dielektrischen Verluste im Öl-/Zellulose-Dielektrikum. Diese Verluste können zu einer zusätzlichen Erwärmung und damit zu einer beschleunigten thermischen Alterung beitragen. Im ungünstigsten Fall kann ein unzulässig hoher Verlustfaktor des Papier-/Öl-Dielektrikums einen "Wärme-Kipp" einleiten und zu einem thermischen Durchschlag führen. Der Tangens Delta reagiert sensibel auf Verunreinigungen und Öloxidationsprodukte. So kann nach dem Ausfall von Ölschlamm (feste Ölalterungsprodukte) ein Abfall des Dielektrischen Verlustfaktors beobachtet werden.

---

## **Dichte, DIN 51575-1, -2**

Die Dichte ist der Quotient aus Masse und Volumen einer Flüssigkeit. Sie ist kein Qualitätskriterium, jedoch kann die Dichte einer Isolierflüssigkeit einen Hinweis auf deren chemische Natur (Mineralöl, Ester, Silikonöl, ...) geben.

---

## **Durchschlagspannung, DIN EN 60156**

Die Durchschlagspannung (UD) ist die entscheidende Kenngröße des Isoliervermögens der Ölfüllung. Sie beschreibt den Wert, bei dem es zwischen zwei 2,5 mm entfernten kugelförmigen Kalotten-Elektroden zum Überschlag kommt. Ausschlaggebend für die Mindestanforderung der Durchschlagspannung ist die Oberspannung des Betriebsmittels. Wasser- und Partikelgehalt sind entscheidend Parameter für den Wert der Durchschlagspannung.

Die Durchschlagspannung ist ein Maß für die elektrische Festigkeit des Isolieröls. Sie wird nach DIN EN 60156 (deutsche Übersetzung der IEC 60156) durchgeführt. Wassergehalt und Partikelgehalt sind die entscheidenden Parameter für die Durchschlagspannung eines Isolieröls.

Wenn die Durchschlagspannung nicht mehr der Mindestanforderung (abhängig von der Oberspannung des Transformators) entspricht und deutlich unter dem aufgrund des Wassergehaltes zu erwartenden Wert [2] liegt, so sind hierfür möglicherweise fein im Öl verteilte Partikel die Ursache. Partikel können bei Servicearbeiten oder als Fertigungsrückstände in den Transformator eingeschleppt werden.

---

Sie können auch bei der Ölalterung während des Betriebes entstehen (Schlammabildung) oder durch Alterung der Papierisolation (Bruch von Zellulosefasern) an das Isolieröl abgegeben werden. Letzteres ist jedoch in der Regel nur bei fortgeschrittenem Abbau der festen Isolation der Fall. Der Grad des thermischen Abbaus der festen Isolation kann über die Bestimmung des Furfurol-Gehaltes des Isolieröles abgeschätzt werden.

---

### **Farbzahl, ISO 2049 (FT)**

Neue Isolieröle sind farblos und durchsichtig. Während der Alterung wird die Farbe u.a. in Folge der Bildung von Oxidationsprodukten dunkler. Die Farbzahl ist nur bedingt ein Kriterium zur Beurteilung des Alterungszustandes eines Öls. Sie rundet aber das Gesamtbild eines Ölbefundes ab.

---

### **Flammpunkt, DIN EN 22719**

Der Flammpunkt von Isolierölen wird im geschlossenen Tiegel nach Pensky-Martens bestimmt. Er ist ein Kriterium für die Entflammbarkeit einer brennbaren Flüssigkeit durch Fremdzündung (Feuer- und Explosions-Gefährlichkeit). Der Grenzwert liegt für Betriebsöle bei 100 °C. Solange der Flammpunkt oberhalb der Betriebstemperatur liegt, ist die Entflammung im Betrieb sehr unwahrscheinlich.

---

### **Furfurol-Gehalt, DIN EN 61198**

Wird Zellulose thermisch abgebaut, so entsteht u.a. ein stabiles, im Isolieröl lösliches Zerfallsprodukt, das Furfurol (2-FAL). Seine Bestimmung lässt einen Rückschluss auf den Zustand des festen Dielektrikums (Papier/Preßspan) zu. Dem Betreiber wird damit ein Mittel an die Hand gegeben, das die Zukunft seiner Energieversorgung planbarer macht.

---

### **Gas-in-Öl-Analyse (DGA), DIN EN 60567**

Die Analyse der im Öl gelösten Gase (DGA) ist heute eines der am häufigsten angewandten Verfahren zur Diagnose und Bewertung ölgefüllter elektrischer Betriebsmittel. Sie erlaubt eine Beurteilung des Transformators hinsichtlich seines thermischen oder elektrischen Zustandes und (in Verbindung mit einer Buchholzgas-Analyse) die Charakterisierung von akuten und schleichenden Fehlern.

---

## **Grenzflächenspannung, ASTM D 971**

Die Grenzflächenspannung gibt einen Hinweis auf die Gegenwart von polaren Stoffen im Öl. Die Bestimmung dieses Parameters bei einem Betriebsöl gibt ein Indiz auf die Ölalterung. Im Laufe der Betriebszeit eines Transformatoröls nimmt die Grenzflächenspannung in Folge der Bildung von Oxidationsprodukten ständig ab. Bei Neuölen ist die Grenzflächenspannung ein Hinweis auf die Qualität der Raffination.

---

## **Inhibitorgehalt, IEC 666**

Mit der Aufnahme eines Infrarot (IR) - Spektrums wird der Inhibitorgehalt einer Ölprobe bestimmt. Inhibitoren, im Regelfall 2,6-Ditertiär-butyl-para-cresol (DBPC), erhöhen die Alterungsbeständigkeit von Mineralölen gegenüber thermischen, oxidativen Einflüssen. Sie werden während des Betriebes abgebaut.

---

## **Korrosiver Schwefel, DIN EN 62535**

Die Prüfung dient zur Bestimmung von evtl. vorhandenem korrosiven Schwefel. Schwefelverbindungen sind in der Regel in Mineralölen enthalten und können zu unerwünschten Korrosionen an Werkstoffen führen. Da nicht alle vorhandenen schwefelhaltigen Verbindungen korrosiv sind, ist die Bestimmung des Gesamtschwefel-Gehaltes des Isolieröls nicht immer ein aussagekräftiges Kriterium und es bedarf dieser Untersuchung.

---

## **Partikelgehalt, DIN EN 60970**

Die Anzahl der festen Partikel kann einen erheblichen Einfluss auf die Dielektrische Festigkeit nehmen. Beladen sich durch Alterung der festen Isolation in das Öl abgegebene Zellulosefasern mit Wasser, setzt dies die Durchschlagspannung herab. Ölschlammteilchen in Isolieröl können in ungünstigen Fällen zu einem deutlichen Rückgang der Kühlleistung führen, oder in den Kühlkanälen der Wicklungen kann es zu Wärmestau bzw. Wärmedurchschlag kommen.

---

## **PCB-Gehalt, DIN EN 12766-1,-2**

Die Bestimmung von Polychlorierten Biphenylen (PCB's) erfolgt gaschromatographisch. Grenzwerte und Maßnahmen werden in der Altölverordnung vom 16.04.2002 (BGBl I S. 1368) geregelt.

---

## **Polymerisationsgrad, DIN EN 60450**

Zellulose ist ein Polykondensationsprodukt aus Glucose-Einheiten (Traubenzucker), die kettenförmig miteinander verknüpft sind. Die durchschnittliche Anzahl der Zuckermoleküle pro Zelluloseeinheit wird durch den Durchschnittlichen Polymerisationsgrad (DP) wiedergegeben. Seine Bestimmung erfolgt viskosimetrisch und gibt eine Aussage über den Zustand der Papierprobe.

---

## **Pourpoint, DIN ISO 3016**

Da Isolieröle in Transformatoren häufig auch bei niedrigen Temperaturen eingesetzt werden, müssen sie auch in der Kälte entsprechende Eigenschaften aufweisen. Der Pourpoint eines Mineralöls ist die niedrigste Temperatur, bei der die Probe beim Abkühlen unter definierten Bedingungen eben noch fließt.

---

## **Reinheit, DIN EN 60296**

Die Reinheit gibt einen Hinweis, ob die Isolierflüssigkeit frei von Schwebstoffen und Verunreinigungen ist, die einen negativen Einfluss auf die Elektrische Festigkeit haben können. Isolieröl kann durch Schmutz, Ruß und Ölschlamm verunreinigt sein. Schmutzpartikel, Lack und Zellulosefasern können auf Fabrikationsmängel, mitunter auch auf eine nicht korrekt durchgeführte Probeentnahme zurückzuführen sein. Ruß wird häufig in Ölen aus Lastumschaltern und bei akuten elektrischen Fehlern nachgewiesen. Ölschlamm bildet sich infolge fortgeschrittener Alterung fein verteilt im Isolieröl, er setzt sich erst im Laufe der Zeit ab. Geschieht dies in den Kühlkanälen der Wicklungen, kann es zu Wärmestau und im schlimmsten Fall zum Wärmedurchschlag kommen. Da die Löslichkeit von hochmolekularen Ölalterungsprodukten (Schlamm) in Isolieröl mit abnehmender Temperatur sinkt, kommt es bevorzugt an kühlen Stellen, wie den Kühlrippen des Transformators, zu Schlammablagerungen. In ungünstigen Fällen führt dies zu einem deutlichen Rückgang der Kühlleistung.

Die qualitative Bestimmung des Schlammgehaltes erfolgt visuell und durch Filtration eines Aliquots der Ölprobe. Auf Wunsch kann die Bestimmung auch quantitativ durchgeführt werden. Hat die Ausfällung von Ölschlamm erst begonnen, so kann der Umfang der durchzuführenden Servicearbeiten (Ölwechsel, Reinigung und Trocknung des Aktivteils, ...) nicht unerheblich sein, ganz abgesehen von der hierbei zu erwartenden Ausfallzeit des Umspanners. Dennoch kann die konsequente Beobachtung des Dielektrischen Verlustfaktors  $\tan \delta$  (90 °C) und der Neutralisationszahl, sowie die Prüfung auf Farbe, Reinheit und Geruch einen Hinweis auf eine zu erwartende Bildung von Schlamm geben. Bei entsprechenden Hinweisen sollte eine Ölprobe auf in n-Heptan fällbaren Schlamm geprüft werden. Hierdurch wird eine Änderung der Polarität des Isolieröls bewirkt und damit das vorzeitige Ausfällen evtl. im Öl vorhandenen Oxidationsprodukte erzwungen. Ist die Prüfung positiv, muß in der näheren Zukunft mit der Bildung von Ölschlamm gerechnet werden. So lassen sich die durchzuführenden Servicearbeiten besser planen.

---

## **Säuregehalt, DIN EN 62021-1**

Der Säuregehalt erlaubt die Bestimmung des Gehaltes an sauren Komponenten in Isolierölen. Diese Carbonsäuren - Oxidationsprodukte der Kohlenwasserstoffe - werden im Laufe der Betriebszeit in Gegenwart von Luftsauerstoff gebildet und können zu unerwünschten Korrosionen an Werkstoffen führen.

Der Säuregehalt des Öles ist ein Maß für die im Öl gelösten sauren Oxidationsprodukte (Carbonsäuren), die bei der Alterung der Kohlenwasserstoffe unter dem Einfluss von Sauerstoff aus der Luft, Temperatur und metallischer Katalysatoren gebildet werden. Sie ist somit ein Maß für den Alterungszustand der Ölfüllung. Die sauren Anteile greifen Metallflächen (Kontakte) korrosiv an und katalysieren neben Wasser den Abbau der festen Isolation [3]. Mit dem Anteil dieser und anderer polaren Komponenten (Alkohole, Aldehyde und Ketone, Vorstufen der Carbonsäuren) im Öl steigt die Wasseraufnahmefähigkeit des Isolieröls an. Die Bestimmung des Säuregehaltes erfolgt nach DIN EN 62021 Teil 1 und gibt die Alkalimenge (KOH) in mg/kg an, die nötig ist um die in 1g Öl enthaltenen sauren Bestandteile zu neutralisieren.

---

## **Viskosität, DIN 51562-1**

Die Viskosität beschreibt das Fließverhalten von Isolierölen. Bei allen Flüssigkeiten ist die Viskosität stark von der Temperatur abhängig. Transformatorenöle müssen auch bei sehr niedrigen Temperaturen noch ein ausreichendes Fließverhalten gewährleisten, damit die während des Betriebes entstehende Verlustwärme in ausreichendem Maße durch Konvektion abgeführt werden kann.

---

## **Wassergehalt, DIN EN 60814**

Der Wassergehalt wird coulometrisch nach Karl Fischer bestimmt. Bei Isolierölen ist der Wassergehalt ein sehr wichtiges Kriterium für die Beurteilung des Gebrauchszustandes der Ölfüllung, da die dielektrische Festigkeit mit zunehmendem Wassergehalt deutlich abnimmt. Über die Bestimmung des Wassergehaltes im Öl lässt sich der Feuchtigkeitsgehalt der festen Isolation grob abschätzen.

Der Wassergehalt wird nach DIN EN 60814 (Karl Fischer) bestimmt. Die Wasserbestimmung ist sehr sensibel gegenüber äußeren Einflüssen. Sie muss deshalb sofort nach Öffnen des Probenbehälters durchgeführt werden, da sonst atmosphärische Feuchtigkeit von der Ölprobe aufgenommen werden kann. Über die Bestimmung des Wassergehaltes im Öl lässt sich der Feuchtigkeitsgehalt der festen Isolation abschätzen [1].